

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-35-45>



## Исследование микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков

Е.В. Агеев<sup>1</sup> ✉, О.В. Кругляков<sup>1</sup>, А.Ю. Алтухов<sup>1</sup>, А.М. Егоров<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет,  
пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону 344003, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Резюме

**Целью** настоящей работы являлось исследование микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов.

**Методы.** При выполнении исследований, направленных на достижение поставленной цели, в соответствии с планом эксперимента использовалось следующее оборудование: установка для получения электроэрозионных железохромоникелевых порошков – оригинальная запатентованная; сырье для получения железохромоникелевых порошков – сплав марки 20X25H20C2; рабочая жидкость – спирт изопропиловый; установка для селективного сплавления – оригинальная запатентованная; оборудование для изучения микроструктуры аддитивного образца – микроскоп электронный растровый Nova NanoSEM 450, обеспечивающий высокое пространственное разрешение и возможность детального анализа структурных элементов материала; оборудование для изучения микротвердости аддитивного образца – микротвердомер Instron 402 MVD (Великобритания). Испытания проводились при нагрузке на индентор 100 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТ 9450-76. Время нагружения индентора составило 15 с. Перед проведением микроструктурного анализа аддитивного образца осуществлялась подготовка металлографического шлифа.

**Результаты.** На основании проведенных исследований, направленных на исследование микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов, установлено, что аддитивный образец имеет практически беспористую микрокристаллическую структуру; среднее значение микротвердости составляет порядка 6,4 ГПа. Данные значения микротвердости достигаются практически беспористой микрокристаллической структурой и наличием высокотвердых фазовых составляющих.

**Заключение.** Проведенные исследования позволят подобрать для нового сплава, полученного селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, наиболее рациональную область его практического применения.

**Ключевые слова:** электроэрозионный железохромоникелевый порошок; селективное сплавление; микротвердость.

**Конфликт интересов:** Агеев Е.В. является заместителем главного редактора журнала «Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии» с 2015 г., но не имеет никакого отношения к решению опубликовать эту статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках Госзадания "Структурированные микро- и наноматериалы на металлической и керамической основе для биомедицины и промышленного материаловедения" (FENM-2025-0008). Регистрационный номер 1024031900124-7-1.3.2.

**Для цитирования:** Исследование микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электро-эрозионных железохромоникелевых порошков / Е.В. Агеев, О.В. Кругляков, А.Ю. Алтухов, А.М. Егоров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2026. Т. 16, № 2. С. 35-45. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-35-45>.

Поступила в редакцию 16.03.2026

Подписана в печать 30.04.2026

Опубликована 30.06.2026

## Investigation of microhardness of samples obtained by selective fusion of electroerosive Iron-Chromium-Nickel powders

Evgeny V. Ageev<sup>1</sup> ✉, Oleg V. Kruglyakov<sup>1</sup>, Alexander Yu. Altukhov<sup>1</sup>,  
Arsenii M. Egorov<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Don State Technical University  
1 Gagarin sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation

✉ e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Abstract

**The purpose** of this work was to study the microhardness of samples obtained by selective fusion of electroerosive iron-chromium-nickel powders produced by processing metal waste.

**Methods.** When carrying out research aimed at achieving this goal, the following equipment was used in accordance with the experimental plan: an installation for the production of electroerosive Iron-Chromium-Nickel powders – original patented; raw materials for the production of Iron-Chromium-Nickel powders - alloy grade 20X25H20X2; working fluid - isopropyl alcohol; installation for selective fusion - original patented; The equipment for studying the microstructure of an additive sample is the Nova NanoSEM 450 electronic scanning microscope, which provides high spatial resolution and the possibility of detailed analysis of structural elements of the material; the equipment for studying the microhardness of an additive sample is the Instron 402 MVD micrometer (Great Britain). The tests were carried out with an indenter load of 100 g on ten prints with a free choice of injection site in accordance with GOST 9450-76. The loading time of the indenter was 15 s. Before the microstructural analysis of the additive sample was carried out, the metallographic section was prepared.

**Results.** Based on the conducted studies aimed at studying the microhardness of samples obtained by selective alloying of electroerosive Iron-Chromium-Nickel powders produced by processing metal waste, it was found that the additive sample has a practically nonporous microcrystalline structure; the average microhardness is about 6.4 GPa. These microhardness values are achieved by an almost porous microcrystalline structure and the presence of highly solid phase components.

**Conclusion.** The research carried out will make it possible to select the most rational area of its practical application for a new alloy obtained by selective fusion of electroerosive Ferro-Chromium-Nickel powders.

**Keywords:** electroerosive Iron-Chromium-Nickel shock; selective fusion; microhardness.

**Conflict of interest.** Ageev E.V. is a member of the editorial board of the journal Proceedings of the "Southwest State University. Series: Engineering and Technologies" since 2015, but has nothing to do with the decision to publish this article. The article has passed the review procedure accepted in the journal. The authors did not declare any other conflicts of interest.

**Funding:** The work is carried out within the framework of the State Task "Structured micro- and nanomaterials based on metal and ceramic for biomedicine and industrial materials Science" (FENM-2025-0008). Registration number 1024031900124-7-1.3.2.

**For citation:** Ageev E.V., Kruglyakov O.V., Altukhov A. Yu., Egorov A.M. Investigation of microhardness of samples obtained by selective fusion of electroerosive Iron-Chromium-Nickel powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2026;16(2):35-45 (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-35-45>.

Received 16.03.2026

Accepted 30.04.2026

Published 30.06.2026

\*\*\*

## Введение

В настоящее время аддитивные технологии, позволяющие создавать металлические изделия, признаны одним из наиболее важных и динамично развивающихся направлений в машиностроительной отрасли [1]. Однако расширение их применения сопряжено с возрастающими требованиями к качеству исходных порошковых материалов и условиям эксплуатации аддитивного оборудования [2]. При этом производители аддитивных установок [3] зачастую ограничивают выбор доступных порошков, предлагая их в рамках собственных технологических решений [4].

Такая практика существенно препятствует внедрению альтернативных порошковых материалов и актуализирует задачу создания производства металлических порошков с требуемым химическим составом и гранулометрическими характеристиками, особенно в условиях мелкосерийного производства [5]. Эта проблема приобретает особую значимость при разработке инновационных материалов и адаптации аддитивных технологий к специфическим эксплуатационным условиям.

Одним из критически важных параметров порошков для аддитивного формирования является форма частиц. Сферическая геометрия частиц обеспечивает оптимальную текучесть порошкового слоя и стабильность его подачи в зону построения, что напрямую влияет на качество формируемой структуры [6]. В промышленной практике сферические порошки преимущественно получают методами атомизации (газовой, вакуумной, центробежной) [7]. Однако эти технологии имеют ряд ограничений, связанных со

сложностью получения порошков нестандартного химического состава и низкой экономической эффективностью при производстве малых партий материала.

Следовательно, на современном этапе развития аддитивного производства сохраняется научно-технологическая проблема, заключающаяся в недостаточной изученности применения отечественных электроэрозионных порошков [8] в аддитивных технологиях [9]. В наибольшей степени это относится к изготовлению ответственных элементов газотурбинных установок, функционирующих в условиях повышенных температурных и тепловых нагрузок, включая сопловые аппараты, рабочие лопатки, дисковые элементы и иные конструктивные узлы [10], изготавливаемые из жаропрочных железоникелевых сплавов [11].

Формирование обоснованных технологических рекомендаций по практическому применению порошковых материалов, получаемых из металлосодержащих отходов железоникелевых сплавов методом электродиспергирования [12], в аддитивных машинах является весьма перспективным [13].

Целью настоящей работы являлось исследование микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железоникелевых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов.

## Материалы и методы

При проведении экспериментальных исследований, ориентированных на достижение поставленной цели, в соответствии с утверждённой программой эксперимента был задействован следующий комплекс оборудования и материалов.

Для получения железохромоникелевых порошков методом электроэрозионного диспергирования применялась оригинальная экспериментальная установка, защищённая патентом [14]. В качестве исходного материала использовался жаропрочный железохромоникелевый сплав марки 20X25H20C2 [15]. В процессе электроэрозионной обработки в качестве рабочей среды применялся изопропиловый спирт [16].

Формирование аддитивных образцов осуществлялось на оригинальной селективной установке сплавления, также защищённой патентом [17].

Исследование микроструктурных характеристик полученных аддитивных образцов проводилось с использованием растрового электронного микроскопа Nova NanoSEM 450 [18], обеспечивающего высокое пространственное разрешение и возможность детального анализа структурных элементов материала.

Структурно-логическая схема методики исследования микроструктуры аддитивного образца представлена на рисунке 1.

Оборудование для изучения микротвердости аддитивного образца – микротвердомер Instron 402 MVD (Великобритания). Испытания проводились при нагрузке на индентор 100 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». Время нагружения индентора составило 15 с [19].

Структурно-логическая схема методики исследования микротвердости аддитивного образца представлена на рисунке 2 [20].

## Результаты и их обсуждение

Перед проведением микроструктурного анализа аддитивного образца осуществлялась подготовка металлографического шлифа. Процедура шлифования выполнялась с применением металлографических абразивных бумаг различной зернистости: от крупнозернистых (№ 60–70)

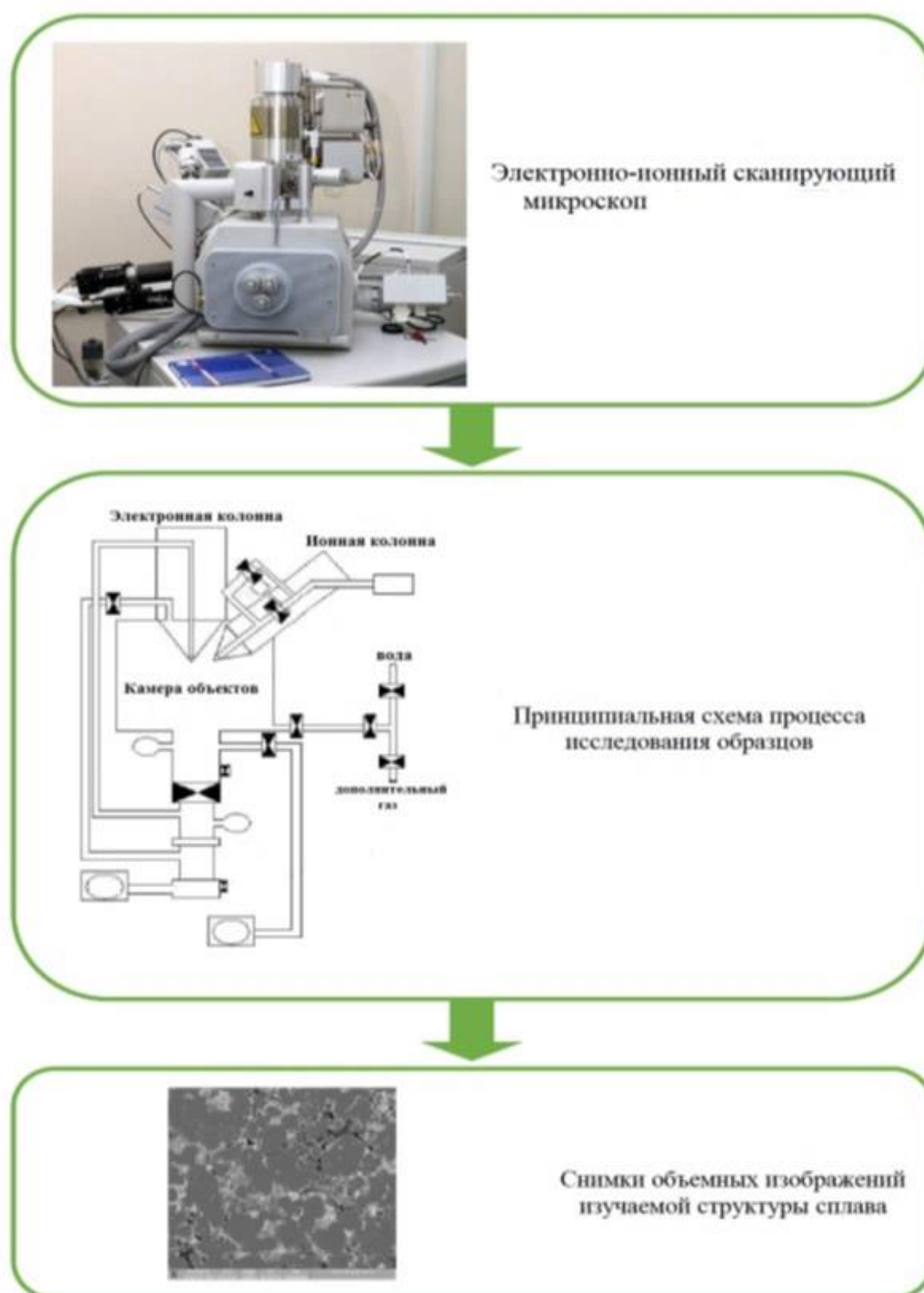
до мелкозернистых (№ 220–240). В ходе обработки образцы подвергались периодическому повороту на 90°, что обеспечивало равномерное снятие поверхностного слоя и минимизацию направленных рисок. Образовавшиеся частицы абразива удалялись путём промывки водой.

Финишная обработка поверхности осуществлялась методом полирования на вращающемся круге с использованием суспензий оксидов металлов  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . По достижении зеркального состояния поверхность шлифа последовательно промывали водой и спиртом, после чего производили сушку с применением фильтровальной бумаги. Подготовленные таким образом образцы характеризовались отсутствием следов механической обработки, а также признаков выкрашивания или деформации структурных составляющих материала. Микроструктура аддитивного образца, полученная с помощью растрового электронного микроскопа Nova NanoSEM 450, представлена на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что аддитивный образец имеет практически беспористую микрокристаллическую структуру.

Испытания твердости образцов по поверхности проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 при нагрузке на индентор 200 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТ 9450-76. Время нагружения индентора составило 10 с. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Экспериментально установлено, что среднее значение микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов, составляет порядка 6,4 ГПа. Данные значения микротвердости достигаются практически беспористой микрокристаллической структурой и наличием высокотвердых фазовых составляющих.



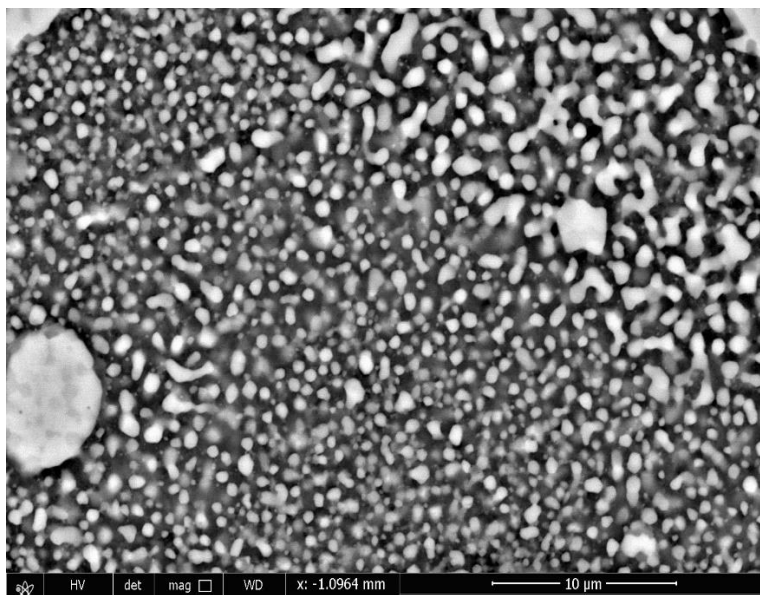
**Рис. 1.** Структурно-логическая схема методики исследования микроструктуры аддитивного образца

**Fig. 1.** Structural and logical scheme of the methodology for studying the microstructure of an additive sample



**Рис. 2.** Структурно-логическая схема методики исследования микротвердости аддитивного образца

**Fig. 2.** Structural and logical scheme of the method for studying the microhardness of an additive sample



**Рис. 3.** Микроструктурное состояние аддитивного образца, сформированного из электроэрозионных железохромоникелевых порошков

**Fig. 3.** Microstructural state of an additive sample formed from electro-erosion Iron-Chromium-Nickel powders

**Таблица 1.** Количественные характеристики микротвердости аддитивного образца

**Table 1.** Quantitative characteristics of the microhardness of an additive sample

| Номер отпечатка индентора /<br>Indenter print number | Измеренное значение микротвердости, ГПа /<br>Measured microhardness value, GPa |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                    | 6,5                                                                            |
| 2                                                    | 6,3                                                                            |
| 3                                                    | 6,6                                                                            |
| 4                                                    | 6,2                                                                            |
| 5                                                    | 6,7                                                                            |
| 6                                                    | 6,1                                                                            |
| 7                                                    | 6,8                                                                            |
| 8                                                    | 6,0                                                                            |
| 9                                                    | 6,4                                                                            |
| 10                                                   | 6,4                                                                            |
| Среднее значение                                     | 6,4                                                                            |

## Выводы

1. На основании проведенных исследований, микротвердости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов, установлено, что:

– аддитивный образец имеет практически беспористую микрокристаллическую структуру;

– среднее значение микротвердости составляет порядка 6,4.

2. Проведенные исследования позволяют подобрать для нового сплава, полученного селективным сплавлением электроэрозионных железохромоникелевых порошков, наиболее рациональную область его практического применения.

### Список литературы

1. Разработка конструкции и технологии изготовления импеллера флотационной машины на основе аддитивных технологий / Л.В. Седых, П.В. Борисов, А.Н. Пашков, Н.В. Горбатюк, Р.Ю. Суркова, Ж.Х. Маматкулов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2021. Т. 64, № 5. С. 366-373. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-5-366-373>. EDN PGYVKL.
2. Технология получения мелкодисперсного порошка карбида вольфрама для аддитивных технологий SLM-печати / Е.Н. Кузьмичев, Э.Х. Ри, Е.Н. Дроздов, Д.Н. Никитин // Цветные металлы. 2025. № 10. С. 67-73. <https://doi.org/10.17580/tsm.2025.10.11>. EDN VMNARX.
3. Гусяков В.В., Давыдов В.М., Якуба Д.Д. Восстановление сложнопрофильных деталей на основе аддитивных технологий // Современные материалы, техника и технологии. 2019. № 3(24). С. 17-23. EDN OVOKJV.
4. Саубанов М.Н., Смагин А.А. Разработка и внедрение технологии изготовления порошков из титановых сплавов и деталей из них по аддитивным технологиям // Титан. 2024. № 1(81). С. 27-32. EDN QFFQTJ.
5. 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.
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. 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.
8. 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.
9. Агеев Е.В., Агеева А.Е. Размерные характеристики титановых порошков, полученных для аддитивных машин электродиспергированием отходов сплава ОТ4 в спирте // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2024. № 1. С. 20-25. [https://doi.org/10.52261/02346206\\_2024\\_1\\_20](https://doi.org/10.52261/02346206_2024_1_20). EDN DDZOTL.
10. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. Additive products from electroerosion of Cobalt-Chromium powder // Metallurgist. 2022. Vol. 65, no. 9-10. P. 1157-1162. <https://doi.org/10.1007/s11015-022-01259-5>. EDN RTAFES.
11. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. Structure and properties of Iron-Chromium-Nickel powders obtained via electrodispersing of metal wastes of the alloy Kh25N20 in alcohol // CIS Iron and Steel Review. 2025. Vol. 30. P. 66-71. <https://doi.org/10.17580/cisr.2025.02.11>. EDN IRNPUH.
12. 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.
13. Ageev E.V., Ageeva A.E. Microstructure and elemental composition of Titanium powders for additive machines obtained by electrodispersion of OT4 alloy metal waste in water // Journal

of Machinery Manufacture and Reliability. 2024. Vol. 53, No. S2. P. S150-S155. <https://doi.org/10.1134/S1052618824701450>. EDN CNNLDQ.

14. 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.

15. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu. Structure and properties of Iron-Chromium-Nickel powders obtained via electrodispersing of metal wastes of the alloy Kh25N20 in distilled water// CIS Iron and Steel Review. 2025. Vol. 29. P. 77-81. <https://doi.org/10.17580/cisistr.2025.01.14>. EDN RAQVAE.

16. Агеев Е.В., Агеева А.Е. Фазовый состав титановых порошков, полученных для аддитивных машин электродиспергированием отходов сплава ОТ4 в спирте // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2024. № 4. С. 90-96. <https://doi.org/10.31857/S0235711924040129>. EDN OYGBGW.

17. Аддитивные изделия из электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Р.А. Латыпов, Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Е.В. Агеева // Цветные металлы. 2022. № 4. С. 40-45. <https://doi.org/10.17580/tsm.2022.04.05>. EDN JKSCRU.

18. 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.

19. Исследование микротвердости спеченного образца шарикоподшипниковой электроэрозионной стали / С.В. Хардилов, Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 2(19). С. 25-30. EDN WMUUAZ.

20. Агеев Е.В., Кругляков О.В., Поданов В.О. Исследование микротвердости и износостойкости жаропрочных сплавов, полученных искровым плазменным спеканием электроэрозионных порошков сплава ЖС6У // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2023. № 7(278). С. 30-35. <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2023-7-278-30-35>. EDN WZJEHE.

## References

1. Sedykh L.V., Borisov P.V., Pashkov A.N., Gorbatuk N.V., Surkova R.Yu., Mamatkulov Zh.H. Development of the design and manufacturing technology of the impeller of a flotation machine based on additive technologies. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2021;64(5):366-373. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-5-366-373>. EDN PGYVKL.

2. Kuzmichev E.N., Ri E.H., Drozdov E.N., Nikitin D.N. Technology for obtaining finely dispersed tungsten Carbide powder for additive SLM printing technologies. *Tsvetnye metally = Non-Ferrous Metals*. 2025;(10): 67-73. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2025.10.11>. EDN VMNARX.

3. Guslyakov V.V., Davydov V.M., Yakuba D.D. Restoration of complex-profile parts based on additive technologies. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, machinery and technologies*. 2019;(3):17-23. (In Russ.) EDN OVOKJV.

4. Saubanov M.N., Smagin A.A. Development and implementation of technology for manufacturing powders from Titanium alloys and parts from them using additive technologies. *Titan = Titanium*. 2024;(1):27-32. (In Russ.) EDN QFFQTJ.

5. Ageev E.V., Gadalog V.N., Semенихин B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. X-ray spectral microanalysis of powder particles obtained by electroerosion dispersion of a hard alloy. *Up-rochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2011;(2):13-16. (In Russ.) EDN LVQSGC.

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. Ageev E.V., Novikov E.P., Altukhov A.Yu. Technology of processing aluminum car parts to micro and nanofractions. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tekhnologicheskom 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.
8. 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. <https://doi.org/10.1134/S0036029518120108>. EDN MWHYYK.
9. Ageev E.V., Ageeva A.E. Dimensional characteristics of Titanium powders obtained for additive machines by electrodispersing OT4 alloy waste in alcohol. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii = Problems of Mechanical Engineering and Automation*. 2024;(1):20-25. (In Russ.) [https://doi.org/10.52261/02346206\\_2024\\_1\\_20](https://doi.org/10.52261/02346206_2024_1_20). EDN DDZOTL.
10. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Y. Additive products from electroerosion of Cobalt-Chromium powder. *Metallurgist*. 2022;65(9-10):1157-1162. <https://doi.org/10.1007/s11015-022-01259-5>. EDN RTAFES.
11. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu. Structure and properties of Iron-Chromium-Nickel powders obtained via electrodispersing of metal wastes of the alloy Kh25N20 in alcohol. *CIS Iron and Steel Review*. 2025;30:66-71. <https://doi.org/10.17580/cislr.2025.02.11>. EDN IRNPUH.
12. Ageev E.V., Ageeva E.V., Vorobyev E.A. Granulometric and phase compositions of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosion dispersion in kerosene. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2014;(4):11-14. (In Russ.) EDN SAMGBH.
13. Ageev E.V., Ageeva A.E. Microstructure and elemental composition of Titanium powders for additive machines obtained by electrodispersion of OT4 alloy metal waste in water. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2024;53(S2):S150-S155. <https://doi.org/10.1134/S1052618824701450>. EDN CNNLDQ.
14. Ageev E.V., Ageeva E.V., Chernov A.S., Maslov G.S., Parshina E.I. Determination of the main patterns of the process of obtaining powders by the method of electroerosion dispersion. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2013;(1):85-90. (In Russ.) EDN PGMCAA.
15. Ageev E.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu. Structure and properties of Iron-Chromium-Nickel powders obtained via electrodispersing of metal wastes of the alloy Kh25N20 in distilled water. *CIS Iron and Steel Review*. 2025;29:77-81. <https://doi.org/10.17580/cislr.2025.01.14>. EDN RAQVAE.
16. Ageev E.V., Ageeva A.E. Phase composition of Titanium powders obtained for additive machines by electrodispersing OT4 alloy waste in alcohol. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin = Problems of mechanical engineering and machine reliability*. 2024;(4):90-96. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0235711924040129>. EDN OYGBGW.
17. Latypov R.A., Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Ageeva E.V. Additive products made of electroerosive Cobalt-Chromium powders. *Tsvetnye metally = Non-Ferrous Metals*. 2022;(4):40-45. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/tsm.2022.04.05>. EDN JKSCRU.
18. Ageev E.V., Gadalog V.N., Semenikhin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A. Obtaining wear-resistant powders from waste of hard alloys. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Procurement products in mechanical engineering*. 2010;(12):39-44. (In Russ.) EDN NBXQRT.

19. Hardikov S.V., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Ageev E.V., Gorokhov A.A. Investigation of the microhardness of a sintered sample of ball-bearing electroerosion steel. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2016;(2):25-30. (In Russ.) EDN WMUUAZ.

20. Ageev E.V., Kruglyakov O.V., Podanov V.O. Investigation of microhardness and wear resistance of high-strength alloys obtained by spark plasma sintering of erosive powders of the ZhS6U alloy. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of the Volgograd State Technical University*. 2023;(7):30-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.35211/1990-5297-2023-7-278-3035>. EDN WZJEHE.

---

### 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**, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Materials Technology and Transport Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev\_ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8491-2829, SPIN-код: 7007-6649

**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**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Materials Technology and Transport Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: o.kruglyakov@tmholding.ru

**Алтухов Александр Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: alt997@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2292-2092, SPIN-код: 4967-3641

**Alexander Yu. Altukhov**, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Vice-Rector for Research and International Affairs, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: alt997@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-2292-2092, SPIN-код: 4967-3641

**Егоров Арсений Максимович**, студент, Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, e-mail: arsenmaxegorov@mail.ru, ORCID: 0009-0005-8260-3589, SPIN-код: 8894-4873, AuthorID: 1301802

**Arsenii M. Egorov**, Student, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation, e-mail: arsenmaxegorov@mail.ru, ORCID: 0009-0005-8260-3589, SPIN code: 8894-4873, AuthorID: 1301802