

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-72-89>



Оптимизация процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е в воде

Е. В. Агеев¹ ✉, Е. П. Новиков¹, А. Е. Агеева¹

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

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Оптимизация процесса получения частиц электрокорунда электроэрозионным диспергированием отходов электротехнического алюминия марки АД0Е в дистиллированной воде.

Методы. Электродиспергирование отходов алюминия марки АД0Е осуществляли в дистиллированной воде на оригинальной запатентованной установке. В результате воздействия кратковременных электрических разрядов образовывались каплеобразные частицы электрокорунда различного размера. При этом форму частиц электрокорунда исследовали на растровом микроскопе, а средний размер частиц – на лазерном анализаторе.

Оптимизацию процесса производства каплеобразных частиц электрокорунда электроэрозионным диспергированием отходов электротехнического алюминия марки АД0Е проводили по среднему размеру частиц, поскольку он является одним из основных технологических параметров порошковых материалов. Для оптимизации процесса производства частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е использовали метод крутого восхождения Бокса и Уилсона. Проверку уравнений на адекватность проводили с использованием критерия Фишера.

Результаты. В соответствии с поставленной целью, направленной на оптимизацию процесса производства частиц электрокорунда электроэрозионным диспергированием отходов электротехнического алюминия марки АД0Е в воде дистиллированной, установлено, что оптимальным средним размером частиц электрокорунда является 74,2 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах 200 В и частоте следования импульсов 200 Гц.

Заключение. Показана высокая эффективность применения технологии электродиспергирования, которая обеспечивает при низких затратах электроэнергии получение пригодных к промышленному применению новых порошковых частиц электрокорунда со сферической и эллиптической формой. Проведение намеченных мероприятий позволит решить проблему снижения себестоимости производства электрокорунда.

Ключевые слова: отходы алюминия; электродиспергирование; вода; частицы электрокорунда; средний размер.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-2539.2022.4).

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

© Агеев Е. В., Новиков Е. П., Агеева А. Е., 2022

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии /
Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies. 2022; 12(3): 72–89

Для цитирования: Агеев Е. В., Новиков Е. П., Агеева А. Е. Оптимизация процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е в воде // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 72–89. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-72-89>

Поступила в редакцию 25.07.2022

Подписана в печать 28.08.2022

Опубликована 28.09.2022

Optimization of the Process of Obtaining Electrocorundum Particles by Electrodispersing AD0E Grade Aluminum Waste in Water

Evgeny V. Ageev¹ ✉, Evgeny P. Novikov¹, Anna E. Ageeva¹

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

✉ e-mail: ageev-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Optimization of the process of obtaining electrocorundum particles by electroerosive dispersion of waste electrical aluminum grade AD0E in distilled water.

Methods. Electrodispersion of aluminum waste of the AD0E brand was carried out in distilled water on an original patented installation. As a result of exposure to short-term electrical discharges, droplet-like particles of electrocorundum of various sizes were formed. At the same time, the shape of the electrocorundum particles was examined on a scanning microscope, and the average particle size was examined on a laser analyzer.

Optimization of the production process of droplet-like particles of electrocorundum by electroerosive dispersion of electrical aluminum waste of the AD0E brand was carried out according to the average particle size, since it is one of the main technological parameters of powder materials. To optimize the process of producing electrocorundum particles by electrodispersing aluminum waste of the AD0E brand, the method of steep ascent by Box and Wilson was used. The adequacy of the equations was checked using the Fisher Criterion.

Results. In accordance with the goal aimed at optimizing the production process of electrocorundum particles by electroerosive dispersion of electrical aluminum waste of the AD0E brand in distilled water, it was found that the optimal average size of electrocorundum particles is 74.2 microns with a discharge capacitance of 65.5 UF, a voltage at the electrodes of 200 V and a pulse repetition frequency of 200 Hz.

Conclusion. The high efficiency of the use of electrodispersing technology is shown, which provides, at low energy costs, the production of commercially suitable new electrocorundum powder particles with spherical and elliptical shapes. Carrying out the planned measures will solve the problem of reducing the cost of production of electrocorundum.

Keywords: aluminum waste; electrodispersion; water; particles electrocorundum; medium size.

Funding: The work was supported by a grant from the President of the Russian Federation (МК-2539.2022.4).

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., Novikov E. P., Ageeva A. E. Optimization of the Process of Obtaining Electrocorundum Particles by Electrodispersing AD0E Grade Aluminum Waste in Water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2022; 12(3): 72–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-72-89>

Received 25.07.2022

Accepted 28.08.2022

Published 28.09.2022

Введение

В настоящее время электрокорунд нашел широкое распространение в машиностроении в качестве абразивного материала [1–6]. Применяемые в промышленности методы получения электрокорунда весьма энергозатратные и экологически вредные [7–8]. Сотрудниками научно-образовательного центра «Порошковая металлургия и покрытия» Юго-Западного государственного университета разработан и запатентован метод получения электрокорунда из отходов электротехнического алюминия, лишенный данных недостатков [9–14].

Широкое использование метода, основанного на разрушении токопроводящего материала за счет электрической эрозии с образованием каплеобразных частиц электрокорунда из отходов электротехнического алюминия, невозможно без аттестации его свойств и уточнения режимов электродиспергирования [15–19].

Целью работы являлась оптимизация процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е в воде дистиллированной.

Материалы и методы

Электродиспергирование отходов алюминия марки АД0Е (рис. 1) осу-

ществляли в дистиллированной воде на оригинальной установке [20–24]. В результате воздействия кратковременных электрических разрядов образовывались частицы электрокорунда различного размера.

Последовательность изучения формы частиц представлена на рисунке 1.

Последовательность изучения среднего размера частиц представлена на рисунке 2.

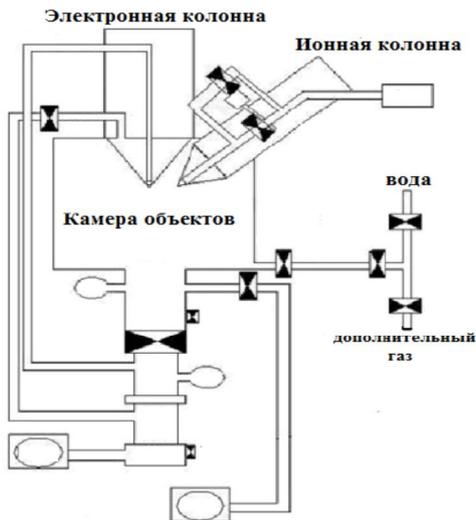
Оптимизацию процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е проводили по среднему размеру частиц [25–29], поскольку он является одним из основных технологических параметров порошковых материалов.

Последовательность постановки полного факторного эксперимента представлена на рисунке 3.

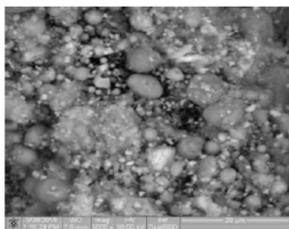
Для оптимизации процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е использовали метод крутого восхождения Бокса и Уилсона. Последовательность крутого восхождения представлена на рисунке 4.



Электронно-ионный сканирующий микроскоп «Quanta 600 FEG»



Принципиальная схема процесса исследования шихты



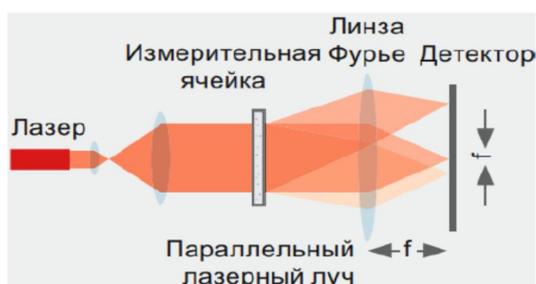
Снимки объемных изображений изучаемой структуры шихты

Рис. 1. Последовательность изучения формы частиц

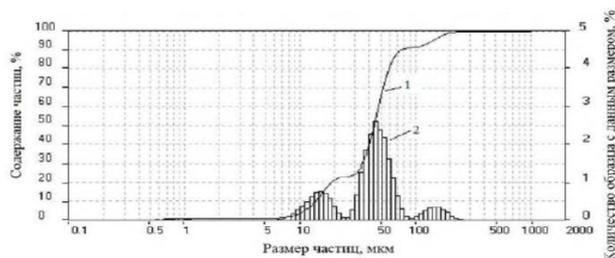
Fig. 1. The sequence of studying the shape of particles



Лазерный анализатор размеров частиц «Analysette 22 NanoTec»



Конструкция состоит из лазера, через измерительную ячейку направленного на детектор. Важным компонентом каждого лазерного прибора для измерения размера частиц является линза Фурье, которая фокусирует рассеянный свет лазера по траектории луча на детектор. Свет, рассеянный пропорционально размеру частиц, посредством линзы фокусируется на детектор.



По распределению рассеянного света при помощи комплексной математики рассчитывают распределение частиц по их размерам. В результате получают объемные доли, соответствующие эквивалентным диаметрам при лазерной дифракции.

Рис. 2. Последовательность изучения среднего размера частиц

Fig. 2. The sequence of studying the average particle size



Рис. 3. Последовательность постановки полного факторного эксперимента (окончание см. на с. 78)

Fig. 3. The sequence of setting up a complete factorial experiment (see the end on page 78)

$$1. \bar{y}_i = \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3}$$

2. Определяем дисперсию параллельных опытов:

$$S_{\text{воспр}i}^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{j=1}^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$$

3. Вычисляем сумму дисперсии воспроизводимости для всех опытов $\sum_{i=1}^8 S_{\text{воспр}i}^2$

4. Осуществляем проверку дисперсий с использованием критерия Кохрена:

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^n S_{\text{воспр}i}^2}$$

Сравниваем $G_{\text{расч}}$ и $G_{\text{табл}}$. Если $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$, принимаем гипотезу об однородности дисперсий. Если $G_{\text{расч}} > G_{\text{табл}}$, дисперсия неоднородная.

5. Вычисляем дисперсию воспроизводимости для всех экспериментов

$$S_{\text{восп}}^2 = S_{(y)}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{\text{воспр}i}^2$$

6. Вычисляем ошибку всего эксперимента

$$S(y) = \sqrt{S_{(y)}^2}$$

7. Рассчитываем коэффициенты уравнения

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{in}^N X_{in} \bar{y}_i, \quad b_0 = \frac{1}{N} \sum_{in}^N \bar{y}_i, \quad b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{in}^N X_{in} X_{jn} \bar{y}_i$$

8. Составление уравнения регрессии

$$\hat{y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3$$



9. Проверяем статистическую значимость коэффициентов.

$$S(b_i) = \frac{S(y)}{\sqrt{Nm}}$$

Далее определяем доверительный интервал длиной $2\Delta b_i$:

$$\Delta b_i = t_{\text{табл}} S(b_i)$$

Табличное значение $t_{\text{табл}}$ выбираем для числа степеней свободы $f = N(m - 1)$

Сравниваем Δb_i и b_i . Если $\Delta b_i > b_i$, то коэффициент не значимый – исключаем из уравнения регрессии. Если $\Delta b_i < b_i$, то коэффициент значимый – оставляем в уравнении регрессии.

10. Проверяем уравнение на адекватность

Находят значения F -критерия Фишера (дисперсное отношение):

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{восп}}^2} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S^2(y)}$$

Для того чтобы воспользоваться таблицей F -критерия, необходимо определить число степеней свободы $f_{\text{ад}}$ и $f_{\text{восп}}$: $f_{\text{ад}} = N - 1$, $f_{\text{восп}} = N(m - 1)$.

Исходя из найденных значений $f_{\text{ад}}$, $f_{\text{восп}}$ находим по таблице $F_{\text{табл}}$. Если $F_{\text{расч}} < F_{\text{табл}}$, то уравнение считают адекватным.

Рис. 3. Окончание (начало см. на с. 77)

Fig. 3. Ending (see the beginning on page 77)



Рис. 4. Последовательность крутого восхождения

Fig. 4. The sequence of steep ascent

При этом исследовали влияние на процесс частоты следования импульсов, емкость разрядных конденсаторов и напряжение на электродах.

Результаты и их обсуждение

По изображениям с растрового микроскопа видно, что частицы электроэрозийного порошкового электрокорунда обладают каплеобразной формой с разбросом размеров 25...100 мкм (рис. 5).

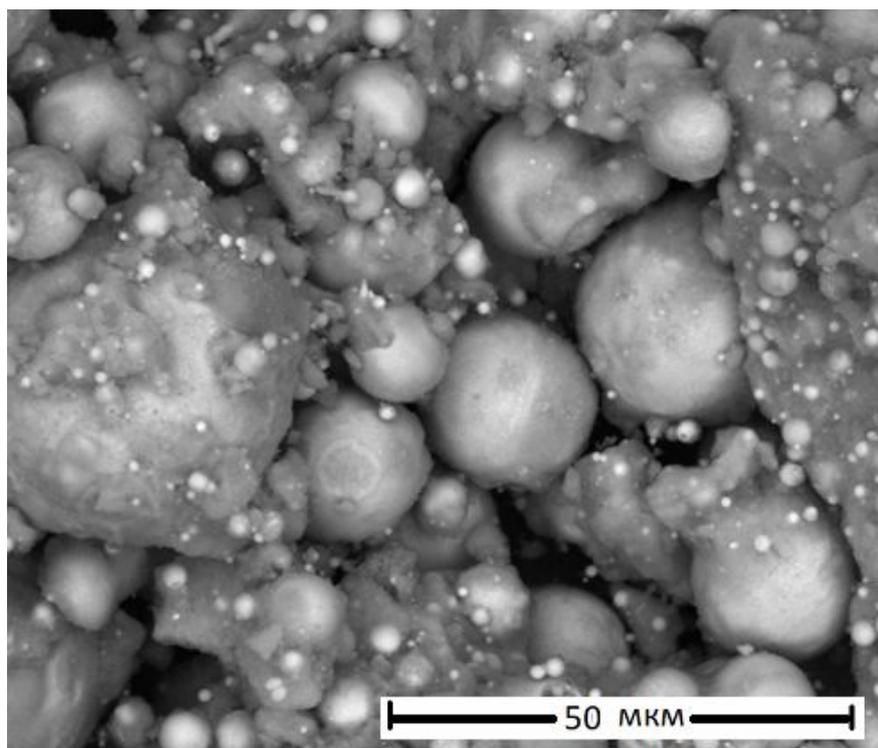


Рис. 5. Микрофотография частиц электрокорунда

Fig. 5. Micrography of electrocorundum particles

Согласно последовательности, представленной на рисунках 3–4, был осуществлен выбор интервалов и уровней варьирования (табл. 1) и составлены матрицы планирования экспериментов (табл. 2).

В соответствии с расчетами составлены уравнения регрессии, которые мо-

делируют полный факторный эксперимент:

$$\hat{y} = 30,4 + 13,6X_1 + 3,8X_2 + 7,7X_3 - 0,4X_1X_2 - 0,3X_1X_2 + 0,1X_2X_3 + 0,4X_1X_2X_3. \quad (1)$$

Определено, что все коэффициенты уравнения (1) являются статистически значимыми.

Таблица 1. Интервалы и уровни варьирования

Table 1. Intervals and levels of variation

Уровень варьируемых факторов	Обозначение кодовое	U , В	ν , Гц	C , мкФ
		X_1	X_2	X_3
Основной уровень	0	150	150	45,5
Интервал варьирования	Δx_i	50	50	20
Верхний уровень	+1	200	200	65,5
Нижний уровень	-1	100	100	25,5

Таблица 2. Экспериментальная матрица планирования**Table 2.** Experiment planning matrix

№ п/п	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}_i	S ² _{воспр}
1	++	-	-	-	+	+	+	-	5,3	5,4	5,5	5,4	0,02
2	+++	+	-	-	-	-	+	+	33,2	33,4	32,9	33,1	0,14
3	+	-	+	-	-	+	-	+	16,5	16,6	17,0	16,7	0,14
4	+	+	+	-	+	-	-	-	37,8	37,9	38,0	37,9	0,02
5	+	-	-	+	+	-	-	+	24,9	24,9	25,0	24,8	0,06
6	+	+	-	+	-	+	-	-	46,9	46,9	46,3	46,7	0,24
7	+	-	+	+	-	-	+	-	29,2	29,3	30,1	29,5	0,49
8	+	+	+	+	+	+	+	+	56,4	57,4	56,9	56,9	0,50

Проверку уравнений на адекватность проводили с использованием Критерия Фишера, который показал адекватность представленного уравнения.

Крутое восхождение начинали в соответствии с уравнением (1) из нулевой точки: X₁ = 150 В; X₂ = 150 Гц; X₃ = 45,5 мкФ.

Предельные значения параметра оптимизации \hat{y} (средний размер электроэрозионных частиц) для процесса электродиспергирования отходов алюминия марки АД0Е в дистиллированной воде составили 74,2 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах 200 В, частоте следования импульсов 200 Гц (табл. 3).

Таблица 3. Крутое восхождение**Table 3.** Steep ascent

Наименование	X ₁ (напряжение, В)	X ₂ (частота следования импульсов, Гц)	X ₃ (ёмкость разрядных конденсаторов, мкФ)	Y (средний размер частиц, мкм)
Уровень основной	150	150	45,5	–
Коэффициент b _i	14,6	5,7	10,7	–
Интервал варьирования ξ_i	50,0	50,0	20	–
b _i · ξ_i	730	285	214	–
Шаг Δ_i	36,5	14,3	10,7	–
Шаг округленный	37	14	11	–
Опыт №1	187	164	56,5	53,2
Опыт №2	200	178	65,5	68,1
Опыт №3	200	192	65,5	71,9
Опыт №4 (max)	200	200	65,5	74,2

Заключение

В соответствии с поставленной целью, направленной на оптимизацию процесса получения частиц электрокорунда электродиспергированием отходов алюминия марки АД0Е в воде дистиллированной, установлено, что оптимальным средним размером частиц электрокорунда является 74,2 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах

200 В и частоте следования импульсов 200 Гц. Показана высокая эффективность применения технологии электродиспергирования, которая обеспечивает при низких затратах электроэнергии получение пригодных к промышленному применению новых порошковых частиц электрокорунда со сферической и эллиптической формой. Проведение намеченных мероприятий позволит решить проблему снижения себестоимости производства электрокорунда.

Список литературы

1. Шумячер В. М., Пушкарев И. О. Работоспособность абразивных зерен электрокорундов при микрорезании материалов // СТИН. 2011. № 6. С. 18–19.
2. Жарменов А. А., Мырзалиева С. К., Аймбетова Э. О. Структура и свойства силикатных композиционных материалов на основе электрокорунда – шлака ниобиевого производства // Стекло и керамика. 2012. № 6. С. 25–28.
3. Качан Ю. Г., Мных А. С. Алгоритм динамической оптимизации процесса производства электрокорунда нормального на базе метода терминального управления // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. Т. 2, № 4 (32). С. 12–18.
4. Белоглазов И. И., Фирсов А. Ю., Педро А. А. Контроль процесса плавки при получении белого электрокорунда // Электromеталлургия. 2017. № 4. С. 2–5.
5. Рябцев С. А., Полканов Е. Г. Динамика стабильности свойств керамических композиций на основе электрокорунда с увеличением их структурности // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 6. С. 25–28.
6. Яковец Ю. С. Утилизация отходов алюминия // Юный ученый. 2020. № 11 (41). С. 46–49.
7. Трибушевский Л. В., Немененок Б. М., Румянцева Г. А. Бесфлюсовая плавка отходов алюминия – путь к безотходной технологии // Metallurgy машиностроения. 2020. № 2. С. 2–4.
8. Иванков С. И., Троицкий А. В. Использование отходов производства алюминия в различных отраслях промышленности // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2020. № 3. С. 27–37.

9. Ageeva E. V., Khor'yakova N. M., Ageev E. V. Morphology of copper powder produced by electrospark dispersion from waste // Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34(11). P. 694–696.

10. Ageeva E. V., Khor'yakova N. M., Ageev E. V. Morphology and composition of copper electrospark powder suitable for sintering // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35(1). P. 33–35.

11. Electroerosion micro- and nanopowders for the production of hard alloys / R. A. Latypov, E. V. Ageeva, O. V. Kruglyakov, G. R. Latypova // Russian Metallurgy (Metally). 2016. Vol. 2016(6). P. 547–549.

12. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 Hard alloy / R. A. Latypov, E. V. Ageev, G. R. Latypova, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // Russian Metallurgy (Metally). 2017. Vol. 2017(12). P. 1083–1085.

13. 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(12). P. 1177–1180.

14. Effect of temperature on the porosity of the additive products made of the dispersed wastes of cobalt-chromium alloys / R. A. Latypov, E. V. Ageev, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // Russian Metallurgy (Metally). 2019. Vol. 2019(12). P. 1300–1303.

15. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Алтухов А. Ю. Аддитивные изделия из электроэрозионного кобальтохромового порошка // Металлург. 2021. № 10. С. 78–81.

16. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Алтухов А. Ю. Оценка возможности применения электроэрозионных кобальтохромовых порошков для получения изделий методом аддитивного производства // Металлург. 2021. № 12. С. 61–64.

17. 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 имени В. П. Горячкина". 2011. № 1 (46). С. 78–80.

18. Разработка и исследование твердосплавных изделий из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Р. А. Латыпов, Г. Р. Латыпова, Е. В. Агеев, А. А. Давыдов // Международный научный журнал. 2013. № 2. С. 10–112.

19. Свойства порошков из отходов твердых сплавов VK8 и T15K6, 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.

20. Новиков Е. П., Агеева Е. В., Чумак-Жунь Д. А. Изучение формы и морфологии порошка, полученного из отходов алюминия методом электроэрозионного диспергирования // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2015. № 4 (17). С. 13–17.

21. Агеева Е. В., Агеев Е. В., Карпенко В. Ю. Изучение формы и элементного состава порошка, полученного из вольфрамсодержащих отходов инструментальных материалов электроэрозионным диспергированием в водной среде // Упрочняющие технологии и покрытия. 2014. № 4 (112). С. 14–17.

22. 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.

23. Физико-механический подход к анализу процессов вытяжки с утонением цилиндрических изделий с прогнозированием деформационной повреждаемости материала / Г. М. Журавлев, Н. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев, А. Н. Сергеев, Е. В. Агеева, Д. В. Малий // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 4 (67). С. 39–56.

24. Исследование химического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5 (38), ч. 1. С. 138а–144.

25. Получение твердосплавных изделий холодным изостатическим прессованием электроэрозионных порошков и их исследование / Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов, П. И. Бурак, Е. В. Агеев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. № 5 (50). С. 116–125.

26. Проведение рентгеноспектрального микроанализа твердосплавных электроэрозионных порошков / Е. В. Агеев, Г. Р. Латыпова, А. А. Давыдов, Е. В. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5 (44), ч. 2. С. 99–102.

27. 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 (40), ч. 1. С. 182–189.

28. Исследование гранулометрического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава и используемых при восстановлении и упрочнении деталей автотракторной техники / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, В. И. Серебровский, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов, Ю. П. Гнездилова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. № 4. С. 76–79.

29. Латыпов Р. А., Агеев Е. В., Давыдов А. А. Восстановление и упрочнение деталей машин и инструмента с использованием порошков, полученных электроэрозионным

References

1. Shumyacher V. M., Pushkarev I. O. Rabotosposobnost' abrazivnykh zeren elektrokorundov pri mikrorezanii materialov [Efficiency of abrasive grains of electrocorundum in micro-cutting of materials]. *STIN*, 2011, no. 6, pp. 18–19.
2. Zharmenov A. A., Myrzaliev S. K., Aimbetova E. O. Struktura i svoistva silikatnykh kompozitsionnykh materialov na osnove elektrokorunda – shlaka niobievogo proizvodstva [Structure and properties of silicate composite materials based on electrocorundum - slag Niobium production]. *Steklo i keramika = Glass and Ceramics*, 2012, no. 6, pp. 25–28.
3. Kachan Yu. G., Mnykh A. S. Algoritm dinamicheskoi optimizatsii protsessa proizvodstva elektrokorunda normal'nogo na baze metoda terminal'nogo upravleniya [Algorithm of dynamic optimization of the normal electrocorundum production process based on the terminal control]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii = East European Journal of Advanced Technologies*, 2008, vol. 2, no. 4 (32), pp. 12–18.
4. Beloglazov I. I., Firsov A. Yu., Pedro A. A. Kontrol' protsessa plavki pri poluchenii belogo elektrokorunda [Control of the melting process in obtaining white electrocorundum]. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2017, no. 4, pp. 2–5.
5. Ryabtsev S. A., Polkanov E. G. Dinamika stabil'nosti svoistv keramicheskikh kompozitsii na osnove elektrokorunda s uvelicheniem ikh strukturnosti [Dynamics of stability of properties of ceramic compositions based on electrocorundum with an increase in their]. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika = Refractories and technical ceramics*, 2014, no. 6, pp. 25–28.
6. Yakovets Yu. S. Utilizatsiya otkhodov alyuminiya [Utilization of aluminum waste]. *Yunyi uchenyi = Young Scientist*, 2020, no. 11 (41), pp. 46–49.
7. Tribushevsky L. V., Nemenok B. M., Rumyantseva G. A. Besflyusovaya plavka otkhodov alyuminiya – put' k bezotkhodnoi tekhnologii [Fluxless melting of aluminum waste - the way to a waste-free technology]. *Metallurgiya mashinostroeniya = Metallurgy of Mechanical Engineering*, 2020, no. 2, pp. 2–4.
8. Ivankov S. I., Troitsky A. V. Ispol'zovanie otkhodov proizvodstva alyuminiya v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti [The use of aluminum production waste in various industries]. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchei sredy = Scientific and Technical Aspects of Environmental Protection*, 2020, no. 3, pp. 27–37.
9. Ageeva E. V., Khor'yakova N. M., Ageev E. V. Morphology of copper powder produced by electrospark dispersion from waste. *Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34(11), pp. 694–696.

10. Ageeva E. V., Khor'yakova N. M., Ageev E. V. Morphology and composition of copper electrospray powder suitable for sintering. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35(1), pp. 33–35.
11. Latypov R. A., Ageeva E. V., Kruglyakov O. V., Latypova G. R. Electroerosion micro- and nanopowders for the production of hard alloys. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2016, vol. 2016(6), pp. 547–549.
12. Latypov R. A., Ageev E. V., Latypova G. R., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Elemental Composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2017, vol. 2017(12), pp. 1083–1085.
13. 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. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2018, vol. 2018(12), pp. 1177–1180.
14. Latypov R. A., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Effect of temperature on the porosity of the additive products made of the dispersed wastes of cobalt–chromium alloys. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2019, vol. 2019(12), pp. 1300–1303.
15. Ageev E. V., Ageeva E. V., Altukhov A. Yu. Additivnye izdeliya iz elektroerozionnogo kobal'tokhromovogo poroshka [Additive products from electroerosive cobalt-chromium powder]. *Metallurg = Metallurg*, 2021, no. 10, pp. 78–81.
16. Ageev E. V., Ageeva E. V., Altukhov A. Yu. Otsenka vozmozhnosti primeneniya elektroerozionnykh kobal'tokhromovykh poroshkov dlya polucheniya izdelii metodom additivnogo proizvodstva [Assessment of the possibility of using electroerosive cobalt-chromium powders to produce products by additive manufacturing]. *Metallurg = Metallurg*, 2021, no.12, pp. 61–64.
17. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Latypov R. A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergировaniem tverdogo splava [Investigation of microhardness of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy]. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya "Moskovskii gosudarstvennyi agroinzhenernyi universitet imeni V. P. Goryachkina" = Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "V. P. Goryachkin Moscow State Agroengineering University"*, 2011, no. 1 (46), pp. 78–80.
18. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Davydov A. A. Razrabotka i issledovanie tverdospлавnykh izdelii iz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergированием vol'framsoderzhashchikh otkhodov [Development and research of carbide products from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing waste]. *Mezhdunarodnyi nauchnyi zhurnal = International Scientific Journal*, 2013, no. 2, pp. 107–112.
19. Latypov R. A., Korostelev A. B., Ageev E. V., Semenikhin B. A. Svoistva poroshkov iz otkhodov tverdyykh splavov VK8 i T15K6, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergировaniya [Properties of powders from waste of hard alloys VK8 and T15K6 obtained by

the method of electroerosive dispersion]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik = All materials. Encyclopedic reference*, 2010, no. 7, pp. 2–6.

20. Novikov E. P., Ageeva E. V., Chumak-Zhun D. A. Izuchenie formy i morfologii poroshka, poluchennogo iz otkhodov alyuminiya metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Study of the shape and morphology of powder obtained from aluminum waste by electroerosive dispersion]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*, 2015, no. 4 (17), pp. 13–17.

21. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Izuchenie formy i elementnogo sostava poroshka, poluchennogo iz vol'framsoderzhashchikh otkhodov instrumental'nykh materialov elektroerozionnym dispergirovaniem v vodnoi srede [Study of the form and elemental composition of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosive dispersion in an aqueous medium]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*, 2014, no. 4 (112), pp. 14–17.

22. Ageev E. V., Ageeva E. V., Chernov A. S., Maslov G. S., Parshina E. I. Opredelenie osnovnykh zakonornostei protsessa polucheniya poroshkov metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Determination of the main regularities of the process of obtaining powders by the method of electroerosive dispersion]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*, 2013, no. 1 (46), pp. 85–90.

23. Zhuravlev G. M., Sergeev N. N., Gvozdev A. E., Sergeev A. N., Ageeva E. V., Maliy D. V. Fiziko-mekhanicheskii podkhod k analizu protsessov vytyazhki s utoneniem tsilindricheskikh izdelii s prognozirovaniem deformatsionnoi povrezhdaemosti materiala [Physico-mechanical approach to the analysis of drawing processes with thinning of cylindrical products with the prediction of deformation damage of the material]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 4 (67), pp. 39–56.

24. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Ageeva E. V., Latypov R. A. Issledovanie khimicheskogo sostava poroshkov, poluchennykh elektroerozi-onnym dispergirovaniem tverdogo splava [Investigation of the chemical composition of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2011, no. 5 (38), pt. 1, pp. 138a–144.

25. Ageeva E.V., Latypov R.A., Burak P.I., Ageev E.V. Poluchenie tverdosplavnykh izdelii kholodnym izostaticheskim pressovaniem elektroerozionnykh poroshkov i ikh issledovanie [Obtaining carbide products by cold isostatic pressing of electroerosive powders and their research]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2013, no. 5 (50), pp. 116–125.

26. Ageev E. V., Latypova G. R., Davydov A. A., Ageeva E. V. Provedenie rentgeno-spektral'nogo mikroanaliza tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov [Conducting X-ray spectral microanalysis of carbide electroerosion powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 5 (44), pt. 2, pp. 99–102.

27. Ageev E. V., Gadalog V. N., Ageeva E. V., Bobryshev R. V. Poroshki, poluchennyye elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdyykh сплавов - perspektivnyi material dlya vosstanovleniya detalei avtotrak-tornoi 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 (40), pt. 1, pp. 182–189.

28. Ageev E. V., Gadalog V. N., Serebrovsky V. I., Semenikhin B. A., Ageeva E. V., Latypov R. A., Gnezdilova Yu. P. Issledovanie granulometricheskogo sostava poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo сплава i ispol'zuemykh pri vosstanovlenii i uprochnenii detalei avtotraktornoi tekhniki [Investigation of the granulometric composition of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy and used in the restoration and hardening of parts of automotive equipment]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 2010, no. 4, pp. 76–79.

29. Latypov R. A., Ageev E. V., Davydov A. A. Vosstanovlenie i uprochnenie detalei mashin i instrumenta s ispol'zovaniem poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashchikh otkhodov [Restoration and hardening of machine parts and tools using powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing waste]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya = Repair. Recovery. Modernization*, 2013, no. 12, pp. 23–28.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev-ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

Evgeny V. Ageev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev-ev@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3862-8624

Новиков Евгений Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник управления научных исследований, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация
e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru

Evgeny P. Novikov, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher at the Department of Scientific Research, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru

Агеева Анна Евгеньевна, студент Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru,

Anna E. Ageeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru