

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-67-81>

Анализ характеристик износостойкости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков

Е. В. Агеева¹ ✉, О. Г. Локтионова¹, А. Ю. Алтухов¹, Б. Н. Сабельников¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Целью настоящей работы являлось проведение исследования характеристик износостойкости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Методы. Для проведения намеченных исследований использовались отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости применяли спирт бутиловый. Для изготовления экспериментальных образцов использовалась установка для послойного нанесения порошковых материалов плазмой. Интенсивность и скорость износа поверхности образца и контртела измеряли на автоматизированной машине трения Tribometer, CSM Instruments. Образец устанавливали в держателе, перпендикулярно плоскости образца закрепляли стержень, на конце которого находился шарик диаметром 6 мм из стали Stainless Steel AISI 420 (твёрдость по Виккерсу 5000-8000 HV). С помощью регулировки датчика перемещения выбирали радиус кривизны износа, ещё один датчик компенсировал силу трения и позволял установить значение коэффициента трения в определённый момент времени. Состояние поверхностей трения изучали с помощью оптического инвертированного микроскопа Olympus GX 51, оснащённого системой автоматизированного анализа изображений «SIMAGIS Photolab» и электронно-ионного сканирующего микроскопа Quanta 200 3D.

Результаты. На основании выполненного анализа характеристик износостойкости аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных кобальтохромовых порошков, установлено следующее: коэффициент трения колеблется от 0,144 до 0,602; среднее значение коэффициента трения составляет 0,526; фактор износа образца на два порядка выше фактора износа контртела.

Заключение. Проведённые исследования позволяют расширить сведения о свойствах аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных кобальтохромовых порошков, и снизить себестоимость производства конечного продукта.

Ключевые слова: кобальтохромовый сплав; отходы; электроэрозионное диспергирование; порошок; аддитивные изделия; износостойкость.

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

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда. Номер проекта 17-79-20336.

Для цитирования: Анализ характеристик износостойкости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Е. В. Агеева, О. Г. Локтионова, А. Ю. Алтухов, Б. Н. Сабельников // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(5): 67-81. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-67-81>.

Статья поступила в редакцию 13.06.2019

Статья подписана в печать 22.07.2019

Статья опубликована 25.10.2019

© Агеева Е. В., Локтионова О. Г., Алтухов А. Ю., Сабельников Б. Н., 2019

Известия Юго-Западного государственного университета / Proceedings of the Southwest State University. 2019; 23(5): 67-81

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-67-81>

Analysis of Wear Resistance Characteristics of Additive Products Made from Electroerosive Cobalt-Chromium Powders

Ekaterina V. Ageeva¹ ✉, Oksana G. Loktionova¹,
Aleksandr Y. Altuhov¹, Boris N. Sabel'nikov¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose of research of this research is to study wear resistance characteristics of additive products made from electroerosive cobalt-chromium powders.

Methods. Wastes of cobalt-chromium "CELLIT" alloy were used for the research [27]. Butyl alcohol was used as a working fluid. A unit for layer-by-layer application of powder materials with plasma was used for experimental samples production. The intensity and wear rate of the sample surface and counterface were measured on Tribometer automated friction machine, CSM Instruments. The sample was mounted in a holder. A rod was fixed perpendicular to the surface of a sample. A 6 mm diameter ball made of Stainless Steel AISI 420 (Vickers hardness 5000-8000 HV) was at the end of the rod. Radius of wear curvature was selected by adjusting the displacement sensor. Another sensor compensated the friction force and allowed to set the friction coefficient value at a certain time. The condition of friction surfaces was studied with the help of optical inverted microscope Olympus GX 51 equipped with "SIMAGIS Photolab" automated image analysis system and Quanta 200 3D electron ion scanning microscope.

Results. According to the performed analysis of wear resistance characteristics of additive products made from electroerosive cobalt-chromium powders friction coefficient varies from 0.144 to 0.602. An average friction coefficient is 0.526. A wear factor of the sample is two times higher than the wear factor of counterface.

Conclusion. Performed research allows expanding the information about properties of additive products made from electroerosive cobalt-chromium powders and reducing production cost.

Keywords: instrument steel; cold brittleness; impurities; austenite; original charge; hardenability; thermal treatment.

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

Financing: The work was performed on the project No. 11.6682.2017 / 8.9.

For citation: Ageeva E. V., Loktionova O. G., Altuhov A. Y., Sabel'nikov B. N. Analysis of Wear Resistance Characteristics of Additive Products Made from Electroerosive Cobalt-Chromium Powders. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(5): 67-81 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-5-67-81>.

Received 13.06.2019

Accepted 22.07.2019

Published 25.10.2019

Введение

На сегодняшний день фирмы-производители аддитивных машин в то же время являются и поставщиками расходных материалов для своего оборудования. Причем, эти организации не занимаются самостоятельно производством порошковых материалов, но принимают непосредственное участие в их подготовке для использования на машинах именно собственного производства. Закупка порошка осуществляется у фирм-изготовителей, деятельность которых заключается в производстве расходных материалов для всевозможных потребностей такой отрасли, как порошковая металлургия. Производители аддитивных машин обеспечивают себе подобным образом страховку вероятных жалоб от потребителей к качеству поставленных порошковых материалов [1-9].

Для российских потребителей расходные материалы являются достаточно серьезной проблемой. Вследствие недостаточного развития отечественного рынка закупку металлопорошковых композиций для аддитивных технологий в большинстве своем приходится осуществлять у зарубежных фирм-изготовителей.

Важнейшим требованием к порошковым материалам для аддитивных машин является форма частиц, которая должна иметь сферический вид. Частицы одинаковой формы располагаются наиболее плотно в определенном объеме и обеспечивают достаточную, для систем подачи материала с наименьшим сопротивлением, «текучесть» порошка [10-20].

Отталкиваясь от особенностей методов получения сферических порошковых материалов с целью получения гранул сферической формы и регламентированной зернистости предлагается технология электроэрозионного диспергирования, отличающаяся относительно невысокими энергозатратами и экологической чистотой процесса [20-26].

Главным преимуществом предлагаемого метода является использование в качестве исходных материалов отходов, которые в значительной степени дешевле относительно чистых компонентов, применяющихся в традиционных технологиях.

Целью настоящей работы являлось проведение исследования характеристик износостойкости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Материалы и методы

Для проведения намеченных исследований использовались отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ» [27]. В качестве рабочей жидкости применяли спирт бутиловый. Использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. На рис. 1 представлена блок-схема проведения процесса получения порошковых материалов из отходов ранее упомянутого сплава методом электроэрозионного диспергирования.

Для изготовления экспериментальных образцов использовалась установка для послойного нанесения порошковых материалов плазмой (рис. 2).

Экспериментальные образцы аддитивных изделий получены при температуре сплавления частиц кобальтохромового порошка 1060°C.

Интенсивность и скорость износа поверхности образца и контртела измеряли на автоматизированной машине трения Tribometer, CSM Instruments

[28]. Блок-схема испытаний представлена на рис. 3.

На рис. 4 и 5 представлены схематический вид автоматизированной машины трения Tribometer, CSM Instruments, и стандартная схема процесса испытания «шарик-диск» соответственно.

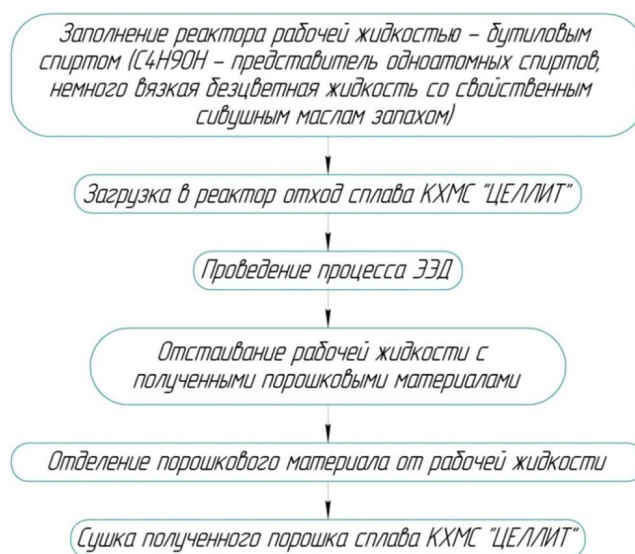


Рис. 1. Блок-схема проведения вышеуказанного процесса получения порошкового материала

Fig. 1. Block diagram of above-mentioned powder material production process



Рис. 2. Установка для послойного нанесения порошков

Fig.2. Device for layer-by-layer application of powders

Результаты и их обсуждение

После проведения испытаний образцов были изучены поверхности разрушения обоих компонентов пары тре-

ния – контртела (шарик) и образца (рис. 5, 6) [28].

Результаты трибологических испытаний представлены на рис. 7.

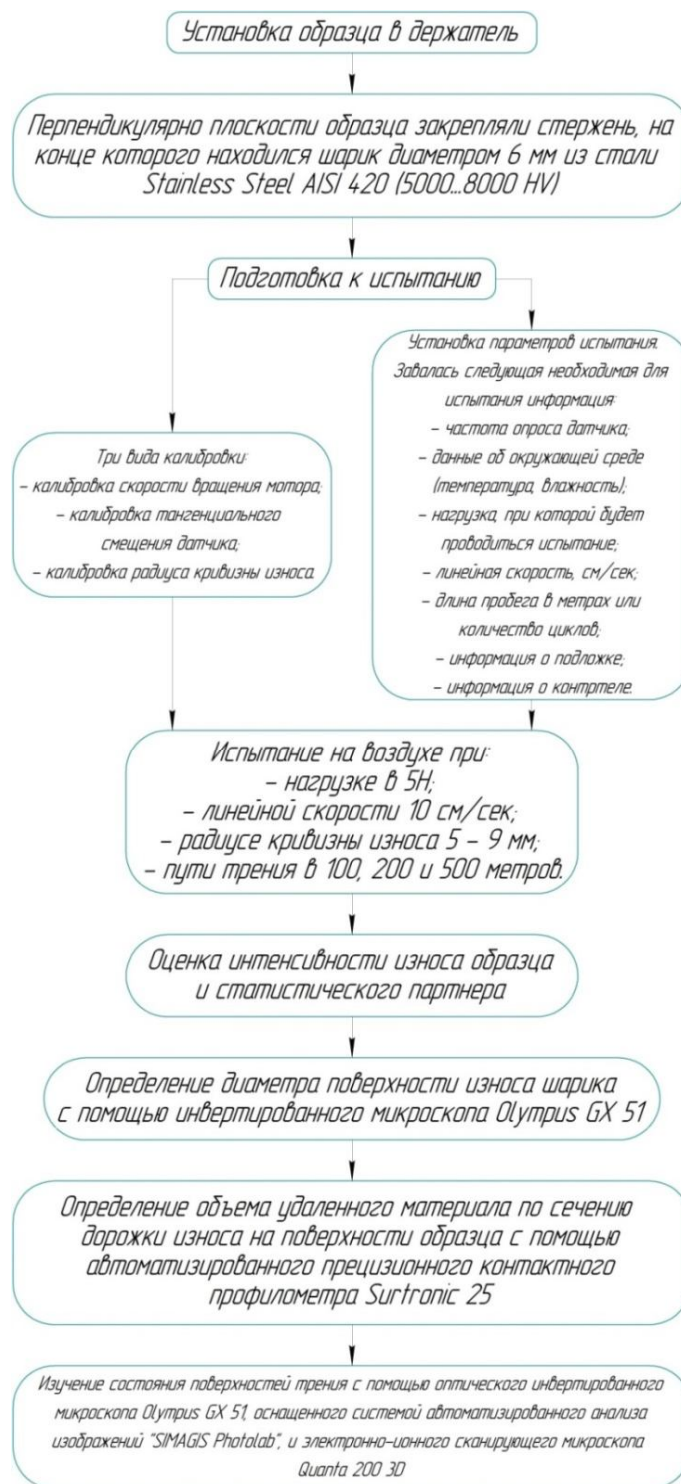


Рис. 3. Блок-схема измерения интенсивности и скорости износа поверхности образца

Fig. 3. Block diagram of sample surface wear rate and intensity measurement



Рис. 4. Схема-внешний вид автоматизированной машины трения (Tribometer, CSM Instruments, Швейцария) [28]

Fig.4. Diagram-appearance of automated friction machine (Tribometer, CSM Instruments, Switzerland) [28]

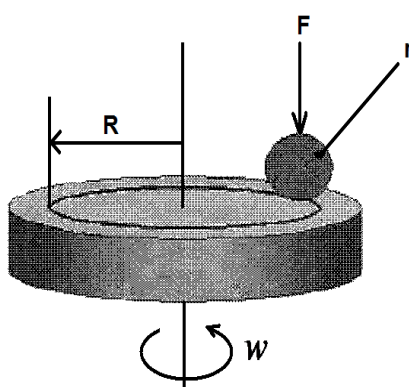
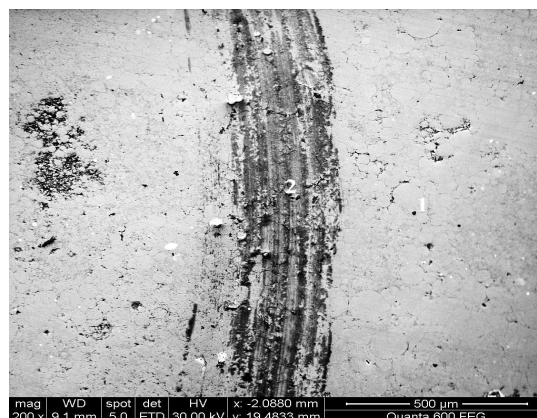


Рис. 5. Стандартная схема процесса испытания «шарик-диск»

Fig.5. Standard ball-to-disk test process diagram



а)



б)

Рис. 6. Состояние пары трения: а – оптическое изображение пятна износа контртела (шарика) после многократных проходов по исследуемой поверхности образца (OLYMPUSGX51); б – зона механического контактаконтртело – образец с точками проведения рентгеноспектрального микроанализа (Quanta 600 FEG); в – элементный состав в точке 1; г – элементный состав в точке 2; д – профиль бороздки износа поверхности образца (автоматизированный прецизионный контактный профилометр SURTRONIC 25) (окончание см. на с. 73)

Fig.6. Friction condition: а – optical image of counterface wear spot (ball) after multiple passes on the test sample surface (OLYMPUSGX51); б – mechanical contact zone - sample with X-ray spectral microanalysis points (Quanta 600 FEG); в – elemental composition at point 1; г – elemental composition at point 2; д – sample surface wear groove profile (automatic precision contact profilometer SURTRONIC 25) (for the end, see p. 73)

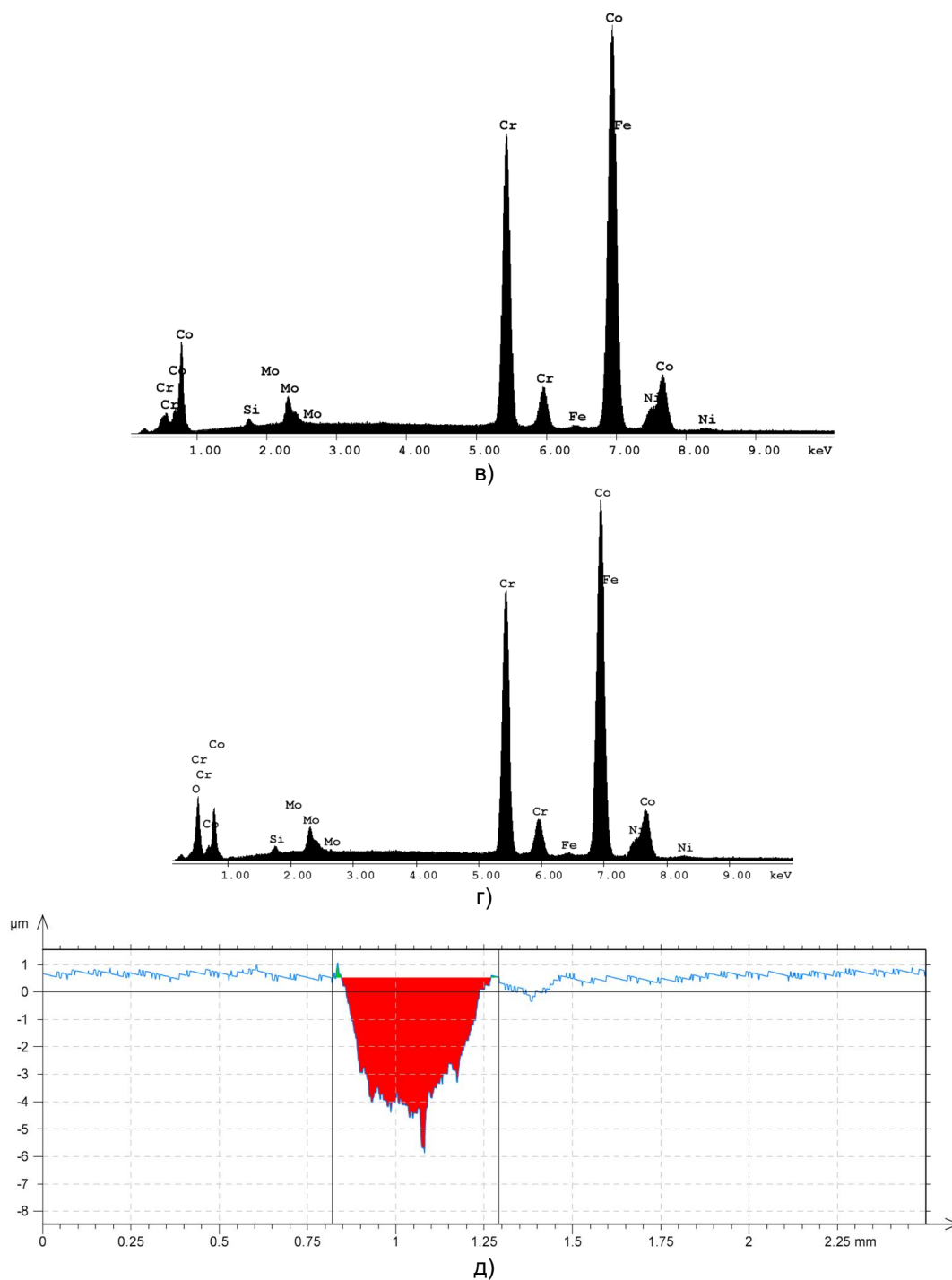


Рис. 6. Состояние пары трения: а – оптическое изображение пятна износа контртела (шарика) после многократных проходов по исследуемой поверхности образца (OLYMPUSGX51); б – зона механического контактаконтртело – образец с точками проведения рентгеноспектрального микроанализа (Quanta 600 FEG); в – элементный состав в точке 1; г – элементный состав в точке 2; д – профиль бороздки износа поверхности образца (автоматизированный прецизионный контактный профилометр SURTRONIC 25 (начало см. на с. 72)

Fig.6. As the friction pair: а) optical image of the spot of wear of the counterbody (ball) after multiple passes over the surface of the sample (OLYMPUS GX51); б) the area of mechanical contact contrale sample points of carrying out x-ray microanalysis (Quanta 600 FEG); в) elemental composition of point 1; г) elemental composition of point 2; д) the profile of the groove of the wear surface of the sample (automated precision contact profilometer SURTRONIC 25) (beginning see p. 72)

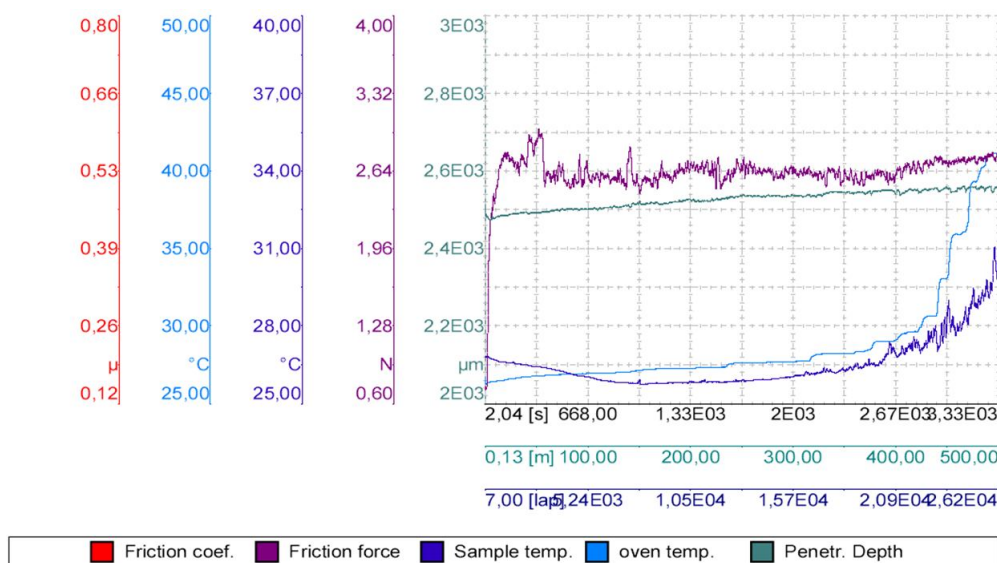


Рис. 7. Результаты трибологических испытаний

Fig.7. Results of tribological tests

Трибологические характеристики

Tribological characteristics

Коэффициент трения (μ)				Фактор износа статистического партнера, $\text{мм}^3 \cdot \text{H}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-6}$	Фактор износа образца, $\text{мм}^3 \cdot \text{H}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \times 10^{-6}$
начальный	минимальный	максимальный	средний		
0,150	0,144	0,602	0,526	0,092	9,913

Проведенный анализ характеристик износостойкости аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных кобальтохромовых порошков, показал, что в течение испытаний образцов аддитивных изделий в паре с контртелом образец изнашивается значительно интенсивнее контртела.

Выводы

Таким образом, на основании результатов проведенных исследований, а также выполненного анализа характеристик износостойкости аддитивных изделий, полученных из электроэрози-

онных кобальтохромовых порошков, установлено следующее:

- коэффициент трения колеблется в пределах от 0,144 до 0,602;
- среднее значение коэффициента трения составляет 0,526;
- фактор износа образца на два порядка выше фактора износа контртела.

Проведенные исследования позволяют расширить сведения о свойствах аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных кобальтохромовых порошков, и снизить себестоимость производства конечного продукта.

Список литературы

1. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides // Conference paper of 22nd International symposium “Solid freeform fabrication proceedings”. University of Texas, Austin, 2011. P. 547-556.
2. Biamino S., Penna A., Ackelid U. et al. Electron beam melting of Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy: microstructure and mechanical properties investigation // *Intermetallics*. 2011. Vol. 19. P. 776-781.
3. Gu D.D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms // *International Materials Reviews*. 2012. Vol. 57 (3). P. 133-164.
4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V // *Materials & Design*. 2012. Vol. 35. P. 120-125.
5. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts // *Surface and Coatings Technology*. 2012. Vol. 206. P. 4704-4709.
6. Wang Z., Guana K., Gao M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting // *Journal of Alloys and Compounds*. 2012. Vol. 513. P. 518-523.
7. Safdar A., Wei L.Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti-6Al-4V // *Materials Characterization*. 2012. Vol. 65. P. 8-15.
8. Safdar A., He H.Z., Wei L.Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V // *Rapid Prototyping Journal*. 2012. Vol. 18 (5). P. 401-408.
9. Karlsson J., Snis A., Engqvist H., Lausmaa J. Characterization and comparison of materials produced by Electron Beam Melting (EBM) of two different Ti-6Al-4V powder fractions // *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. Vol. 213 (12). P. 2109-2118.
10. Ковалев О.Б. Моделирование процессов в технологиях лазерного аддитивного изготовления объемных металлоизделий // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2016. Т. 80. N 4. С. 408.
11. Смирнов В.В., Шайхутдинова Е.Ф. Внедрение аддитивных технологий изготовления деталей в серийное производство // *Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева*. 2013. N 2-2. С. 90-94.
12. Григорьянц А.Г., Третьяков Р.С., Фунтиков В.А. Повышение качества поверхностных слоев деталей, полученных лазерной аддитивной технологией // *Технология машиностроения*. 2015. N 10. С. 68-73.

13. Вулпе М.Н., Колесников Д.Н., Морушкин А.Е. Лазерная сварка заготовок, полученных аддитивными технологиями // Технология машиностроения и материаловедение. 2017. №. 1. С. 142-144.
14. Нигметзянов Р.И., Сундуков С.К., Фатюхин Д.С. Влияние ультразвуковой обработки на шероховатость поверхности деталей, полученных аддитивными технологиями // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2016. №. (315). С. 47-53.
15. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. 2014. №. 78. С. 31.
16. Григорьянц А.Г., Новиченко Д.Ю., Смуров И.Ю. Лазерная аддитивная технология изготовления покрытий и деталей из композиционного материала // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. №. 7. С. 38-46.
17. Моделирование процесса спекания изделий из низкотемпературной керамики, формируемых аддитивными технологиями / В.Н. Лейцин, С.В. Пономарев, М.А. Дмитриева, И.В. Ивонин, И.М. Тырышкин // Физическая мезомеханика. 2016. Т. 19. №. 4. С. 21-27.
18. Аддитивные технологии: от технического творчества к инновационным промышленным технологиям / М.А. Волосова, А.А. Окунькова, С.Г. Конов, Д.В. Котобан // Техническое творчество молодежи. 2014. №. 5 (87). С. 9-14.
19. Федоров М.М. Разработка замкнутой технологической цепочки изготовления деталей ГТД по аддитивным технологиям // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. 2017. №. 1 (40). С. 115-118.
20. Смирнов В.В., Ганеев А.А., Шайхутдинова Е.Ф. Применение аддитивных технологий для изготовления деталей из интерметаллидных сплавов на основе титана // Ползуновский альманах. 2013. №. 2. С. 78-80.
21. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 20-25.
22. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов - перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Е.В. Агеева, Р.В. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1-1 (40). С. 182-189.
23. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Чаплыгин, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 30-35.

24. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2014. № 5. С. 50-53.

25. Ageev E.V., Latypov R.A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2014. Т. 55. No. 6. С. 577-580.

26. Оптимизация гранулометрического состава электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, А.А. Сысоев, А.С. Осьминина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 1 (26). С. 14-23.

27. Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Валгузов Д.И. Исследование пористости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. № 4 (29). С. 6-14.

28. Анализ характеристик износостойкости наноконпозиционных покрытий, полученных с использованием электроэрозионных материалов / Е.В. Агеев, С.В. Хардинов, С.В. Пикалов, М.А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6 (69). С. 40-49.

References

1. Loeber L., Biamino S., U. Ackelid et al. Comparison of Selective Laser and Electron Beam Melted Titanium Aluminides. Conference paper of 22nd International symposium "Solid freeform fabrication procedures", University of Texas, Austin, 2011, pp. 547-556.

2. Biamino S., Penna A., U. Ackelid et al. Electron beam melting of Ti-48Al-2Cr-2Nb alloy: microstructure and mechanical properties investigation. *Intermetallics*, 2011, vol. 19, pp. 776-781.

3. Gu D. D., Meiners W., Wissenbach K., Poprawe R. Laser additive manufacturing of metallic components: materials, processes and mechanisms. *International Materials Reviews*, 2012, vol. 57 (3), pp. 133-164.

4. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Effects of processing parameters on microstructure and mechanical property of selective laser melted Ti6Al4V. *Materials & Design*, 2012, vol. 35, pp. 120-125.

5. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and microstructure characterization of selective laser melted FeAl intermetallic parts. *Surface and Coatings Technology*, 2012, vol. 206, pp. 4704-4709.

6. Wang Z., Guana K., Gaoa M. The microstructure and mechanical properties of deposited-IN718 by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*, 2012, vol. 513, pp. 518-523.
7. Safdar A., Wei L. Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti-6Al-4V. *Materials Characterization*, 2012, vol. 65, pp. 8-15.
8. Safdar A., He H. Z., Wei L. Y., Snis A. et al. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti-6Al-4V. *Rapid Prototyping Journal*, 2012, vol. 18 (5), pp. 401-408.
9. Karlsson J., Snis A., Engqvist H., Lausmaa J. Characterization and comparison of materials produced by Electron Beam Melting (EBM) of two different Ti-6Al-4V powder fractions. *Journal of Materials Processing Technology*, 2013, vol. 213 (12), pp. 2109-2118.
10. Kovalev O. B. Modelirovanie protsessov v tekhnologiyakh lazernogo additivnogo izgotovleniya ob"emnykh metalloizdelii [Modelling of processes in technology of laser additive manufacturing three-dimensional metal products]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Series physical*, 2016, T. 80, no. 4, pp. 408 (In Russ.).
11. Smirnov V. V., Shaikhutdinova E. F. Vnedrenie additivnykh tekhnologii izgotovleniya detalei v seriinoe proizvodstvo [Introduction of additive manufacturing technologies in serial production]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva = Bulletin of Kazan State Technical University. A. N. Tupolev*, 2013, no. 2-2, pp. 90-94 (In Russ.).
12. Grigoryants A. G., Tretyakov R. S., Funtikov V. A. Povyshenie kachestva poverkhnostnykh sloev detalei, poluchennykh lazernoi additivnoi tekhnologiei [Improving the quality of surface layers of parts obtained by laser additive technology]. *Tekhnologiya mashinostroeniya Publ. = Engineering technology*, 2015, no. 10, pp. 68-73 (In Russ.).
13. Vulpe M. N., Kolesnikov D. N., Morushkin A. E. Lazernaya svarka zagotovok, poluchennykh additivnymi tekhnologiyami [Laser welding of billets obtained by additive technologies]. *Tekhnologiya mashinostroeniya i materialovedenie = Technology of mechanical engineering and materials science*, 2017, no. 1, pp. 142-144 (In Russ.).
14. Nigmatzyanov R. I., Sundukov S. K., Fatyukhin D. S. Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki na sherokhovatost' poverkhnosti detalei, poluchennykh additivnymi tekhnologiyami [Influence of ultrasonic treatment on surface roughness of parts obtained by additive technologies]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii = Fundamental and applied problems of engineering and technology*, 2016, no. (315), pp. 47-53 (In Russ.).
15. Chumakov D. M. Perspektivy ispol'zovaniya additivnykh tekhnologii pri sozdanii aviatsionnoi i raketno-kosmicheskoi tekhniki [Prospects for the use of additive technologies

in the creation of aviation and rocket and space technology]. *Trudy MAI = Works of MAI*, 2014, no. 78, pp. 31 (In Russ.).

16. Grigoryants A. G., Novichenko D. Yu., Smurov I. Yu. Lazernaya additivnaya tekhnologiya izgotovleniya pokrytii i detalei iz kompozitsionnogo materiala [Laser additive manufacturing technology of coatings and parts from composite material]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of higher educational institutions. Engineering*, 2011, no. 7, pp. 38-46 (In Russ.).

17. Leitsin V. N., Ponomarev S. V., Dmitrieva M. A., Ivonin I. V., Tyryshkin I. M. Modelirovanie protsessa spekaniya izdelii iz nizkoterperaturnoi keramiki, formiruemykh additivnymi tekhnologiyami [Modeling of sintering process of products from low-temperature ceramics formed by additive technologies]. *Fizicheskaya mezomekhanika = Physical mesomechanics*, 2016, vol. 19, no. 4, pp. 21-27 (In Russ.).

18. Volosova M. A., Okunkova A. A., Konov S. G., Kotoban D. V. Additivnye tekhnologii: ot tekhnicheskogo tvorchestva k innovatsionnym promyshlennym tekhnologiyam [Additive technologies: from technical creativity to innovative industrial technologies]. *Tekhnicheskoe tvorchestvo molodezhi = Technical creativity of youth*, 2014, no. 5 (87), pp. 9-14 (In Russ.).

19. Fedorov M. M. Razrabotka zamknutoi tekhnologicheskoi tsepochnki izgotovleniya detalei GTD po additivnym tekhnologiyam [Development of the closed technological chain of production of details of GTE on additive technologies]. *Vestnik Rybinskoi gosudarstvennoi aviatsionnoi tekhnologicheskoi akademii im. P.A. Solov'eva = Bulletin of the Rybinsk State Aviation Technological Academy P. A. Solovyov*, 2017, no. 1 (40), pp. 115-118 (In Russ.).

20. Smirnov V. V., Ganeev A. A., Shaikhutdinova E. F. Primenenie additivnykh tekhnologii dlya izgotovleniya detalei iz intermetallidnykh splavov na osnove titana [Application of additive technologies for manufacturing of parts made of intermetallic alloys based on titanium]. *Polzunovskii al'manakh = Polzunovskii almanac*, 2013, no. 2, pp. 78-80 (In Russ.).

21. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Gulidin S. S., Ageev E. V., Gorokhov A. A. Fazovyi sostav chastits poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte [Phase composition of powder particles obtained by electroerosive dispersion of VK8 alloy in butyl alcohol]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25 (In Russ.).

22. Ageev E. V., Gadlov V. N., Ageeva E. V., Bobryshev R. V. Poroshki, poluchennye elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdykh splavov - perspektivnyi material dlya vosstanovleniya detalei avtotraktornoi tekhniki [Powders obtained by electroerosive dispersion of solid alloy waste - a promising material for the restoration of parts of automo-

tive equipment]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189 (In Russ.).

23. Ageeva E. V., Ageev E. V., Chaplygin V. Yu., Gorokhov A. A. Razmernye kharakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode [Dimensional characteristics of bronze electroerosive powder obtained in water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35 (In Russ.).

24. Ageev E. V., Latypov R. A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashchikh ot-khodov [Preparation and investigation of solid billets of alloy powders produced by electro-erosion dispersion of tungsten-containing wastes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya = Proceedings of higher educational institutions. Nonferrous metal-lurgy*, 2014, no. 5, pp. 50-53 (In Russ.).

25. Ageev E. V., Latypov R. A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes [Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes]. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2014, vol. 55, no. 6, pp. 577-580.

26. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Sysoev A. A., Osminina A. S. Optimizatsiya granu-lometricheskogo sostava elektroerozionnykh kobal'tokhromovykh poroshkov [Optimization of granulometric composition of electroerosive cobalt-chromium powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2018, no. 1 (26), pp. 14-23 (In Russ.).

27. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Valguzov D. I. Issledovanie poristosti additivnykh izdelii iz elektroerozionnykh kobal'tokhromovykh poroshkov [Research of porosity of addi-tive products from electroerosive cobalt-chromium powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the South-west State University. Series: Engineering and Technologies*, 2018, no. 4 (29), pp. 6-14 (In Russ.).

28. Ageev E. V., Hardikov S. V., Pikalov S. V., Zubarev M. A. Analiz kharakteristik iznosostoikosti nanokompozitsionnykh pokrytii, poluchennykh s ispol'zovaniem elektro-erozionnykh materialov [Analysis of characteristics of wear resistance of nanocomposite coatings obtained with the use of electroerosive materials]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 6 (69), pp. 40-49 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет», г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Ekaterina V. Ageeva, Cand. of Sci. (Engineering),
Associate Professor, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail :ageev-ev@yandex.ru

Локтионова Оксана Геннадиевна,
доктор технических наук, профессор,
проректор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: log@swsu.ru

Oksana G. Loktionova, Dr. of Sci. (Engineering),
Professor, Vice-rector, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail: log@swsu.ru

Алтухов Александр Юрьевич, кандидат
технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: alt997@yandex.ru

Aleksandr Y. Altuhov, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor, Southwest
State University, Kursk, Russian Federation
e-mail: alt997@yandex.ru

Сабельников Борис Николаевич, аспирант
кафедры автомобилей и автомобильного
хозяйства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: sabelnikovboris1@mail.ru

Boris N. Sabel'nikov, Post-Graduate Student,
Department of Automobiles and Automotive
Economy, Southwest State University,
Kursk, Russian Federation
e-mail:sabelnikovboris1@mail.ru