

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-57-71>

Исследование влияния гранулометрического состава электроэрозионных кобальтохромовых порошков на физико-механические свойства аддитивных изделий

Е. В. Агеев ¹ ✉, А. Ю. Алтухов ¹, А. Н. Новиков ²

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

² ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ул. Комсомольская, д. 95, Россия, г. Орел, 302026, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Резюме

Целью работы являлось исследование влияния гранулометрического состава электроэрозионных кобальтохромовых порошков на физико-механические свойства аддитивных изделий.

Методы. Для выполнения намеченных исследований были выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости – спирт бутиловый. Для получения кобальтохромовых порошковых материалов электроэрозионным диспергированием пользовались установкой для ЭЭД токопроводящих материалов. Диспергируемый материал засыпали в эксикатор, заполненный бутиловым спиртом, который используется в качестве рабочей жидкости для диспергирования. Бутиловый спирт C_4H_9OH – представитель одноатомных спиртов. Это бесцветная немного вязкая жидкость, не имеющая цвета и со свойственным сивушному маслу запахом. Смешивается с органическими растворителями. Бутанол используют в качестве растворителя в лакокрасочной промышленности, при изготовлении смол и пластификаторов, а также во многих других отраслях. Для получения экспериментальных образцов аддитивных изделий использовалась установка для послойного нанесения порошковых материалов плазмой. Гранулометрический состав полученных порошков авторы исследовали по методике диспергирования в жидкости с ультразвуком. Методика исследования (ФР 1.27.2009.06762 «Методика выполнения измерений размера частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях в нанометровом и коллоидном диапазонах с использованием эффекта динамического рассеяния света»).

Результаты. Экспериментально установлено, что условия получения и дисперсность порошков определяют их поведение при спекании. С увеличением дисперсности порошка процесс спекания ускоряется и протекает более активно, а механические свойства полученных изделий при этом повышаются. Интенсификации спекания порошка способствуют оксиды, содержащиеся в большом количестве в мелких порошках и восстанавливающиеся при их нагреве при спекании. Губчатая металлическая поверхность, образующаяся после исчезновения оксида, оказывается более активной, чем поверхность изначально свободная от оксидной пленки. С увеличением дисперсности и удельной поверхности порошка его проплавление увеличивается, пористость уменьшается, а микротвердость при этом увеличивается. Наличие частиц порошка разных фракций увеличивает плотность его усадки за счет заполнения впадин и микропор на стыках крупных частиц, что в дальнейшем приводит к снижению шероховатости спеченных изделий и повышению предела прочности при сжатии и изгибе.

© Агеев Е. В., Алтухов А. Ю., Новиков А. Н., 2019

Заключение. Проведенные исследования позволят выявить связь между технологией получения электроэрозионных кобальтохромовых порошков и физико-механическими свойствами (пористость, микротвердость, предел прочности на сжатие и изгиб, шероховатость поверхностного слоя и др.) экспериментальных образцов, а также управлять процессом формирования структуры и свойств изделий, полученных по аддитивным технологиям.

Ключевые слова: кобальтохромовый сплав; отходы; электроэрозионное диспергирование; порошок; аддитивные изделия; физико-механические свойства.

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

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

Для цитирования: Агеев Е. В., Алтухов А. Ю., Новиков А. Н. Исследование влияния гранулометрического состава электроэрозионных кобальтохромовых порошков на физико-механические свойства аддитивных изделий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(4): 57-71. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-57-71>.

Статья поступила в редакцию 30.05.2019

Статья подписана в печать 01.07.2019

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-57-71>

Study of the Influence of the Granulometric Composition of Electrospark Cobalt-Chromium Powders on the Physical and Mechanical Properties of Additive Products

Evgniy V. Ageev ¹ ✉, Aleksandr Y. Altuhov ¹, Aleksandr N. Novikov ²

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

² Orel State University after Ivan Turgenev, 95, Komsomolskaya st., Orel, 302026, Russian Federation

✉ e-mail: ageev_ev@mail.ru

Abstract

Purpose of research. The purpose of this work is to study the influence of the granulometric composition of electrospark cobalt-chromium powders on the physico-mechanical properties of additive products.

Methods. Wastes of cobalt-chromium alloy "CELLIT" was chosen for this research. Butyl alcohol was chosen as a working fluid. To obtain cobalt-chromium powder materials by electrospark dispersion, a unit for ESD of conductive materials was used. The dispersed material was charged into a desiccator filled with butyl alcohol used as a working fluid for dispersion. Butyl alcohol C_4H_9OH belongs to monatomic alcohols. It is a colorless slightly viscous liquid with a peculiar smell of fusel oil, miscible with organic solvents. Butanol is used as a solvent in the paints and coatings industry, in the manufacture of resins and plasticizers, and in many other industries. To obtain experimental samples of additive products, the unit for lamination of powder materials by plasma was used. The authors studied the granulometric composition of the obtained powders by the method of ultrasonic dispersion in a liquid. The research methodology is FR 1.27.2009.06762 "Technique of particle size measurements in suspensions, emulsions and aerosols in nanometer and colloidal ranges with the use of dynamic light scattering effect".

Results. Experiments proved that the conditions of production and dispersion of powders determine their behavior during sintering. With the increase of the dispersion of the powder, sintering process accelerates and proceeds more

actively, and the mechanical properties of the resulting products improve. Intensification of powder sintering is facilitated by oxides contained in large quantities in fine powders and reduced when heated during their sintering. The sponge metal surface, formed after the disappearance of the oxide, is more active than the surface, which is initially free from the oxide film. With the increase of dispersion and specific surface area of the powder, its penetration increases, the porosity decreases, and the microhardness increases. The presence of powder particles of different fractions increases the density of its shrinkage by filling cavities and micropores at the joints of large particles, which further leads to the decrease of the roughness of sintered products and the increase of the ultimate compressive and bending strength.

Conclusion. The conducted research reveals the relationship between the technology of electrospark cobalt-chromium powders production and physico-mechanical properties (porosity, microhardness, ultimate compressive strength, ultimate bending strength, roughness of the surface layer, etc.) of the experimental samples, and also allows controlling the process of the formation of structure and properties of products obtained by additive technologies.

Keywords: cobalt-chromium alloy; wastes, electrospark dispersing; powder; additive products; physical and mechanical properties.

Acknowledgements: The work was supported by the Russian science Foundation. Project number 17-79-20336.

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

For citation: Ageev E. V., Altuhov A. Y., Novikov A. N. Study of the Influence of the Granulometric Composition of Electrospark Cobalt-Chromium Powders on the Physical and Mechanical Properties of Additive Products. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(4): 57-71 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2019-23-4-57-71](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-4-57-71).

Received 30.05.2019

Accepted 01.07.2019

Введение

Трёхмерная или объёмная печать получила распространение в прошлом веке. Первую коммерческую стереолитографическую машину – SLA – Stereolithography Apparatus разработала компания 3D Systems. Проектирование (CAD), моделирование и расчёты (CAE) и механообработка (CAM) стимулировали бурные темпы развития технологий трёхмерной печати [1-14].

Для машин, используемых для трёхмерной печати, наиболее важной характеристикой материала является его форма, которая влияет на текучесть и укладку [9-15].

В настоящее время особый интерес вызывает технология получения частиц сферической формы с заданным распределением по фракциям. Это технология электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [16-20].

Применению данной технологии в машинах для трёхмерной печати препятствует отсутствие технологических характеристик применяемого порошкового материала, таких, как гранулометрический состав. Поэтому требуется проведение экспериментальных исследований, направленных на изучение влияния фракционного состава порошков на свойства аддитивных изделий [21-23].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния фракционного состава электроэрозионных кобальто-хромовых порошков на физико-механические свойства аддитивных изделий.

Материалы и методы

Для диспергирования выбран сплав марки КХМС «ЦЕЛЛИТ», рабочая жидкость – спирт бутиловый. Для диспергирования металлоотходов использовали установку для ЭЭД электропроводных материалов. Диспергируемый материал засыпали в эксикатор [24, 25], заполненный бутиловым спиртом, который используется в качестве рабочей жидкости для диспергирования [24, 25], для получения пластификаторов, а также во многих других отраслях.

Для получения экспериментальных образцов аддитивных изделий использовалась установка для послойного нанесения порошковых материалов плазмой. Процесс нанесения представлен на рис. 1.

Гранулометрический состав полученных порошков исследовали по методике диспергирования в жидкости с ультразвуком. Методика исследования (ФР 1.27.2009.06762 «Методика выполнения измерений размера частиц в суспензиях, эмульсиях и аэрозолях в нанометровом и коллоидном диапазонах с использованием эффекта динамического рассеяния света»). Пробоподготовка: диспергирование пробы в жидкости. Измерение фона – для того, чтобы сни-

зить влияние измерительной жидкости перед каждым измерением проводят фоновое измерение.



Рис. 1. Процесс послойного нанесения порошков

Fig. 1. Powder layer-by-layer application process

Любое загрязнение от предыдущих измерений измеряется и устраняется его влияние на текущий результат. Измерение распределения частиц по размеру: образец исследуемого объемом около 1-5 г помещали в модуль для диспергирования в жидкости (объемом 500 мл). Измерение начиналось автоматически, как только значение абсорбции достигало указанной величины. Параметры измерения: Тип измерения – по методу Фраунгофера; диапазон измерения – 0,1 [мкм] – 1021,87 [мкм]; разрешение – 102 канала (20/383 мм); продолжительность измерения – 100 (сканов); регуляризация – средняя модель [21].

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования гранулометрического состава кобальтохромовых порошков представлены на рис. 2.

Ранее проведенные исследования кобальтохромовых порошковых материалов (растровая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, рентгеноструктурный анализ) показали отсутствие существенных различий в свойствах полученных материалов, кроме гранулометрического состава.

Поэтому экспериментальные образцы аддитивных изделий в количестве 4 штук были получены из электроэрозионных порошков на основе сплавов Co-Cr различного гранулометрического состава.

Образец №1 был получен из частиц порошка со средним размером 24,97 мкм, арифметическое значение – 24,97 мкм.

Образец №2 был получен из частиц порошка со средним размером 26,58 мкм, арифметическое значение – 26,576 мкм.

Образец №3 был получен из частиц порошка со средним размером 27,93 мкм, арифметическое значение – 27,927 мкм.

Образец №4 был получен из частиц порошка со средним размером 30,68 мкм, арифметическое значение – 30,682 мкм.

Результаты исследования гранулометрического состава электроэрозионных кобальтохромовых порошков на физико-механические свойства аддитивных изделий представлены на рисунке 3.

Экспериментально установлено, что условия получения и дисперсность порошков определяют их поведение при спекании.

С увеличением дисперсности порошка процесс спекания ускоряется и протекает более активно, а механические свойства полученных изделий при этом повышаются.

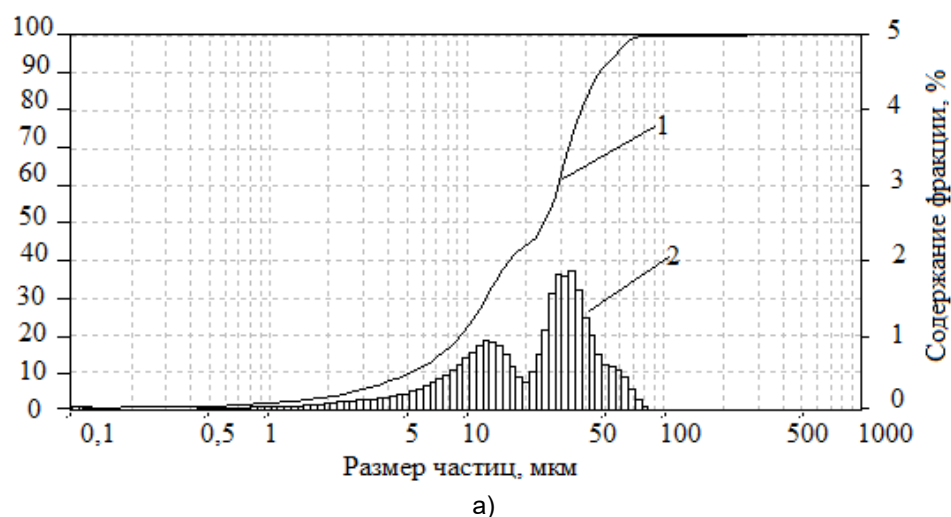
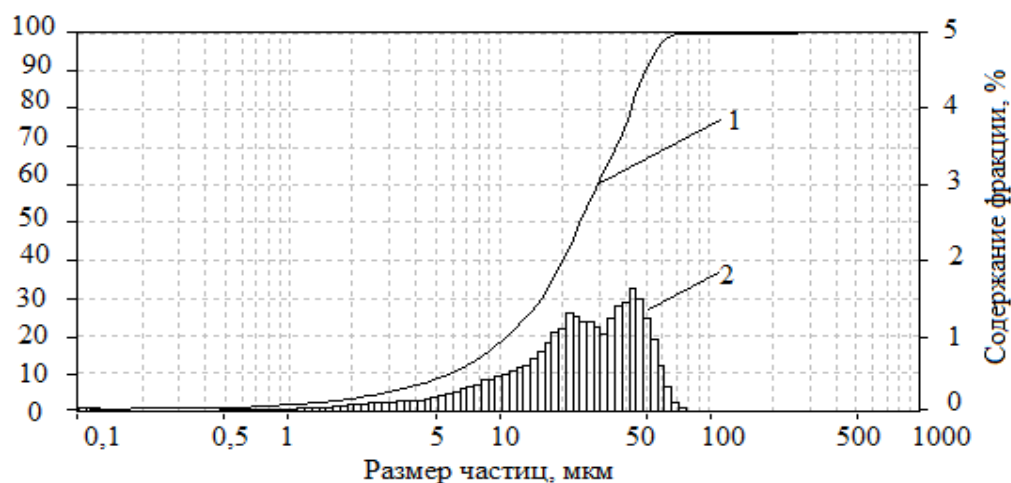
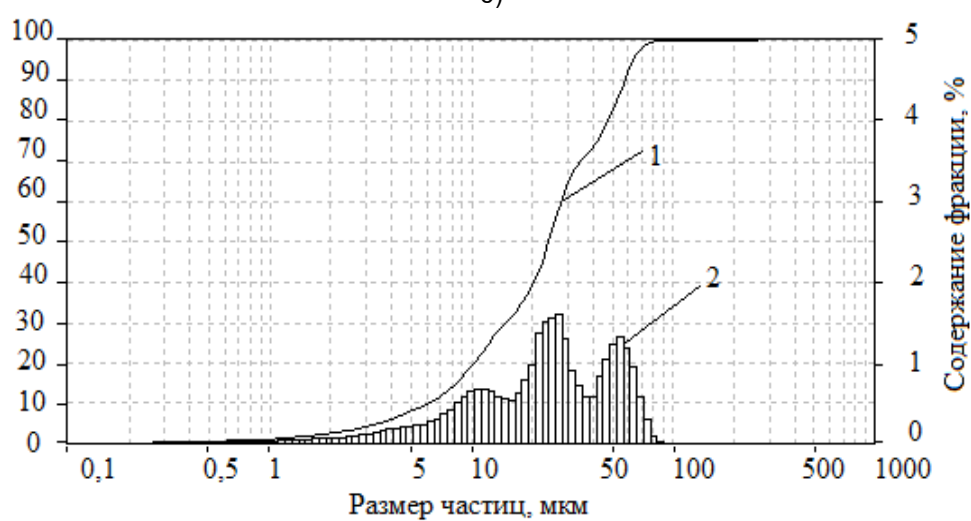


Рис. 2. Распределение по размерам микрочастиц образцов: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4 (1 – интегральная кривая, 2 – гистограмма) (окончание см. с. 62)

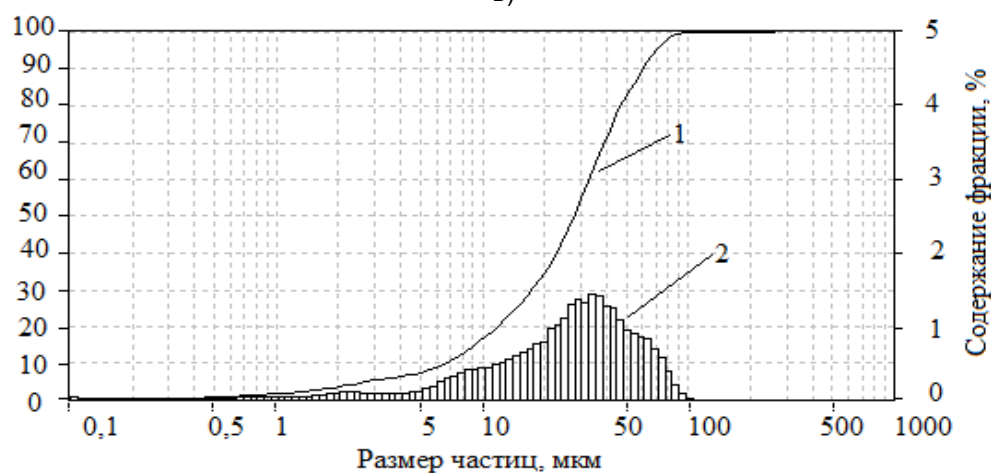
Fig. 2. Size distribution of samples microparticles: a – 1; b – 2; c – 3; d – 4 (1 – cumulative curve, 2 – bar graph) (ends see p.62)



б)



в)



г)

Рис. 2. Распределение по размерам микрочастиц образцов: а – 1; б – 2; в – 3; г – 4
(1 – интегральная кривая, 2 – гистограмма) (начало см. с. 61)

Fig. 2. Size distribution of samples microparticles: a – 1; b – 2; c – 3; d – 4 (1 – cumulative curve, 2 – bar graph)
(beginning see p.61)

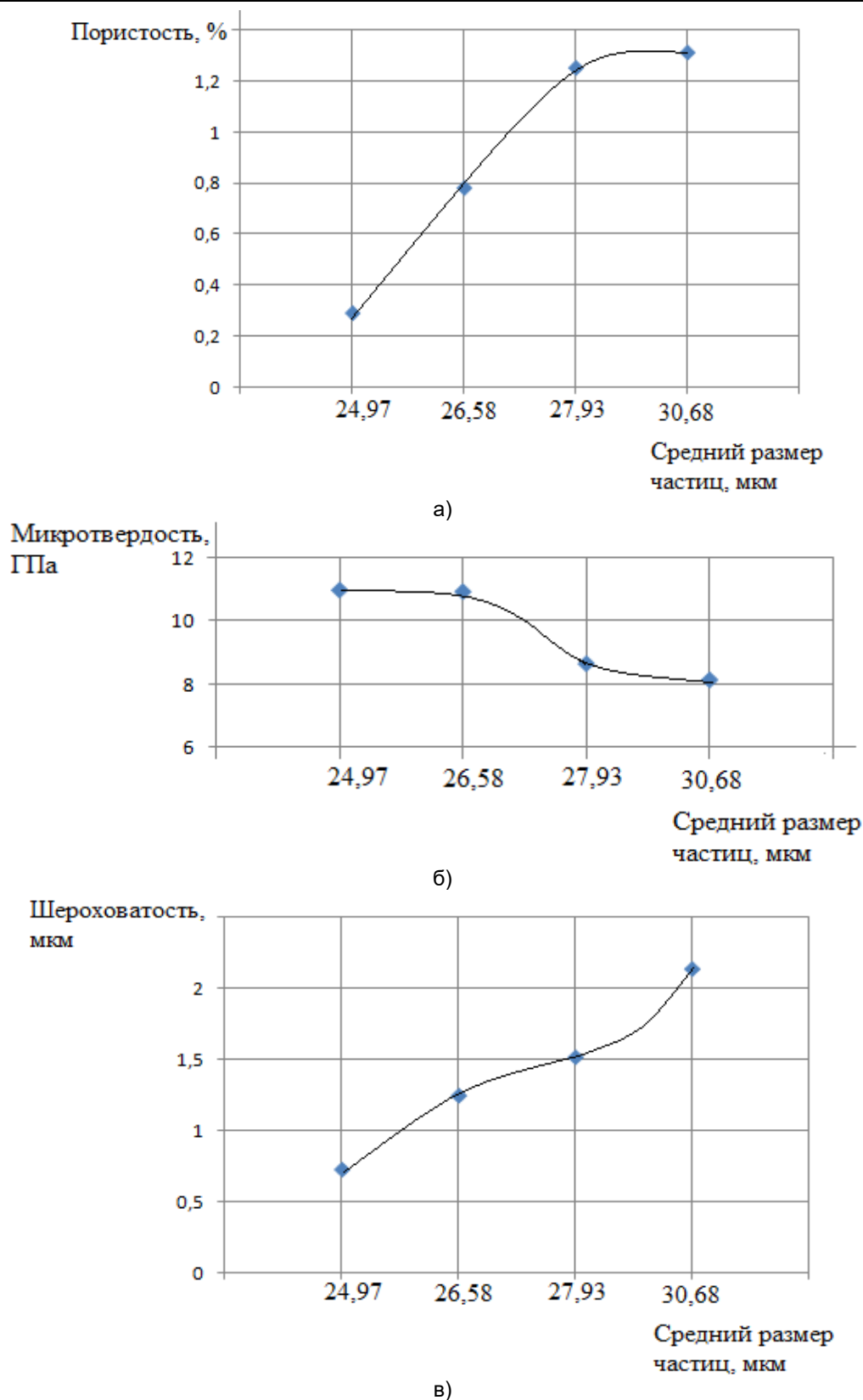
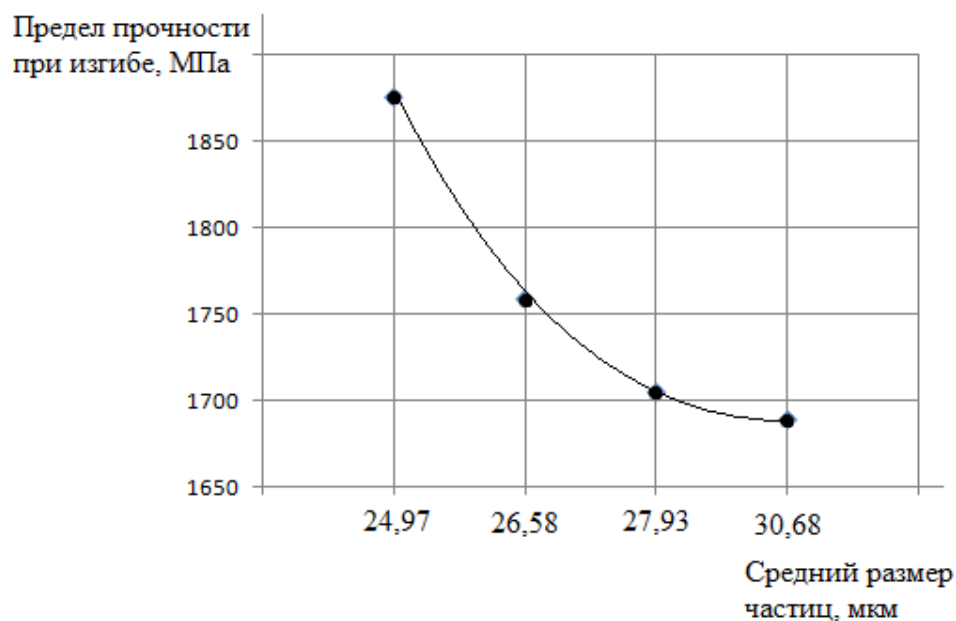
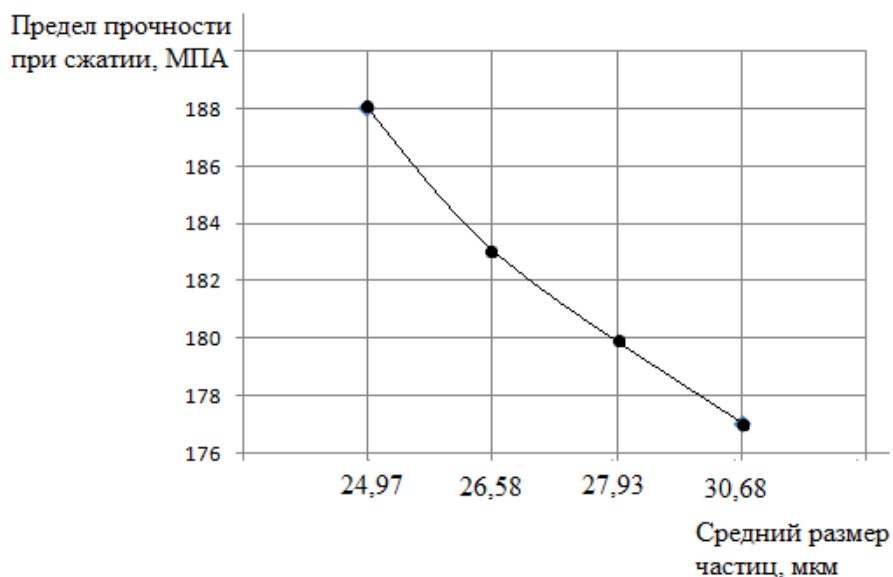


Рис. 3. Зависимости исследуемых параметров от среднего размера частиц: а – пористости; б – микротвердости; в – шероховатости; г – предела прочности при изгибе; д – предела прочности при сжатии (окончание см. с. 64)

Fig. 3. Dependences of the studied parameters on the average particle size: a – porosity; b – microhardness; c – roughness; d – bending strength; d – compressive strength (ends see p.64)



г)



д)

Рис. 3. Зависимости исследуемых параметров от среднего размера частиц: а – пористости; б – микротвердости; в – шероховатости; г – предела прочности при изгибе; д – предела прочности при сжатии (начало см. с. 65)

Fig. 3. Dependences of the studied parameters on the average particle size: a – porosity; b – microhardness; c – roughness; d – bending strength; d – compressive strength (beginning see p.65)

Интенсификации спекания порошка способствуют оксиды, содержащиеся в большом количестве в мелких порошках и восстанавливающиеся при их нагреве при спекании. Губчатая метал-

лическая поверхность, образующаяся после исчезновения оксида, оказывается более активной, чем поверхность, изначально свободная от оксидной пленки.

Как показали проведенные исследования, структурно-фазовое состояние образцов не претерпевает изменений и во всех четырех образцах остается постоянным наличие следующих фаз: Co, Cr, Ni и Cr₃Ni₂.

С увеличением дисперсности и удельной поверхности порошка его проплавление увеличивается, и пористость уменьшается, а микротвердость при этом увеличивается. Наличие частиц порошка разных фракций увеличивает плотность его усадки за счет заполнения впадин и микропор на стыках крупных частиц, что в дальнейшем приводит к снижению шероховатости

спеченных изделий и повышению предела прочности при сжатии и изгибе.

Выводы

Проведенные исследования позволяют выявить связь между технологией получения электроэрозионных кобальтохромовых порошков и физико-механическими свойствами (пористость, микротвердость, предел прочности на сжатие и изгиб, шероховатость поверхностного слоя и др.) экспериментальных образцов, а также управлять процессом формирования структуры и свойств изделий, полученных по аддитивным технологиям.

Список литературы

1. 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.
2. Effect of process parameters settings and thickness on surface roughness of EBM produced Ti–6Al–4V / A. Safdar, H.Z. He, L.Y. Wei et al. // *Journal of Rapid Prototyping*, 2012. Vol. 18 (5). P. 401–408.
3. Characterization and comparison of materials produced by Electron Beam Melting (EBM) of two different Ti–6Al–4V powder fractions / J. Karlsson, A. Snis, H. Engqvist, J. Lausmaa // *Journal of Materials Processing Technology*. 2013. Vol. 213 (12). P. 2109–2118.
4. 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.
5. 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.
6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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. P. 518–523.

10. Ковалев О.Б. Моделирование процессов в технологиях лазерного аддитивного изготовления объемных металлоизделий // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2016. Т. 80. №. 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. № 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. № 10. С. 68-73.

13. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // *Труды МАИ*. 2014. № 78. С. 31.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Свойства электроэрозионных порошков, используемых в производстве твердосплавных заготовок / О.В. Кругляков, А.С. Угримов, А.С. Осьминина, Е.В. Агеев // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 1 (1). С. 119-121.

22. Хардииков С.В., Агеев Е.В., Зубарев М.А. О возможности переработки отходов шарикоподшипниковой стали методом электроэрозионного диспергирования // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 1 (1). С. 211-214.

23. Новиков Е.П., Агеев Е.В., Сытченко А.Д. К вопросу о переработке алюминиевых отходов электроэрозионным диспергированием // Современные материалы, техника и технологии. 2015. № 1 (1). С. 169-172.

24. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Карпенко В.Ю. Размерный анализ частиц порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов электроэрозионным диспергированием в воде // Вестник машиностроения. 2015. № 3. С. 45-46.

25. Размерный анализ частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 2 (19). С. 45-51.

References

1. Safdar A., Wei L. Y., Snis A., Lai Z. Evaluation of microstructural development in electron beam melted Ti–6Al–4V. *Characterization Of Materials*, 2012, vol. 65, pp. 8-15.

2. Safdar A., He H. Z., Wei L. Y., et al. Influence of technological parameters and thickness settings on surface roughness of EBM produced by Ti–6Al–4V. *Journal of Rapid Prototyping*, 2012, vol. 18 (5), pp. 401-408.
3. Karlsson J., Snis A., Engqvist H., Lausmaa J. Characterization and comparison of materials obtained 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.
4. Loeber L., Biamino S., Ackelid U. et al. Comparison of selective laser and electron beam melts of titanium Aluminides. Conference paper of the 22nd International Symposium "Solid freeform fabrication proceedings", University of Texas, Austin, 2011, pp. 547-556.
5. Biamino S., Penna A., Ackelid U. et al. Electron beam melting of Ti–48Al–2Cr–2Nb alloy: investigation of microstructure and mechanical properties. *Intermetallics*, 2011, vol. 19, pp. 776-781.
6. GU D. D., Miners W., Wissenbach K. R. Poprawe laser additive manufacturing of metal parts: materials, processes and mechanisms. *International Material Reviews*, 2012, vol. 57 (3), pp. 133-164.
7. Song B., Dong S., Zhang B. et al. Influence of technological parameters on the microstructure and mechanical properties of selective laser melt Ti6Al4V. *Materials&Design*, 2012, vol. 35, pp. 120-125.
8. Song B., Dong S., Coddet P. et al. Fabrication and characterization of the microstructure of selective laser-melted FeAl intermetallic parts. *Technology of surfaces and coatings*, 2012, vol. 206, pp. 4704-4709.
9. Z. Wang, Guana K., Gaoa M. Microstructure and mechanical properties of the deposited-IN718 by selective laser melting. *Journal of alloys and compounds*, 2012, vol. 513, pp. 518-523.
10. Kovalevo B. Modelirovanie protsessov v tekhnologiyakh lazernogo additivnogo izgotovleniya ob"emnykh metalloizdelii [Modeling of processes in technologies of additive laser manufacturing of bulk metal products]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya fizicheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series physical*, 2016, vol. 80, no. 4, p. 408 (In Russ.).
11. Smirnov In.V., Shaikhutdinova E. F. Vnedrenie additivnykh tekhnologii izgotovleniya detalei v seriinoe proizvodstvo [Introduction of additive manufacturing technologies of parts in mass 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. Grigor'yanc A.G., Tret'yakov R.S., Funtikov V.A. Povyshenie kachestva poverhnostnykh sloev detalej, poluchennykh lazernoj additivnoy tekhnologiej [Improving the quality of surface layers of parts obtained by laser additive technology]. *Tekhnologiya mashinostroeniya = Technology of mechanical engineering*, 2015, no.10, pp. 68-73 (In Russ.).

13. CHumakov D.M. Perspektivy ispol'zovaniya additivnykh tekhnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoy tekhniki [Prospects for the use of additive technologies in the creation of aviation and rocket and space technology]. *Trudy MAI = Trudy MAI*, 2014, no. 78, pp. 31 (In Russ.).

14. Grigor'yanc A.G., Novichenko D.YU., Smurov I.YU. Lazernaya additivnaya tekhnologiya izgotovleniya pokrytij i detalej iz kompozicionnogo materiala [Laser additive manufacturing technology of coatings and parts from composite material]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Mashinostroyeniye = Proceedings of higher educational institutions. Engineering*, 2011, no. 7, pp. 38-46 (In Russ.).

15. Lejcin V.N., Ponomarev S.V., Dmitrieva M.A., Ivonin I.V., Tyryshkin I.M. Modelirovanie processa spekaniya izdelij iz nizkotemperaturnoj 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.).

16. Ageeva E.V., Altuhov A.YU., Gulidin S.S., Ageev E.V., Gorohov A.A. Fazovyy sostav chastic 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 Technology*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25 (In Russ.).

17. Ageev E.V., Gadalov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Poroshki, poluchennyye elektroerozionnym dispergirovaniem othodov tverdykh splavov - perspektivnyj material dlya vosstanovleniya detalej avtotraktornoj tekhniki [Powders obtained by electroerosive dispersion of solid alloy waste - a promising material for the restoration of parts of automotive equipment] *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189 (In Russ.).

18. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.YU., Gorohov A.A. Razmernyye harakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode [Dimensional characteristics of bronze electroerosive powder obtained in water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosu-*

darstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35 (In Russ.).

19. Ageev E.V., Latypov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashchikh othodov [Obtaining and investigation of hard alloy billets from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Cvetnaya metallurgiya = Proceedings of higher educational institutions. Nonferrous metallurgy*, 2014, no. 5, pp. 50-53 (In Russ.).

20. 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, vol. 55, no. 6, pp. 577-580.

21. Kruglyakov, O. V. Ugrimov, A. S., Osminina A. S., Ageev E. V. Svoistva elektroerozionnykh poroshkov, ispol'zuemykh v proizvodstve tverdosplavnykh zagotovok [Properties electroerosion powders used in the production of carbide blanks]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, equipment and technology*, 2015, no. 1 (1), pp. 119-121 (In Russ.).

22. Hardikov S. V., Ageev E. V., Zubarev M. A. O vozmozhnosti pererabotki otkhodov sharikopodshipnikovoi stali metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [On the possibility of recycling ball bearing steel waste by electroerosive dispersion]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. = Modern materials, engineering and technologies*, 2015, no. 1 (1), pp. 211-214 (In Russ.).

23. Novikov E. P., Ageev E. V., Sytchenko A. D. K voprosu o pererabotke aluminievyykh otkhodov elektroerozionnym dispergirovaniem [On the issue of aluminum waste processing by electroerosive dispersion]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, engineering and technologies*, 2015, no. 1 (1), pp. 169-172 (In Russ.).

24. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Razmernyi analiz chastits poroshka, poluchennogo iz vol'framsoderzhashchikh otkhodov elektroerozionnym dispergirovaniem v vode [Dimensional analysis of powder particles obtained from tungsten-containing waste by electroerosive dispersion in water]. *Vestnik mashinostroeniya = Vestnik mashinostroeniya*, 2015, no. 3, pp. 45-46 (In Russ.).

25. Ageev E. V., Altukhov, A. Yu., Gulidin S. S., Ageev E. V. Razmernyi analiz chastits poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte [Dimensional analysis of powder particles obtained by electroerosion dispersion of al-

loy VK8 in butyl alcohol]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2016, no. 2 (19), pp. 45-51 (In Russ.).

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация
e-mail: ageev_ev@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

Evgniy V. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor, Department of Motor Transport and Motor Car Industry, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: ageev_ev@mail.ru
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

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

Aleksandr Y. Altuhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Motor Transport and Motor Car Industry, Kursk, Russian Federation,
e-mail: alt997@yandex.ru

Новиков Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Российская Федерация,
e-mail: novikovan@ostu.ru

Aleksandr N. Novikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Orel State University named after Ivan Turgenev, Orel, Russian Federacion
e-mail: novikovan@ostu.ru