УДК 621.762

Е.В. Агеева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

А.Ю. Алтухов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alt997@yandex.ru)

А. А. Горохов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: disclos@yandex.ru)

Г.В. Должиков, аспирант, ФГБОУ ВО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. И.И. Иванова» (Курск, Россия) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

МИКРОТВЕРДОСТЬ АДДИТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ КОБАЛЬТОХРОМОВЫХ ПОРОШКОВ

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих).

Исходя из особенностей методов получения сферических порошков с целью получения сферических гранул регламентированной зернистости предлагается технология электроэрозионного диспергирования, отличающаяся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса.

Главным преимуществом предложенной технологии является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет применять порошки-сплавы.

Для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы: исследование микротвердости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЗД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

По результатам проведенных исследований экспериментально установлено, что микротвердость аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных порошков со средним размером частиц 52,5 мкм, составляет 5,7 ГПа.

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

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-15-23

Ссылка для цитирования: Микротвердость аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, А.А. Горохов, Г.В. Должиков // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 4(79). С.15-23.

Введение

Аддитивные технологии (АТ) производства изделий из материалов на основе металлов и сплавов на сегодняшний день одно из самых перспективных и активно развивающихся направлений производства.

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в

системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих) [1-8].

Исходя из особенностей методов получения сферических порошков с целью получения сферических гранул регламентированной зернистости предлагается технология электроэрозионного диспергирования, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [9-27].

Главным преимуществом предложенной технологии является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет порошки-сплавы.

Широкое использование метода ЭЭД для переработки металлоотходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования электроэрозионных порошков и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Цель работы – исследование микротвердости аддитивных изделий из электроэрозионных кобальтохромовых порошков.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости использовали спирт бутиловый (бутанол-1). Для получения кобальтохромовых порошков использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. Параметры диспергирования: напряжение 100 В, емкость 48 мкФ, частота следования импульсов 120 Гц.

Методика исследования размера частиц порошка (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 снизить влияние измерительной жидкости перед каждым измерением проводят фоновое измерение. Любое загрязнение от предыдущих измерений измеряется и устраняется его влияние на текущий результат. Измерение распределения частиц по размеру: образец исследуемого объема 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.

Проведено определение распределения по размерам микрочастиц порошка «CoCr» (в приложении 1 приведен стандартный отчет). Результаты измерения размера частиц представлены на рисунке 1.

Рис. 1. Распределение по размерам микрочастиц порошка «CoCr» Интегральная кривая и гистограмма: интегральная кривая в координатах $Q3(x)=f(\mu\text{m})$ (левая шкала) - каждая точка на кривой, сколько % образца имеет размер частиц меньше либо равно данному. Гистограмма в координатах $q3(x)=f(\mu\text{m})$ (правая шкала) - количество образца с данным размером частиц

Установлено, что средний размер частиц составляет 52,5 мкм, арифметическое значение – 52,496 мкм.

Информация дифракционных картин может использоваться не только для определения размера частиц, но и для анализа их формы. Частицы несферической формы рассеивают излучение в их предпочтительных пространственных направлениях. Если в лазерный пучок попадает не слишком большое количество частиц, на основе получаемой информации может выполняться анализ их формы. За счет уникальной возможности перемещения в сходящемся лазерном пучке, при анализе формы частиц измерительная ячейка подводится ближе к детектору, благодаря чему первый дифракционный максимум излучения, рассеянного частицами среднего размера, попадает в зоны детектора, чувствительные к форме частиц. Поскольку диаметр сходящегося лазерного пучка уменьшается по мере приближения к детектору, в этом

месте в лазерном пучке находится точно то небольшое количество частиц, которое необходимо для анализа их формы. Азимутально (лучеобразно) расположенные элементы детектора регистрируют флуктуации рассеянного излучения, на основе которых компьютерной программой анализируется форма частиц. Программа позволяет определять отношение элонгации для значения $\times 50$ ранее измеренного распределения, а также судить о „гранности“ частиц. На рисунке 2 представлена форма микрочастиц порошка «CoCr».

Установлено, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 44,128 мкм составляет 1,931.

Автоматизированный микротвердомер AFFRI DM-8 (по Виккерсу) обеспечивает проведение измерений микротвердости в автоматическом режиме с построением кривых распределения микротвердости (ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников»).

Рис. 2. Параметры формы микрочастиц порошка «CoCr»

Использование автоматической системы анализа изображения PRECIDUR® позволяет проводить измерения в ручном режиме или полностью автоматизировать процесс измерения микротвердости. Для данного прибора существует определенный набор команд, с помощью которых можно задавать параметры проведения микроиндентирования с учетом особенностей каждой конкретной задачи исследования. Например, можно задавать направление индентирования, указывать количество отпечатков, расстояние между ними, нагрузку на индентор, производить индентирование на сварном шве, используя метод интерполяции, проводить исследования многофазных материалов и т.д. Встроенная цифровая камера позволяет не только визуализировать на мониторе компьютера исследуемую поверхность образца, но и производить фотосъемку остаточных отпечатков после микроиндентирования. Технические характеристики и дополнительные опции:

индентор по Виккерсу, память рассчитана на 999 измерений, встроенная функция перевода единиц измерения, соответствует нормам ISO, JIS и ASTM, общие увеличения: 100х, 400х, автоматическая турель (облегчает работу оператора путем автоматического выбора индентора и объективов), функция автоматического возврата в заданную позицию по завершению рабочего цикла.

Испытания твердости образцов по поверхности и поперечному шлифу проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 200 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии с ГОСТом 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». Время нагружения индентора составило 15 с. Результаты измерений приведены в таблице.

Микротвердость по Виккерсу

Номер отпечатка	Значение
1	523
2	519
3	587
4	624
5	605
6	550
7	601
8	596
9	592
10	601
Среднее значение (единицы измерения)	580
HV	5684
ГПа	5,684

Выводы

По результатам проведенных исследований экспериментально установлено, что микротвердость аддитивных изделий, полученных из электроэрозионных порошков со средним размером частиц 52,5 мкм, составляет 5,7 ГПа.

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

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. 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.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
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. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol / E.V. Ageeva, A.Yu. Altukhov, S.V. Khardikov, S.S. Gulidin, A.N. Novikov // Journal of nano- and electronic physics. 2015. Vol. 7, № 4, Part 2. P. 04080(3).
10. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, S.V. Pikalov, E.A. Vorobiev, A.N. Novikov // Journal of nano- and electronic physics. 2015. Vol. 7, No 4, Part 2, P. 04058(2).
11. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, V.Yu. Karpenko, A.S. Osminina // Journal of nano- and electronic physics. 2014. Vol. 3. P. 03049-1– 03049-3.
12. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium / E.V. Ageeva, E.V. Ageev, N.M. Horyakova, V.S. Malukhov // Journal of nano- and electronic physics. 2014. Vol. 3. P. 03011-1 - 03011-3.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56, № 1. P. 52–62.
14. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения нанострук-

турных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2010. № 5. С. 39-42.

15. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е.В. Агеев, А.А. Горохов, А.Ю. Алтухов, А.В. Щербаков, С.В. Хардинов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2016. № 1 (64). С. 26-31.

16. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование микротвердости порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава // *Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина*. 2011. № 1 (46). С. 78-80.

17. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники плазменно-порошковой наплавкой с использованием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов спеченных твердых сплавов / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Ю.П. Гнездилова. Курск, 2010. 91 с.

18. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева. Курск, 2011. 122 с.

19. Исследование физико-технологических свойств порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е.В. Агеев, В.Н. Гадалов, Д.Н. Романенко, В.Б. Тригуб, В.В. Самой-

лов, Е.В. Агеева // *Фундаментальные исследования*. 2011. № 12-2. С. 336-340.

20. Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Пикалов С.В. Исследование микротвердости синтезированной порошковой быстрорежущей стали из электроэрозионных порошков, полученных в водной среде // *Современные материалы, техника и технологии*. 2015. № 1 (1). С. 13-16.

21. Агеева Е.В., Хорьякова Н.М., Агеев Е.В. Исследование распределения микрочастиц по размерам в порошках, полученных электроэрозионным диспергированием медных отходов // *Вестник машиностроения*. 2014. № 9. С. 63-64.

22. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М., 2011. 468 с.

23. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Хорьякова Н.М. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием. Курск, 2014. 144 с.

24. Агеева Е.В., Агеев Е.В. Повышение качества ремонта и восстановления деталей современных транспортных систем // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2011. № 3. С. 503-509.

25. 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.

26. 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.

27. 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.

28. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2-6.

Поступила в редакцию 25.06.18

UDC 621.762

E.V. Ageeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

A.Yu. Altukhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alt997@yandex.ru)

A.A. Gorokhov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: disclos@yandex.ru)

G.V. Dolzhikov, Post-Graduate Student, Kursk State Agricultural Academy named after I.I. Ivanov (Kursk, Russia) (e-mail: svi.doe@yandex.ru)

THE MICROHARDNESS OF THE ADDITIVE PRODUCTS OF THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING OF COBALT POWDERS

The main requirement for powders for additive 3d technologies is the spherical shape of the particles. Such particles are most compact in a certain volume and provide "fluidity" of the powder composition in the material supply systems with minimal resistance. In addition, the powder must contain a minimum amount of dissolved gas. The microstructure of the powder should be uniform and fine (with a uniform distribution of phase components).

Based on the features of methods for producing spherical powders to obtain spherical granules of regulated grain, the technology of electroerosion dispersion, characterized by relatively low energy costs and environmental cleanliness of the process, is proposed.

The main advantage of the proposed technology is the use of waste as raw materials, which is much cheaper than the pure components used in traditional technologies. In addition, this technology is powder, which allows powder-alloys.

To develop technologies for the reuse of electrical erosion powders and to evaluate the effectiveness of their use, complex theoretical and experimental studies are required.

The aim of this work to study the microhardness of the additive products of the electrical discharge machining of cobalt powders.

For the proposed studies selected waste cobalt alloy brand CHMS "CELLET". Butyl alcohol (butanol-1) was used as a working liquid. To obtain the cobalt powders used for the installation of AED dielectric materials. Dispersion parameters: voltage 100 V, capacity 48 UF, pulse repetition rate 120 Hz.

According to the results of the research, it was experimentally established that the microhardness of additive products obtained from electroerosion powders with an average particle size of 52.5 μm is 5.7 GPa.

Key words: cobalt-chrome alloy; waste; electroerosion dispersion; powder; additive products; microhardness.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-4-15-23

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Gorokhov A.A., Dolzhikov G.V. The Microhardness of the Additive Products of the Electrical Discharge Machining of Cobalt Powders. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 4(79), pp. 15-23 (in Russ.).

Reference

1. 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, pp. 518–523.
2. 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.
3. 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, pp. 547–556.
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. 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.
6. 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, pp. 776–781.
7. 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.
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. Ageev E.V., Altukhov A.Yu., Khardikov S.V., Gulidin S.S., Novikov A.N. Electroerosive Powder Obtained from Alloy VK8 Waste into Butanol. *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, p. 04080(3).
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Pikalov S.V., Vorobiev E.A., Novikov A.N. X-ray Analysis of the Powder of Micro- and Nanometer Fractions, Obtained from Wastes of Alloy T15K6 in Aqueous Medium. *Journal of nano- and electronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, part 2, p. 04058(2).
11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Karpenko V.Yu., Osminina A.S. Studing Tungsten-containing Electroerosion Powders and Alloys Synthesized from Them. *Journal of nano- and electronic physics*, 2014, vol. 3, pp. 03049-1–03049-3.
12. Ageeva E.V., Ageev E.V., Horyakova N.M., Malukhov V.S. Production of copper electroerosion nanopowders from wastes in kerosene medium. *Journal of nano- and electronic physics*. 2014, vol. 3, pp. 03011-1 - 03011-3.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Latypov R.A. Investigation into the properties of electroerosive powders and hard alloy fabricated from them by isostatic pressing and sintering. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2015, vol. 56, no. 1, pp. 52–62.
14. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanosrukturnyx poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. *Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2010, no. 5, pp. 39–42.
15. Ageev E.V., Gorokhov A.A., Altukhov A.Yu., Shherbakov A.V., Khardikov S.V. Rentgenospektralnyj mikroanaliz nixromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v srede kerosina. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, T. 22, № 4(79).

darstvennogo universiteta, 2016, no. 1 (64), pp. 26-31.

16. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Goryachkina*, 2011, no. 1 (46), pp. 78-80.

17. Ageev E.V., Serebrovskij V.I., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnezdilova Yu.P. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtotraktornoj tekhniki plazmenno-poroshkovoj naplavkoj s ispolzovaniem poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkodov spechennykh tverdyykh splavov. Kursk, 2010, 91 p.

18. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenixin B.A., Ageeva E.V. Sostav i svoystva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkodov tverdyykh splavov. Kursk, 2011. 122 p.

19. Ageev E.V., Gadlov V.N., Romanenko D.N., Trigub V.B., Samojlov V.V., Ageeva E.V. Issledovanie fiziko-tekhnologicheskix svoystv poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava. *Fundamentalnye issledovaniya*. 2011. no. 12-2, pp. 336-340.

20. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Pikalov S.V. Issledovanie mikrotverdosti sintezirovannoj poroshkovoj bystrorezhushhej stali iz elektroerozionnykh poroshkov, poluchennykh v vodnoj srede. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*, 2015, no. 1 (1), pp. 13-16.

21. Ageeva E.V., Xoryakova N.M., Ageev E.V. Issledovanie raspredeleniya mikrochastich po razmeram v poroshkax, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem mednykh otkodov. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 9, pp. 63-64.

22. Gadlov V.N., Salnikov V.G., Ageev E.V., Romanenko D.N. Metallografiya metallov, poroshkovykh materialov i pokrytij, poluchennykh elektroiskrovymi sposobami. Moscow, 2011, 468 p.

23. Ageev E.V., Ageeva E.V., Xoryakova N.M. Sostav i svoystva mednykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem. Kursk, 2014, 144 p.

24. Ageeva E.V., Ageev E.V. Povyshenie kachestva remonta i vosstanovleniya detalej sovremennykh transportnykh sistem. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 3, pp. 503-509.

25. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Gulidin S.S., Ageev E.V., Goroxov A.A. Fazovyy sostav chastich poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25.

26. Ageev E.V., Gadlov V.N., Ageeva E.V., Bobryshev R.V. Poroshki, poluchennyye elektroerozionnym dispergirovaniem otkodov tverdyykh splavov - perspektivnyj material dlya vosstanovleniya detalej avtotraktornoj tekhniki. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189.

27. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Goroxov A.A. Razmernyye xarakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode. *Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35.

28. Latypov R.A., Korostelev A.B., Ageev E.V., Semenixin B.A. Svoystva poroshkov iz otkodov tverdyykh splavov VK8 i T15K6, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik*, 2010, no. 7, pp. 2-6.