

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-8-18>



Анализ износостойкости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков

Е.В. Агеев¹ ✉, О.В. Кругляков¹, А.Ю. Алтухов¹, А.Е. Андреева¹,
А.М. Егоров²

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

² 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 износостойкости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков, изготавливаемых путем переработки титановых металлоотходов марки BT20.

Методы. При выполнении исследований использовалось следующее оборудование: установка для получения электроэрозионных титановых порошков – оригинальная запатентованная; сырье для получения титановых порошков – сплав марки BT20; рабочая жидкость – спирт изопропиловый; установка для селективного сплавления – оригинальная запатентованная; оборудование для исследования параметров износостойкости аддитивного образца – автоматизированная машина трения Tribometer, CSM Instruments. Материал контртела – сталь марки Stainless Steel AISI 420.

Результаты. В рамках поставленной задачи, направленной на исследование износостойкости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов, установлено следующее: величина коэффициента трения поверхности исследуемого образца составляет от 0,126 до 0,435; величина объемного износа составляет $4,972 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-5}$. Экспериментально установлен скачок коэффициента трения в первоначальный момент трибологических испытаний образца, который связан с относительно высокой шероховатостью и износ характеризуется сглаживанием твердых выступов поверхности образца. Экспериментально установлено, что в контактирующей паре титановый образец – контртело обе соприкасающиеся поверхности изнашиваются практически равномерно. При этом ширина дорожки износа исследуемого образца составила от 1,23 до 1,28 мм. Относительно высоким показателям износостойкости исследуемого образца, полученного селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков, способствовала беспористая бездефектная структура и относительно мелкий размер зерна.

Заключение. Полученные данные позволят выбрать наиболее рациональную область практического применения нового аддитивного материала.

Ключевые слова: электроэрозионный титановый порошок; селективное сплавление; аддитивный титановый образец; износостойкость.

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: Анализ износостойкости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков / Е.В. Агеев, О.В. Кругляков, А.Ю. Алтухов, А.Е. Андреева, А.М. Егоров // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2026. Т. 16, №2. С. 8-18. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-8-18>.

Поступила в редакцию 01.03.2026

Подписана в печать 30.04.2026

Опубликована 30.06.2026

Analysis of wear resistance of samples obtained by selective fusion of electroerosive Titanium powders

Evgeny V. Ageev ¹ ✉, Oleg V. Kruglyakov ¹, Alexander Yu. Altukhov ¹,
Anna E. Andreeva ¹, Arsenii M. Egorov ²

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

² 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 wear resistance of samples obtained by selective fusion of electroerosive titanium powders produced by processing Titanium metal alloys of the VT20 brand.

Methods. The following equipment was used during the research: a plant for producing electroerosive Titanium powders - original patented; raw materials for producing Titanium powders – VT20 alloy; working fluid – isopropyl alcohol; a plant for selective alloying – original patented; equipment for studying the wear resistance parameters of an additive sample – automated friction machine Tribometer, CSM Instruments. The material of the counterbody is Stainless Steel AISI 420.

Results. As part of the task aimed at studying the wear resistance of samples obtained by selective fusion of electroerosive Titanium powders produced by processing metal waste, the following was established: the coefficient of friction of the surface of the sample under study ranges from 0.126 to 0.435; the amount of volumetric wear is 4.972 mm³×10⁻⁵. Experimentally, a jump in the coefficient of friction was established at the initial moment of tribological testing of the sample, which is associated with relatively high roughness and wear characterized by smoothing of the hard surfaces of the sample. It has been experimentally established that in a contacting pair - a Titanium sample and a counterbody – both touching surfaces wear out almost uniformly. At the same time, the width of the wear plate of the test sample ranged from 1.23 to 1.28 mm. The relatively high wear resistance of the studied sample, obtained by selective fusion of electroerosion titanium powders, was facilitated by a porous defect-free structure and a relatively small grain size.

Conclusion. The data obtained will make it possible to select the most rational area of practical application of the new additive material.

Keywords: electroerosive Titanium powder; selective fusing; additive Titanium sample; wear resistance.

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., Andreeva A. E., Egorov A.M. Analysis of wear resistance of samples obtained by selective fusion of electroerosive Titanium powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2026;16(2):8-18 (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2026-16-2-8-18>.

Received 01.03.2026

Accepted 30.04.2026

Published 30.06.2026

Введение

На современном этапе развития машиностроительного комплекса аддитивные технологии производства изделий из металлов и сплавов признаются одним из приоритетных и динамично развивающихся научно-технических направлений [1]. Расширение сфер их применения сопряжено с повышением требований к исходным порошковым материалам и условиям эксплуатации аддитивного оборудования [2]. При этом производители установок аддитивного формования [3] зачастую ограничивают использование порошков определенным перечнем, преимущественно поставляемым в рамках фирменных технологических решений [4].

Сложившаяся практика существенно ограничивает возможности внедрения альтернативных порошковых материалов и обуславливает актуальность задачи организации производства металлических порошков требуемого химического состава и гранулометрических характеристик в условиях малосерийного выпуска [5]. Данная проблема приобретает особую значимость при разработке новых материалов и адаптации аддитивных технологий к специфическим эксплуатационным требованиям.

Одним из определяющих параметров порошков, предназначенных для аддитивного формования, является форма частиц. Сферическая геометрия частиц обеспечивает высокую текучесть порошкового слоя и стабильность его подачи в зону построения изделия, что непосредственно

отражается на качестве формируемой структуры [6]. В промышленной практике получение сферических порошков преимущественно осуществляется методами атомизации, включая газовую, вакуумную и центробежную разновидности [7]. Вместе с тем данные технологии характеризуются рядом технологических и экономических ограничений, выражающихся в сложности получения порошков нестандартного химического состава, а также в низкой эффективности производства малых партий материала.

В результате на современном этапе развития аддитивного производства сохраняется научно-технологическая проблема, связанная с недостаточной проработанностью вопросов применения отечественных электроэрозионных порошков [8] в аддитивных технологиях [9]. В настоящее время одними из самых востребованных электроэрозионных порошков являются порошки на основе титана, содержащиеся в большом количестве в сплаве марки ВТ20 [10]. Данный сплав имеет относительно небольшую плотность (значительно легче железа), высокие показатели прочности, жаропрочности (вдвое прочнее железа) и антикоррозионные свойства, которые позволяют уменьшить массу изделий по сравнению со сталями и алюминиевыми сплавами [11].

Электроэрозионные титановые порошки получают путем разрушения кусков сплава в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами [12]. Элек-

троэрозионный способ позволяет получить порошки без использования химических реагентов, что существенно влияет на себестоимость порошка и позволяет избежать загрязнения рабочей жидкости и окружающей среды химическими веществами [13].

Однако в современной научно-технической литературе отсутствуют полноценные сведения о влиянии микроструктуры и фазового состава электроэрозионных титановых порошков на их технологические свойства при аддитивном формовании, а также о методах контроля и управления этими параметрами. Это создает пробел в знаниях, необходимый для эффективного внедрения данного типа порошков в промышленные аддитивные процессы и разработки новых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Несмотря на актуальность аддитивных технологий в современной научно-технической литературе недостаточно полных данных о свойствах образцов, полученных селективным сплавлением титанового порошка, который, в свою очередь, был произведен электродиспергированием отходов сплава VT20. Это обстоятельство сдерживает их практическое внедрение [14]. В то же время переработка титанового сплава VT20 является ключевым фактором для достижения ресурсосбережения, импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета Российской Федерации [15].

Целью настоящей работы являлось исследование износостойкости образцов, полученных селективным сплавлением электроэрозионных титановых порошков, изготавливаемых путем переработки металлоотходов сплава VT20.

Материалы и методы

Процесс достижения поставленной цели включал использование конкретных

материалов и методик. Исходным сырьем для получения порошков послужили металлоотходы сплава VT20 (химический состав детализирован в таблице 1), обработка которых производилась в изопропиловом спирте (пропанол-2, соответствующий ТУ 6-09-402-87).

Таблица 1. Химический состав материала VT20, % мас.

Table 1. Chemical composition of VT20 material, % by weight

Химический элемент / Chemical element	Массовая доля, % / Mass fraction, %
Ti	85,15–91,4
Al	5,5–7
Zr	1,5–2,5
V	0,8–2,5
Mo	0,5–2
Fe	до 0,25
O	до 0,15
Si	до 0,15
C	до 0,1
N	до 0,05
H	до 0,015

Для производства титановых порошков из отходов сплава VT20 была задействована уникальная экспериментальная установка, защищенная патентом [16]. Формирование аддитивных образцов осуществлялось на специализированной селективной установке сплавления, также имеющей патентную защиту [17].

Оценка параметров износостойкости аддитивных образцов проводилась с помощью автоматизированной машины трения Tribometer, CSM Instruments [18]. В качестве контртела применялась сталь марки Stainless Steel AISI 420 [19]. Методология исследования износостойкости сплавов представлена в виде структурно-логической схемы на рисунке 1 [20].

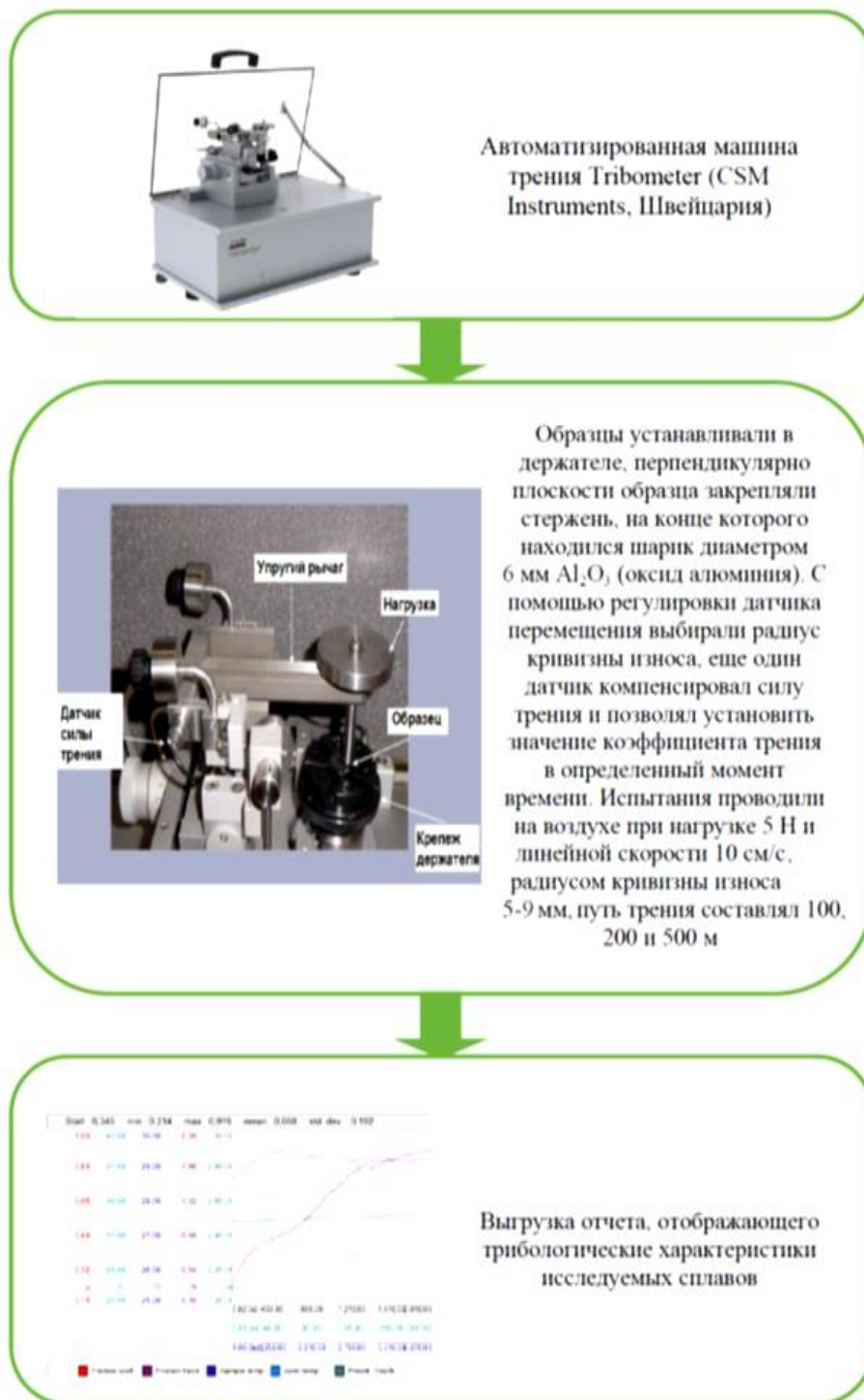


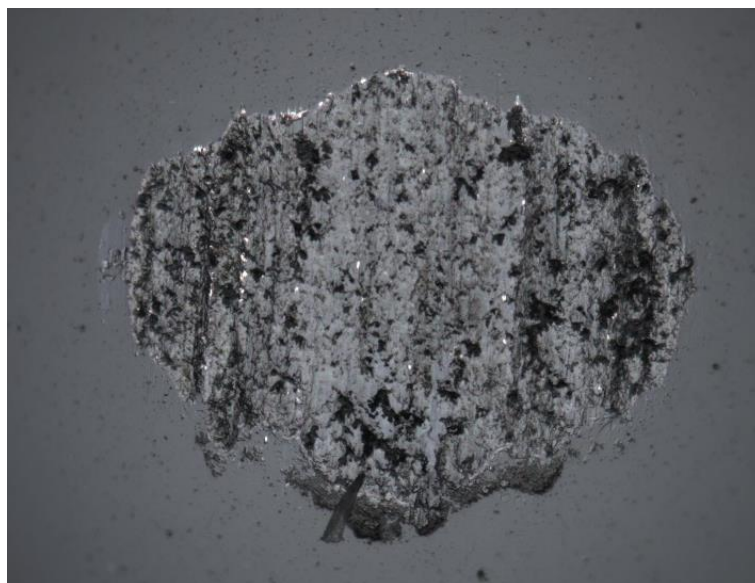
Рис. 1. Структурно-логическая схема методики исследования износостойкости образца

Fig. 1. Structural and logical scheme of the methodology for studying the wear resistance of a sample

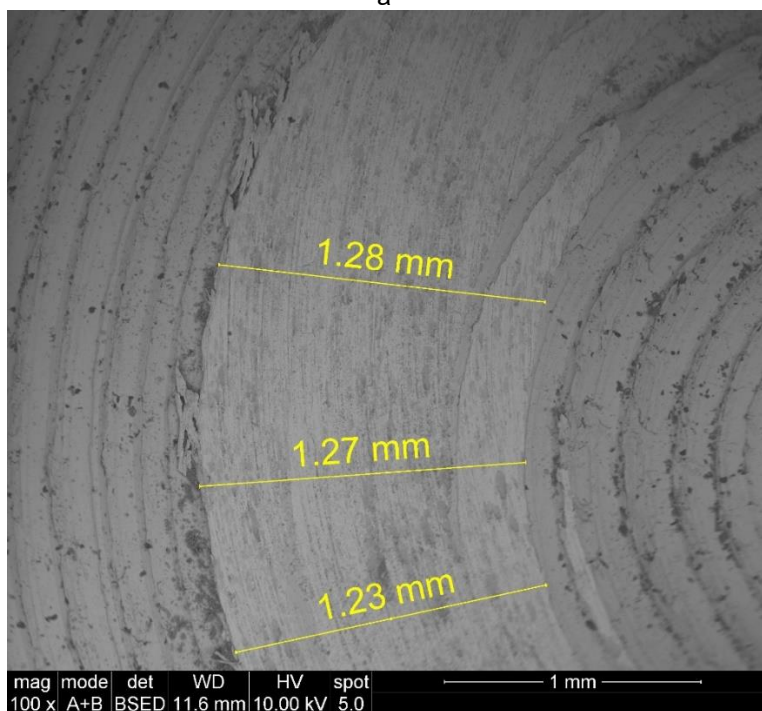
Результаты и их обсуждение

Визуализация контактных зон представлена на рисунке 2. Изображение поверхности контртела (шарика) получено

методом оптической микроскопии (OLYMPUS GX51), тогда как топография поверхности исследуемого образца после многократных циклов трения зафиксирована с использованием растровой электронной микроскопии (Nova NanoSEM).



а



б

Рис. 2. Изображения контактных поверхностей: а – контртело; б– образец

Fig. 2. Images of contact surfaces: а – counterbody; б – sample

Результаты экспериментальных исследований показали, что при взаимодействии титанового образца с контртелом наблюдается практически симметричный износ обеих контактирующих поверхностей. Ширина образовавшейся дорожки износа на исследуемом титановом образце находилась в диапазоне от 1,23 до 1,28 мм.

График на рисунке 3 иллюстрирует зависимость коэффициента трения поверхности образца от пройденного расстояния (500 м) при заданных условиях: нагрузке 5 Н, линейной скорости 15 см/с и радиусе кривизны износа 3 мм, после проведения многократных циклов трения.



Рис. 3. Зависимость коэффициента трения поверхности исследуемого образца

Fig. 3. Dependence of the coefficient of friction of the surface of the sample under study

Результаты экспериментов показали, что в начальной фазе трибологических испытаний образца происходит резкое увеличение коэффициента трения. Данный эффект коррелирует с исходной высокой шероховатостью поверхности, а процесс износа характеризуется абразивным сглаживанием твердых микровыступов.

В ходе экспериментов было определено, что коэффициент трения поверхности исследуемого образца находится в диапазоне от 0,126 до 0,435.

Экспериментально получены следующие количественные характеристики износостойкости железохромоникелевого образца:

- начальный коэффициент трения 0,126;
- минимальный коэффициент трения 0,125;
- максимальный коэффициент трения 0,435
- средний коэффициент трения 0,234;

– объемный износ $4,972 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-5}$.

Исследуемый образец, полученный селективным сплавлением электроэрозийных титановых порошков, продемонстрировал высокую износостойкость благодаря сочетанию беспористой, бездефектной структуры и относительно мелкого размера зерна.

Выводы

1. Исследования износостойкости образцов, созданных методом селективного сплавления из титановых порошков ВТ20 (полученных из металлоотходов), показали:

- коэффициент трения поверхности образца варьируется от 0,125 до 0,435;
- объемный износ составляет $4,972 \text{ мм}^3 \cdot 10^{-5}$.

2. Переработка титанового сплава ВТ20 поможет сэкономить ресурсы, заменить импортные аналоги и укрепить технологическую независимость России.

Список литературы

1. Игисенов Б.К., Касутин В.Е., Выблов К.В. Аддитивные технологии в машиностроении // Вестник современных исследований. 2017. № 11(14), ч. 1. С. 202-206. EDN YLRVHP.
2. 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.

3. Быков В.В., Голубев М.И., Голубев И.Г. Направления использования аддитивных технологий при ремонте лесопромышленных и лесохозяйственных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2019. № 3. С. 26-30. [https://doi.org/ 10.31044/1684-2561-2019-0-3-26-30](https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-3-26-30). EDN ZALMER.

4. Ермаков С.Б., Гюлиханданов Е.Л. Получение порошков для аддитивных машин методом плазменного распыления // Научные технологии в машиностроении. 2021. № 6(120). С. 29-41. [https://doi.org/ 10.30987/2223-4608-2021-6-29-41](https://doi.org/10.30987/2223-4608-2021-6-29-41). EDN UQAVEI.

5. Морфология порошка высоколегированной жаропрочной стали для машин аддитивного производства из стружки / Н.Г. Разумов, А.А. Попович, А.В. Григорьев, А.О. Силин, И.С. Гончаров // Металловедение и термическая обработка металлов. 2018. № 11(761). С. 23-28. EDN VOGRGT.

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. 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.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. 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/cisir.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. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Алтухов А.Ю. Оценка износостойкости упрочненных аддитивных изделий из электроэрозионного кобальтохромового порошка // Вестник машиностроения. 2021. № 5. С. 73-75. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-5-73-75>. EDN SKLMQO.

19. Агеев Е.В., Алтухов А.Ю., Андреева А.Е. Оценка износостойкости образцов сплава ВТ20, подвергнутых ионному азотированию // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2025. № 3. С. 11-16. https://doi.org/10.52261/02346206_2025_3_11. EDN HDMPYS.

20. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Сысоев А.А. Оценка износостойкости образцов, спеченных из электроэрозионных высокохромистых порошков, полученных в керосине // Metallurgy and Materials Science. 2021. № 7(793). С. 53-57. EDN ASRNYR.

References

1. Igisenov B.K., Kasutin V.E., Vybllov K.V. Additive technologies in mechanical engineering. *Vestnik sovremennykh issledovaniy = Bulletin of Modern Research*. 2017;(11-1):202-206. (In Russ.) EDN YLRVHP.

2. 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. EDN QFFQTJ.

3. Bykov V.V., Golubev M.I., Golubev I.G. Directions of using additive technologies in the repair of timber industry and forestry machinery. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya = Repair. Recovery. Modernization*. 2019;(3):26-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-3-26-30>. EDN ZALMEP.

4. Ermakov S.B., Gulikhandanov E.L. Obtaining powders for additive machines by plasma spraying method. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii = Science-intensive technologies in mechanical engineering*. 2021;(6):29-41. <https://doi.org/10.30987/2223-4608-2021-6-29-41>. (In Russ.) EDN UQAVEI.

5. Razumov N.G., Popovich A.A., Grigoriev A.V., Silin A.O., Goncharov I.S. Morphology of high-alloy heat-resistant steel powder for additive manufacturing machines from chips. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metallurgy and heat treatment of metals*. 2018;(11):23-28. (In Russ.) EDN VOGRGT.

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-tekhnologicheskoy 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. <https://doi.org/10.12737/14066>. (In Russ.) 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. 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/cisr.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):150-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/cisr.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., Ageeva E.V., Altukhov A.Yu. Assessment of wear resistance of hardened additive materials from electroerosive Cobalt Chromium powder. *Vestnik mashinostroeniya = Bulletin of Mechanical Engineering*. 2021;(5):73-75. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2021-5-73-75>. (In Russ.) EDN SKLMQO.

19. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Andreeva A.E. Assessment of wear resistance of VT20 alloy samples subjected to ion nitriding. *Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii = Problems of mechanical engineering and automation*. 2025;(3):11-16. (In Russ.) https://doi.org/10.52261/02346206_2025_3_11. EDN HDMPYS.

20. Ageev E.V., Ageeva E.V., Sysoev A.A. Evaluation of wear resistance of samples sintered from electroerosive high-chromium powders obtained in kerosene. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metallurgy and thermal treatment of metals*. 2021;(7):53-57. (In Russ.) EDN ASRNYR.

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

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

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