

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-86-97>



Оптимизация процесса получения шихты свинцово-сурьмянистого сплава ССуЗ электроэрозионным методом в воде дистиллированной

Е. В. Агеева¹ ✉, М. С. Королев¹, А. С. Переверзев¹, А. Е. Агеева¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Целью настоящей работы являлась оптимизация процесса получения шихты свинцово-сурьмянистого сплава ССуЗ электроэрозионным методом в дистиллированной воде по критерию среднего размера частиц.

Методы. На экспериментальной установке для получения свинцово-сурьмянистых порошков из токопроводящих материалов диспергировали отходы сплава ССуЗ в воде дистиллированной при массе загрузки 250 г. При этом использовали следующие электрические параметры установки: напряжение на электродах от 100–200 В; ёмкость конденсаторов 25–65 мкФ; частота следования импульсов 25–50 Гц. С помощью лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес plus исследовали средний размер частиц. Определение оптимальных параметров работы установки ЭЭД проводили постановкой полного факторного эксперимента по среднему размеру частиц получаемых электроэрозионных материалов. В качестве факторов были выбраны параметры работы установки ЭЭД: напряжение на электродах, ёмкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов.

Результаты. Согласно проведенной серии опытов определены предельные значения параметра оптимизации \hat{y} (средний размер электроэрозионных частиц), которые составили: 44 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах 200 В, частоте следования импульсов 75 Гц.

Проведенные исследования показали, что способом электроэрозионного диспергирования отходов сплава ССуЗ в воде дистиллированной имеется возможность получения порошка-сплава с равномерным распределением легирующих элементов.

Заключение. Проведена оптимизация процесса получения шихты свинцово-сурьмянистого сплава ССуЗ электроэрозионным методом в дистиллированной воде по критерию среднего размера частиц. Полученные результаты могут быть использованы предприятиями промышленного сектора для производства свинцово-сурьмянистого порошка.

Ключевые слова: свинцово-сурьмянистый сплав; электроэрозионное диспергирование; порошок; оптимизация; средний размер.

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

Для цитирования: Оптимизация процесса получения шихты свинцово-сурьмянистого сплава ССуЗ электроэрозионным методом в воде дистиллированной / Е. В. Агеев, М. С. Королев, А. С. Переверзев, А. Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 86–97. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-86-97>

Поступила в редакцию 24.03.2022

Подписана в печать 26.04.2023

Опубликована 30.05.2023

© Агеев Е. В., Королев М. С., Переверзев А. С., Агеева А. Е., 2023

Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии /
Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies. 2023; 13(2): 86–97

Optimization of the Process of Obtaining a Charge of Lead-Antimony Alloy SSu3 by the Electroerosion Method in Distilled Water

Ekaterina V. Ageeva¹ ✉, Mikhail S. Korolev¹, Anton S. Pereverzev¹,
Anna E. Ageeva¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

The purpose of this work was to optimize the process of obtaining a charge of lead-antimony alloy SSu3 by the electroerosion method in distilled water according to the criterion of average particle size.

Methods. At the experimental facility for the production of lead-antimony powders from conductive materials, the waste of the SSu3 alloy was dispersed in distilled water at a loading weight of 250 g. The following electrical parameters of the installation were used: voltage at the electrodes from 100–200 V; capacitance of capacitors 25–65 UF; pulse repetition frequency 25–50 Hz. The average particle size was studied using the Analysette 22 NanoTec plus laser particle size analyzer. The determination of the optimal parameters of the EED installation was carried out by setting up a complete factorial experiment (PFE) on the average particle size of the obtained electroerosive materials. The parameters of the EED installation operation were selected as factors: the voltage at the electrodes, the capacitance of the discharge capacitors and the pulse repetition rate.

Results. According to the conducted series of experiments, the results of which are presented in the table, the limiting values of the optimization parameter γ (the average size of electroerosive particles) were determined, which amounted to: 44 microns with a capacity of 65.5 UF discharge capacitors, a voltage at the electrodes of 200 V, a pulse repetition frequency of 75 Hz.

The conducted studies have shown that by the method of electroerosive dispersion of SSu3 alloy waste in distilled water, it is possible to obtain an alloy powder with a uniform distribution of alloying elements.

Conclusion. Optimization of the process of obtaining the charge of lead-antimony alloy SSu3 by the electroerosion method in distilled water according to the criterion of the average particle size was carried out. The results obtained can be used by enterprises of the industrial sector for the production of lead-antimony powder.

Keywords: lead-antimony alloy; electroerosive dispersion; powder; optimization; average size.

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., Korolev M. S., Pereverzev A. S., Ageeva A. E. Optimization of the Process of Obtaining a Charge of Lead-Antimony Alloy SSu3 by the Electroerosion Method in Distilled Water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(2): 86–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-86-97>

Received 24.03.2022

Accepted 26.04.2023

Published 30.05.2023

Введение

На сегодняшний день гибридные аккумуляторные батареи, устанавливаемые на транспортные средства общего пользования, имеют срок службы 3–5 лет, после этого такие источники энергии требуют утилизации или переработки. Свинцово-сурьмянистые положительные пластины

аккумуляторных батарей не являются для этого исключением. Энергоэффективнее и дешевле получать данный ресурс методом переработки отработавшего свой срок сырья [1–3].

Современные методы переработки аккумуляторного лома вредят экологии и опасны для здоровья операторов, произво-

дящих сырьевую переплавку, подтверждение этому большое количество профессиональных заболеваний работников аккумуляторной промышленности [4–6].

Перспективы в направлении переработки аккумуляторного лома может предложить метод электроэрозионного диспергирования [7–12], который с наименьшими затратами может разрушить любой токопроводящий материал до шихты в виде металлического порошка, которую можно повторно использовать в промышленных целях.

Любой технологический процесс с целью улучшения его КПД требует оптимизации, как и процесс получения шихты

методом электроэрозионного диспергирования.

Целью настоящей работы являлась оптимизация процесса получения шихты свинцово-сурьмянистого сплава $SSu3$ электроэрозионным методом в дистиллированной воде по критерию среднего размера частиц.

Материалы и методы

В рамках данного исследования методом электроэрозионного диспергирования [13–20] в дистиллированной воде была получена шихта из решеток свинцово-сурьмянистого аккумулятора (рис. 1).



Рис. 1. Процесс получения шихты из свинцово-сурьмянистых пластин сплава марки $SSu3$: а – пластины свинцово-сурьмянистой АКБ; б – общий вид установки ЭЭД; в – электроэрозионная шихта из $SSu-3$

Fig. 1. The process of obtaining a charge from lead-antimony plates of the $SSu3$ alloy: а – plates of lead-antimony battery; б – general view of the EED installation; в – electroerosion charge from $SSu-3$

На экспериментальной установке для получения свинцово-сурьмянистых порошков из токопроводящих материалов диспергировали отходы сплава $SSu3$ в воде дистиллированной при массе загрузки 250 г, при этом использовали следующие электрические параметры установки:

- напряжение на электродах 100...200 В;
- ёмкость конденсаторов 25...65 мкФ;

– частота следования импульсов 25...50 Гц.

Полученный свинцово-сурьмянистый порошок исследовали различными методами.

Микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG, показал, что порошок, полученный методом ЭЭД из отходов сплава $SSu3$, состоит в

основном из частиц правильной сферической, округлой, пластинчатой и чешуйчатой формы, причем частицы пластинчатой и чешуйчатой формы преобладают в составе шихты, они меньше по размерам и их количественно больше.

Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG, показал, что порошок, полученный методом ЭЭД из отходов сплава $SSu3$, состоит из следующих равномерно распределенных по объему частиц элементов: свинец, кислород, сурьма, в малых количествах присутствует медь, никель, железо, алюминий.

Анализ фазового состава частиц порошка, проведенный с помощью рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV, показал, что частицы порошка, полученные методом ЭЭД из отходов сплава ЖС6У, состоят из следующих фаз: Pb , PbO , Pb_5O_8 , Sb_2O_5 .

Проведенные исследования показали, что способом электроэрозионного диспергирования отходов сплава $SSu3$ в воде дистиллированной имеется возможность получения порошка-сплава с равномерным распределением легирующих элементов.

С помощью лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoTec plus (рис. 2) исследовали средний размер частиц.

Процесс исследования производили в жидкости с ультразвуком с использованием эффекта динамического рассеяния света. Измерение по методу Фраунгофера, диапазон измерения 0,08... 2000,00 мкм; разрешение 102 канала (20/100 мм); продолжительность измере-

ния 100 (сканов); регуляризация – средняя модель.



Рис. 2. Внешний вид лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoTec plus

Fig. 2. Appearance of the laser particle size analyzer Analysette 22 NanoTec plus

Определение оптимальных параметров работы установки электродиспергирования [21–25] проводили постановкой полного факторного эксперимента (ПФЭ) по среднему размеру частиц получаемых электроэрозионных материалов. В качестве факторов были выбраны параметры работы установки: напряжение на электродах, емкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов.

Результаты и их обсуждение

Оптимальные параметры работы установки определяли для среды воды дистиллированной. Для этого была составлена матрица планирования эксперимента (табл. 1) и представлены уровни варьирования (табл. 2) [26].

Таблица 1. Матрица планируемого эксперимента (вода дистиллированная)**Table 1.** Matrix of the planned experiment (distilled water)

Номер опыта	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	+	-	-	-	+	+	+	-	20,3	19,6	22,5	20,8	2,29
2	+	+	-	-	-	-	+	+	24,9	29,1	30,9	28,3	9,48
3	+	-	+	-	-	+	-	+	22,2	23,1	27,3	24,2	7,41
4	+	+	+	-	+	-	-	-	34,5	31,2	28,8	31,5	8,19
5	+	-	-	+	+	-	-	+	27,6	30,1	33,2	30,3	15,74
6	+	+	-	+	-	+	-	-	40,2	35,1	39,3	38,2	14,82
7	+	-	+	+	-	-	+	-	34,9	39,4	34,3	36,2	15,54
8	+	+	+	+	+	+	+	+	47,5	40,1	48,6	45,4	21,37

Таблица 2. Уровни варьирования параметров установки ЭЭД**Table 2.** Levels of variation of EED installation parameters

Уровень варьируемых факторов	Кодовое обозначение	U, В	ν , Гц	C, мкФ
		X ₁	X ₂	X ₃
Основной уровень	0	150	50	45,5
Интервал варьирования	Δx_i	50	25	20
Верхний уровень	+1	200	75	65,5
Нижний уровень	-1	100	25	25,5

Согласно проведенным расчетам было получено уравнение регрессии, моделирующее полный факторный эксперимент в воде дистиллированной:

$$\hat{y} = 31,8625 + 3,9875X_1 + 2,4625X_2 + 5,6625X_3 + 0,1375X_1X_2 + 0,2875X_1X_3 + 0,8125X_2X_3 + 0,1875X_1X_2X_3.$$

В результате проверки статистической значимости коэффициентов все коэффициенты уравнения, моделирующего полный факторный эксперимент в дистиллированной воде, кроме b_{12} , b_{13} , b_{23} и b_{123} , оказались статистически значимыми.

Проверку уравнения на адекватность проводили с использованием критерия Фишера [26]. В результате расчета уста-

новлено, что уравнение регрессии адекватно.

Полученное уравнение было использовано для расчета крутого восхождения по поверхности отклика (табл. 3).

Крутое восхождение начинали из нулевой точки (основные уровни): $X_1 = 150$ В, $X_2 = 50$ Гц, $X_3 = 45,5$ мкФ. Согласно проведенной серии опытов, результаты которых представлены в таблице 3, определены предельные значения параметра оптимизации \hat{y} (средний размер электроэрозионных частиц), которые составили: 44 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах 200 В, частоте следования импульсов 75 Гц.

Таблица 3. Расчет крутого восхождения**Table 3.** Calculation of steep ascent

Наименование	X_1 (U, В)	X_2 (f, Гц)	X_3 (C, мкФ)	Y, мкм
Основной уровень	150	50	45,5	–
Коэффициент b_i	3,98	2,46	5,66	–
Интервал варьирования ξ_i	50	25	20	–
$b_i \cdot \xi_i$	199	61,5	113,2	–
Шаг Δ_i	9,95	3,08	5,66	–
Округленный шаг	10	3	6	–
Опыт 1	160	53	51,5	34,6892
Опыт 2	170	56	57,5	37,4784
Опыт 3	180	59	63,5	40,2676
Опыт 4	190	62	65,5	41,9248
Опыт 5	200	65	65,5	43,016
Опыт 6	200	68	65,5	43,3112
Опыт 7	200	71	65,5	43,508
Опыт 8	200	74	65,5	43,8032
Опыт 9 (max)	200	75	65,5	44

Выводы

1. Проведено определение оптимальных параметров работы установки электродиспергирования постановкой полного факторного эксперимента по среднему размеру частиц получаемых электроэрозионных материалов из отходов сплава ССуЗ. В качестве факторов были выбраны параметры работы установки: напряжение на электродах, емкость разрядных конденсаторов и частота следования импульсов.

Оптимальные параметры работы установки определяли для воды дистиллированной.

2. Согласно проведенной серии опытов определены предельные значения параметра оптимизации по среднему размеру электроэрозионных частиц, которые составили 44 мкм при ёмкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ, напряжении на электродах 200 В, частоте следования импульсов 75 Гц.

Список литературы

1. Иванов Н. И., Борисов П. Ю. Особенности исследования макроструктуры межэлементных соединений свинцово-кислотных аккумуляторных батарей // Технология машиностроения. 2021. № 5. С. 26–31.
2. Иноземцева Е. В. Электрохимические и физико-механические свойства свинцово-сурьмяных и свинцово-кальциевых сплавов для герметизированных свинцово-кислотных аккумуляторов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Саратов, 2009. 21 с.

3. Организация производства свинцово-сурьмянистой дробы высокого качества / П. А. Василевский, С. А. Москалев, Л. М. Железняк, С. А. Голованов // *Металлург*. 2014. № 9. С. 118–121.

4. Бессер А. Д., Сорокина В. С. Переработка использованных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей – основа рециклинга свинца // *Цветная металлургия*. 2008. № 10. С. 18–27.

5. Исаева-Парцвания Н. В., Сердюк А. И. Малоотходная экологически безопасная комплексная переработка отработанных свинцово-кислотных аккумуляторов // *Современное промышленное и гражданское строительство*. 2008. Т. 4, № 2. С. 93–102.

6. Зайков Ю. П., Архипов П. А., Плеханов К. А. Электродные потенциалы сплавов Pb-Sb в расплавленных хлоридах калия и свинца // *Расплавы*. 2006. № 6. С. 30–35.

7. Получение и исследование порошков из отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов электроэрозионным диспергированием: монография / Е. В. Агеев, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева, А. А. Давыдов. Курск: ИП Горохов А. А., 2013. 200 с.

8. 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.

9. 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.

10. Исследование алюминиевого порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде / Р. А. Латыпов, Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, Е. П. Новиков // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2016. № 4. С. 19–22.

11. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. Морфология и элементный состав медных электроэрозионных порошков, пригодных к спеканию // *Вестник машиностроения*. 2014. № 10. С. 66–68.

12. Агеев Е. В., Семенихин Б. А., Латыпов Р. А. Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11, № 5-2. С. 238–240.

13. 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.

14. Агеева Е. В., Хардииков С. В., Агеева А. Е. Структура и свойства спеченных образцов из электроэрозионных хромсодержащих порошков, полученных в бутиловом спирте // *Современные материалы, техника и технологии*. 2021. № 6 (39). С. 4–11.

15. Хардииков С. В., Агеева Е. В., Агеева А. Е. Анализ характеристик износостойкости спеченных изделий из электроэрозионного порошка стали X13, полученного в бутиловом спирте // *Современные материалы, техника и технологии*. 2021. № 6 (39). С. 58–64.

16. 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.

17. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy / R. A. Latypov, G. R. Latypova, E. V. Ageev, A. Y. Altukhov, E. V. Ageeva // Russian Metallurgy (Metally). 2017. Т. 2017, № 12. С. 1083–1085.

18. Оценка износостойкости электроискровых покрытий, полученных с использованием электроэрозионных порошков быстрорежущей стали / Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеев, А. Ю. Алтухов, В. Ю. Карпенко // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2015. № 1. С. 71–76.

19. Сравнительный рентгеноспектральный микроанализ медного порошка, полученного электроэрозионным диспергированием, и медного порошка ПМС-1 / Р. А. Латыпов, Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, Н. М. Хорьякова // Электromеталлургия. 2017. № 4. С. 36–39.

20. 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 // Журнал нано- и электронной физики. 2015. Т. 7, № 4. С. 04058.

21. Электроэрозионные порошки микро- и нанометрических фракций для производства твердых сплавов / Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева, О. В. Кругляков, Г. Р. Латыпова // Электromеталлургия. 2016. № 1. С. 16–20.

22. Бобков Е. А., Агеева А. Е., Агеева Е. В. Исследование элементного состава частиц порошка, полученного электродиспергированием сплава X20N80 в воде // Наука молодых – будущее России: сборник научных статей 6-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск: Университетская книга, 2021. С. 13–16.

23. Агеев Е. В., Агеева А. Е. Структура и свойства порошков, полученных в условиях электроэрозионной металлургии отходов твердого сплава T5K10 в кислород- и углеродсодержащих средах // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18, № 9 (213). С. 387–392.

24. Ageev E. V., Ageeva A. E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water // Metallurgist. 2022. Vol. 66(12). P. 146–154.

25. Новиков Е. П., Поданов В. О., Агеева А. Е. Свойства порошков корунда, полученных электродиспергированием металлоотходов // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Металлургия. 2022. № 7 (266). С. 90–94.

26. Математический размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием жаропрочного никелевого сплава ЖС6У в воде / Е. В. Агеев, А. Е. Гвоздев, Е. А. Протопопов, В. О. Поданов, А. Е. Агеева // Чебышевский сборник. 2022. Т. 23, № 1 (82). С. 197–208.

References

1. Ivanov N., Borissov P. Yu. Osobennosti issledovaniya makrostruktury mezhelementnykh soedinenii svintsovo-kislotnykh akkumulyatornykh batarei [Features of the study of the macrostructure of interelement compounds of lead-acid batteries]. *Tekhnologiya mashinostroeniya = Technology of machine-building*, 2021, no. 5, pp. 26–31.

2. Inozemtseva E. V. Elektrokhimicheskie i fiziko-mekhanicheskie svoistva svintsovo-sur'myanykh i svintsovo-kal'tsievykh splavov dlya germetizirovannykh svintsovo-kislotnykh ak-

kumulyatorov. Avtoref. diss. kand. khim. nauk [Electrochemical and physico-mechanical properties of lead-antimony and lead-calcium alloys for sealed lead-acid batteries. Cand. of chem. sci. abstract diss.]. Saratov, 2009. 21 p.

3. Vasilevsky P. A., Moskalev S. A., Zheleznyak L. M., Golovanov S. A. Organizatsiya proizvodstva svintsovo-sur'myanistoi drobi vysokogo kachestva [Organization of production of pig-surmian high fractions in extravehicular qualities]. *Metallurg = Metallurgist*, 2014, no. 9, pp. 118–121.

4. Besser A. D., Sorokina B. S. Pererabotka ispol'zovannykh svintsovo-kislotnykh akkumulyatornykh batarei – osnova retsiklinga svintsa [Reprocessing of large quantities of piggyconyclic, acumuliatores, battery-based Pig recycling]. *Tsvetnaya metallurgiya = Non-Ferrous metallurgy*, 2008, no. 10, pp. 18–27.

5. Isayeva-Partsvaniya N. V., Serdyuk A. I. Malootkhodnaya ekologicheski bezopasnaya kompleksnaya pererabotka otrabotannykh svintsovo-kislotnykh akkumulyatorov [Low-waste environmentally safe complex processing of spent lead-acid batteries]. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo = Modern industrial and civil construction*. 2008, vol. 4, no. 2, pp. 93–102.

6. Zaykov Yu. P., Arkhipov P. A., Plekhanov K. A. Elektrodnye potentsialy splavov Pb-Sb v rasplavlennykh khloridakh kaliya i svintsa [Electrode potentials of Pb-Sb alloys in distributed potassium and pig chlorides]. *Raspilav = Melts*, 2006, no. 6, pp. 30–35.

7. Ageev E. V., Latypov R. A., Ageeva E. V., Davydov A. A. Poluchenie i issledovanie poroshkov iz otkhodov vol'framsoderzhashchikh tverdykh splavov elektroerozionnym dispergirovaniem [Receipt and investigation of poroshkov from the outflow volframsoderzhashchih tverdabh alloy]. Kursk, IP Gorokhov A. A., 2013. 200 p.

8. Ageev E. V., Ageeva E. V., Chernov A. S., Maslov G. S., Parshina E. I. Opreделение 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 = Proceedings of the Southwest State University*, 2013, no. 1 (46), pp. 85–90.

9. 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 forms and elegant composition of powder obtained from tungsten-containing waste of tool materials by electroerosive dispersion in an aqueous medium]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2014, no. 4 (112), pp. 14–17.

10. Latypov P. A., Ageev E. V., Ageeva E. V., Novikov E. P. Issledovanie alyuminiyevogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v distillirovannoi vode [Investigation of alumin stain, resulting methodmedlectro-extravrosional dispersion in distilled water]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik = All material. Flucyclopedic guide*, 2016, no. 4, pp. 19–22.

11. Ageeva E. V., Horyakova N. M., Ageev E. V. Morfologiya i elementnyi sostav mednykh elektroerozionnykh poroshkov, prigodnykh k spekaniyu [Morphology and cement composition of copper electroerosive powders suitable for sintering]. *Vestnik mashinostroeniya = Journal of Mechanical Engineering*, 2014, no. 10, pp. 66–68.

12. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Latypov R. A. Issledovanie vliyaniya elektricheskikh parametrov ustanovki na protsess poroshkoobrazovaniya pri elektroerozionnom dispergirovanii

otkhodov tverdogo splava [Investigation of the influence of electrical parameters of the installation on the process of powder formation during electroerosive dispersion of solid alloy waste]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Proceedings Samara scientific center Rossiya Academy of Science*, 2009, vol. 11, no. 5-2, pp. 238–240.

13. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Pikalov S. V. Issledovanie mikrotverdosti sintezirovannoi poroshkovoi bystrorezhushchei stali iz elektroerozionnykh poroshkov, poluchennykh v vodnoi srede [Investigation of microhardness of synthesized powder high-speed steel from electroerosive powders obtained in an aqueous medium]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, equipment and technologies*, 2015, no. 1 (1), pp. 13–16.

14. Ageeva E. V., Hardikov S. V., Ageeva A. E. Struktura i svoystva spechennykh obraztsov iz elektroerozionnykh khromsoderzhashchikh poroshkov, poluchennykh v butilovom spirte [Structure and properties sintered in butyl alcohol]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, equipment and technologies*, 2021, no. 6 (39), pp. 4–11.

15. Hardikow C. V., Ageeva E. V., Ageeva A. E. Analiz kharakteristik iznosostoikosti spechennykh izdelii iz elektroerozionnogo poroshka stali Kh13, poluchennogo v butilovom spirte [Analysis characteristic export resistance sintered paraglach articles is asblectro extravionic stain Stali X13, obtained in butyl alcohol]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii = Modern materials, equipment and technologies*, 2021, no. 6 (39), pp. 58–64.

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

17. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., 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, no. 12, pp. 1083–1085.

18. Ageeva E. V., Latypov R. A., Ageev E. V., Altukhov A. Yu., Karpenko V. Yu. Otsenka iznosostoikosti elektroiskrovnykh pokrytii, poluchennykh s ispol'zovaniem elektroerozionnykh poroshkov bystrorezhushchei stali [Evaluation of the wear resistance of electric spark coatings obtained with the execution of high-speed steel electroerosion powders]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Poroshkovaya metallurgiya i funktsional'nye pokrytiya = Proceedings of Higher Educational Institutions. Powder Metallurgy and Functional Coatings*, 2015, № 1, pp. 71–76.

19. Latypov R. A., Ageev E. V., Ageeva E. V., Horyakova N. M. Sravnitel'nyi rentgenospektral'nyi mikroanaliz mednogo poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem, i mednogo poroshka PMS-1 [Comparative X-ray spectral microanalysis of copper powder obtained by electroerosive dispersion and copper powder PMS-1]. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2017, no. 4, pp. 36–39.

20. 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. *Zhurnal nano- i elektronnoi fiziki = Journal of Nano-and urgentlectronic physics*, 2015, vol. 7, no. 4, pp. 04058.

21. Latypov P. A., Ageeva E. V., Kruglyakov O. V., Latypova G. R. Elektroerozionnye poroshki mikro- i nanometricheskikh fraktsii dlya proizvodstva tverdykh splavov [Electroerosive

powders of micro- and nanometric fractions for the production of hard alloys]. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2016, no. 1, pp. 16–20.

22. Bobkov E. A., Ageeva A. E., Ageeva A. V. [Investigation of the clementine composition of powder particles obtained by electrodispersion with alloy X20N80 in water]. *Nauka molodykh – budushchee Rossii. Sbornik nauchnykh statei 6-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh* [Science of the Young – the future of Russia. Collection of scientific articles of the 6th International Scientific Conference of promising developments of young scientists]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2021, pp. 13–16. (In Russ.)

23. Ageev E. V., Ageeva A. E. Struktura i svoistva poroshkov, poluchennykh v usloviyakh elektroerozionnoi metallurgii otkhodov tverdogo splava T5K10 v kislorod- i uglerodsoderzhachikh sredakh [Structure and properties of poroshkov, obtained in the conditions electro-erosional metallurgy of tverdogo alloy T5K10 in oxygen- and uglerodsoderzhich sredah]. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*, 2022, vol. 18, no. 9 (213), pp. 387–392.

24. Ageev E. V., Ageeva A. E. Composition, structure and properties of hard-alloy powders obtained by electrodispersion of T5K10 alloy in water. *Metallurgist*, 2022, vol. 66(12), pp. 146–154.

25. Novikov E. P., Podanov V. O., Ageeva A. E. Svoistva poroshkov korunda, poluchennykh elektrodispergirovaniem metallootkhodov [Properties of corundum powders obtained by electrodispersion of metal waste]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Metallurgiya = Proceedings Volgograd State University of Technology. Series: Metallurgy*, 2022, no. 7 (266), pp. 90–94.

26. Ageev E. V., Gvozdev A. E., Protopopov E. A., Podanov V. O., Ageeva A. E. Matematicheskiy razmernyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem zharoprochnogo nikelvogo splava ZhS6U v vode [Mathematical dimensional analysis of powders obtained by electroerosion dispersion of heat-resistant nickel alloy GS6U in water]. *Chebyshevskii sbornik = Chebyshevsky collection*, 2022, vol. 23, no. 1 (82), pp. 197–208.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565

Ekaterina V. Ageeva, Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565

Королев Михаил Сергеевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: korolev37-31-72@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8491-2829

Mikhail S. Korolev, Post-Graduate Student of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: korolev37-31-72@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8491-2829

Переверзев Антон Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: chaser-93@yandex.ru

Anton S. Pereverzev, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,
e-mail: chaser-93@yandex.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