

Оригинальная статья / Original article

УДК 621.762.2

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-4-43-53>

Определение массовой и количественной производительности процесса электродиспергирования отходов никеля в изопропиловом спирте

Н. М. Хорьякова¹ ✉, Е. В. Агеева¹, К. В. Садова¹, Н. С. Агарков¹

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

✉ e-mail: natali030119891@yandex.ru

Резюме

Целью настоящего исследования являлось получение электроэрозионного дисперсного никеля путем переработки никелевых отходов электродиспергированием в изопропиловом спирте, а также исследование производительности данного процесса и гранулометрического размера частиц полученного дисперсного никеля.

Методы. Никелевые отходы в виде пластин перерабатывали в порошок электродиспергированием на экспериментальной установке электроэрозионного диспергирования в среде изопропилового спирта. Исследование среднего размера частиц полученного электроэрозионного дисперсного никеля проводили с использованием лазерного анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoTec.

Результаты. Методом электроэрозионного диспергирования из отходов производства впервые получены никелевые порошки сферической формы в среде изопропилового спирта. Определены параметры установки электроэрозионного диспергирования, необходимые для диспергирования никелевых отходов. Экспериментально установлена прямо пропорциональная зависимость массовой производительности процесса электроэрозионного диспергирования никелевых отходов от напряжения на электродах в изопропиловом спирте в интервале 120–220 В. Оптимальным для диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте является напряжение на электродах в интервале 200–220 В. Установлено, что наименьший размер частиц имеет никелевый порошок, полученный при напряжении на электродах 220 В, при этом массовая производительность при данном значении напряжения на электродах является максимальной.

Заключение. На основании представленных экспериментальных исследований массовой и количественной производительности процесса электроэрозионного диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте установлена высокая эффективность применения технологии электродиспергирования для получения дисперсного порошка никеля, который не уступает промышленно применяемым порошкам по среднему размеру частиц. Экспериментально установлено, что наименьший размер частиц имеет никелевый порошок, полученный при напряжении на электродах 220 В, при этом массовая производительность при данном значении напряжения на электродах является максимальной.

Ключевые слова: никель; отходы; электродиспергирование; дисперсный никель; вторичная переработка.

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

© Хорьякова Н. М., Агеева Е. В., Садова К. В., Агарков Н. С., 2023

Для цитирования: Определение массовой и количественной производительности процесса электродиспергирования отходов никеля в изопропиловом спирте / Н. М. Хорьякова, Е. В. Агеева, К. В. Садова, Н. С. Агарков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 4. С. 43–53. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-4-43-53>

Поступила в редакцию 14.10.2023

Подписана в печать 17.11.2023

Опубликована 25.12.2023

Determination of Mass and Quantitative Productivity of the Process of Electrodispersion of Nickel Waste in Isopropyl Alcohol

Natalia M. Horiakova¹ ✉, Ekaterina V. Ageeva¹, Kristina V. Sadova¹,
Nikita S. Agarkov¹

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

✉ e-mail: natali030119891@yandex.ru

Abstract

The purpose of this study was to obtain electroerosive dispersed nickel by processing nickel waste by electrodispersing in isopropyl alcohol, as well as to study the performance of this process and the particle size of the obtained dispersed nickel.

Methods. Nickel waste in the form of plates was processed into powder by electrodispersion at an experimental electroerosive dispersion plant (RF Patent No. 2449859) in an isopropyl alcohol medium. The study of the average particle size of the obtained electroerosive dispersed nickel was carried out using a laser particle size analyzer "Analysette 22 NanoTec".

Results. For the first time, spherical nickel powders in the medium of isopropyl alcohol were obtained from industrial waste by the method of electroerosive dispersion. The parameters of the electroerosive dispersion unit necessary for the dispersion of nickel waste have been determined. A directly proportional dependence of the mass productivity of the process of electroerosion research of nickel waste dispersion on the voltage at the electrodes in isopropyl alcohol in the range of 120-220 V. has been experimentally established. The optimum for dispersing nickel waste in isopropyl alcohol is the voltage at the electrodes in the range of 200-220 V. It is established that the smallest particle size is nickel powder obtained at a voltage of 220 V at the electrodes, while the mass productivity at this value of the voltage at the electrodes is the maximum.

Conclusion. Based on the presented experimental studies of the mass and quantitative productivity of the process of electroerosive dispersion of nickel waste in isopropyl alcohol, a high efficiency of the use of electrodispersion technology for obtaining dispersed nickel powder, which is not inferior to industrially used powders in terms of average particle size, has been established. It has been experimentally established that the smallest particle size has a nickel powder obtained at a voltage of 220 V on the electrodes, while the mass productivity at this value of the voltage on the electrodes is maximum.

Keywords: nickel; waste; electrodispersion; dispersed nickel; recycling.

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

For citation: Horiakova N. M., Ageeva E. V., Sadova K. V., Agarkov N. S. Determination of Mass and Quantitative Productivity of the Process of Electrodispersion of Nickel Waste in Isopropyl Alcohol. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(4): 43–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-13-4-43-53>

Received 14.10.2023

Accepted 17.11.2023

Published 25.12.2023

Введение

Никелевые порошки востребованы в различных областях промышленности ввиду отличных механических, электро-технических качеств и высокой антикоррозийной устойчивости. Области приме-

нения порошка никеля приведены на рисунке 1 [1; 2].

Никелевый полуфабрикат в виде дисперсного порошка производят следующими способами: электролитическим (ПНЭ) и карбонильным (ПНК) (табл. 1) [3–6].

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НИКЕЛЕВОГО ПОРОШКА



Рис. 1. Области применения порошка никеля

Fig. 1. Areas of application of nickel powder

Таблица 1. Способы производства порошка никеля

Table 1. Nickel powder production methods

| Параметр | Электролиз | Карбонильный |
|----------------------|--|---|
| Суть метода | Ток постоянной мощности пропускают сквозь водный раствор солей никеля либо расплавленные соли металла. В результате на катоде оседает чистый порошковый никель | На первом этапе путем химического воздействия оксида углерода на никелесодержащее сырье получают карбонил никеля (формула соединения $Ni(CO)_4$). На втором этапе происходит термическое разложение карбонила, который под воздействием температуры разделяется на никель и оксид углерода |
| Продукт | Порошок никелевый электролитический (ПНЭ) | Порошок никелевый карбонильный (ПНК) |
| Размер частиц | ПНЭ-1 – 71 мкм; ПНЭ-2 – 250 мкм | ПНК-УТ1, ПНК-УТ4, ПНК-0Т4, ПНК-0Т1, ПНК-1Л5, ПНК-1Л8 – не превышает 20 мкм; ПНК-2К10 – от 45 мкм до 71 мкм; ПНК-2К9 – от 71 мкм до 100 мкм |
| Содержание никеля, % | 99,7–99,9 | 99,5 |
| Стандарт | ГОСТ 9722-97. Порошок никелевый. Технические условия | ГОСТ 9722-97. Порошок никелевый. Технические условия |

Необходимо отметить, что в последние годы неуклонно растет потребность в высокосортном никеле и никелевых порошках, а цены остаются стабильно высокими и имеют тенденцию к увеличению.

Поэтому вторичная переработка отходов никеля имеет большое значение [4–6].

Высокоперспективным экологичным методом переработки отходов никеля в

порошки является метод электродиспергирования. Суть метода заключается в том, что токопроводящие металлические отходы измельчаются в дисперсный порошок материал электрическими разрядами, возникающими между электродами [7–20].

Целью работы являлось получение электроэрозионного дисперсного никеля путем переработки никелевых отходов электродиспергированием в изопропиловом спирте, а также исследование производительности данного процесса и гранулометрического размера частиц полученного порошка.

Материалы и методы

В качестве исходного материала применяли отходы из пластин никеля, изготовленного из нелегированного никеля марок Н-0, Н-1Ау, Н-1у, Н-1, Н-2 по ГОСТ 849–2018.

Химический состав никелевых отходов приведен на рисунке 2. Содержание никеля в отходах 93,64%. Исследование проводилось до очистки от загрязнений.

Никелевые пластины измельчали на отрезки длиной 3–4 см, что обеспечивало

лучшее соприкосновение электродов и материала и улучшало процесс диспергирования. Для удаления загрязнений с поверхности отходов использовали раствор уксусной кислоты. Реактором при проведении электродиспергирования выступал эксикатор с пластиковой перегородкой. В качестве рабочей жидкости использовался изопропиловый спирт.

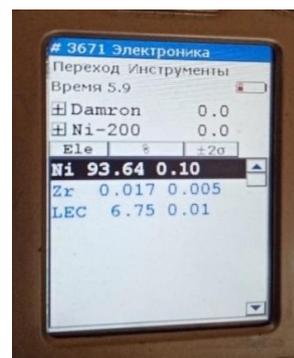


Рис. 2. Химический состав отходов из пластин никеля

Fig. 2. Chemical composition of waste from nickel plates

Электродиспергирование (ЭД) никелевых отходов проводили на экспериментальной установке для диспергирования проводящих ток материалов (рис. 3) [7–21].



Рис. 3. Процесс электродиспергирования никелевых отходов

Fig. 3. The process of electrodispersion of nickel waste

Электроэрозионный никелевый дисперсный порошок получали при напряжении на электродах 0–260 В, ёмкости разрядных конденсаторов 45–50 мкФ и частоте следования импульсов 110 Гц. Электрические разряды, проходящие между электродами в рабочей жидкости, способствуют тому, что под действием электроэрозии металлических отходов никеля и электродов образующийся высокодис-

персный порошок никеля оседает на дно реактора. Рабочая жидкость, оставшаяся в реакторе, отстаивается для осаждения взвешенных частиц и центрифугируется.

Средний размер частиц электроэрозионного дисперсного никеля изучали с помощью лазерного анализатора Analysette 22 NanoTec (Германия), согласно поэтапной схеме, приведенной на рисунке 4.

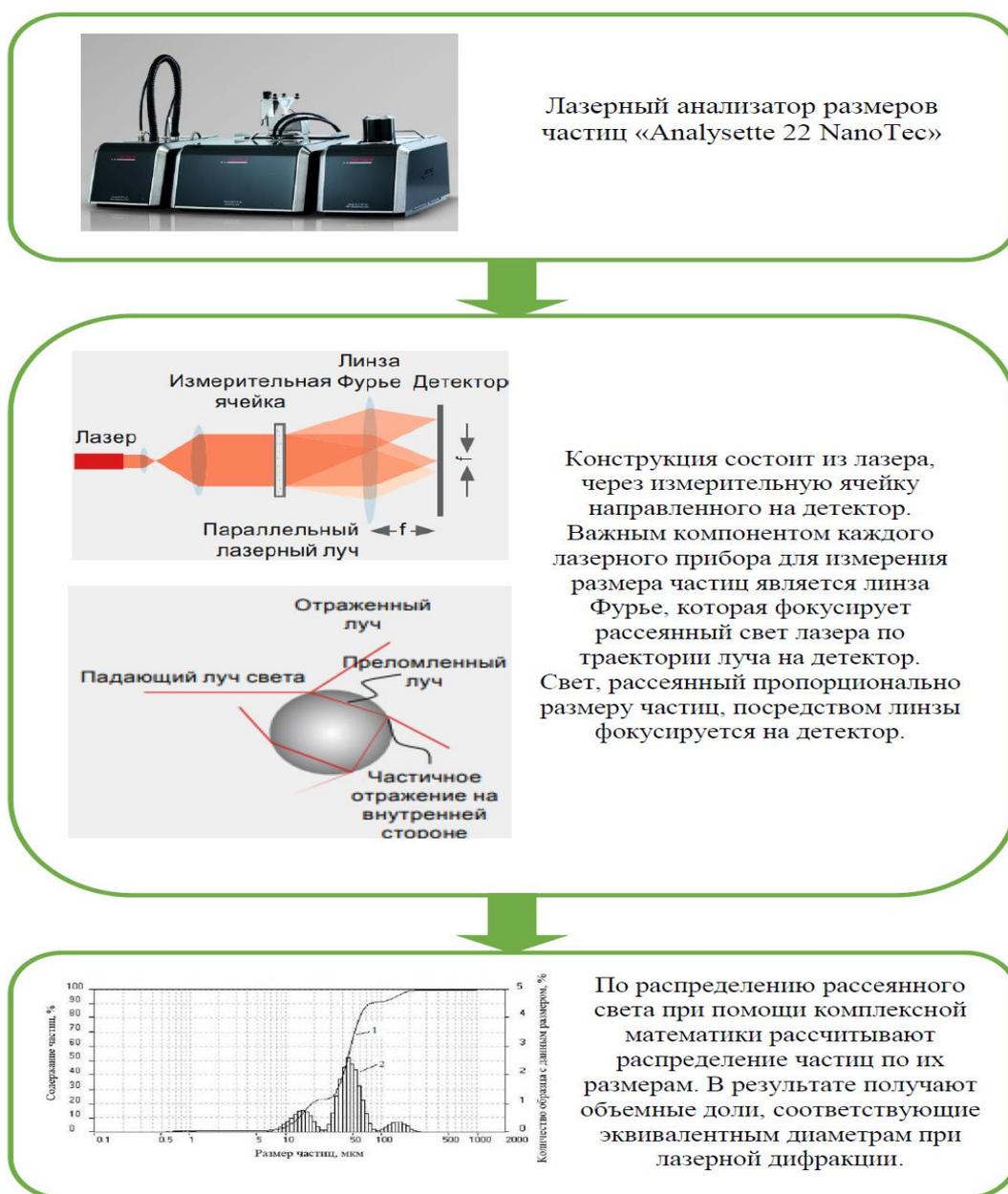


Рис. 4. Этапы исследования гранулометрического состава

Fig. 4. Stages of the study of granulometric composition

Результаты и их обсуждение

Для оценки массовой производительности процесс электродиспергирования никелевых отходов в изопропиловом

спирте проводили, варьируя напряжение на электродах от 0 до 260 В с шагом 20 В, в течение 1 часа в каждой точке. Полученные данные сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Оценка массовой производительности процесса электродиспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте в зависимости от напряжения на электродах

Table 2. Evaluation of the mass productivity of the process of electrodispersing nickel waste in isopropyl alcohol, depending on the voltage at the electrodes

| Номер опыта | Напряжение, В | Процесс | Массовая производительность, г/час |
|-------------|---------------|--|------------------------------------|
| 1 | 0 | – | 0 |
| 2 | 20 | Нестабильный, отсутствует искрообразование | 0 |
| 3 | 40 | Нестабильный, отсутствует искрообразование | 0 |
| 4 | 60 | Нестабильный, недостаточное искрообразование | 3,54 |
| 5 | 80 | Нестабильный, недостаточное искрообразование | 6,28 |
| 6 | 100 | Нестабильный, недостаточное искрообразование | 8,34 |
| 7 | 120 | Стабильный | 11,12 |
| 8 | 140 | Стабильный | 12,8 |
| 9 | 160 | Стабильный | 14,7 |
| 10 | 180 | Стабильный | 15,76 |
| 11 | 200 | Стабильный | 24,94 |
| 12 | 220 | Стабильный | 26,12 |
| 13 | 240 | Нестабильный, повышенное искрообразование | 0 |
| 14 | 260 | Нестабильный, повышенное искрообразование | 0 |

По полученным экспериментальным данным построен график зависимости массовой производительности процесса электроэрозионного диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте, выраженной в граммах порошка за 1 час эксперимента, от напряжения на электродах установки электроэрозионного диспергирования (рис. 5).

Экспериментально установлена прямо пропорциональная зависимость массовой производительности процесса элек-

троэрозионного диспергирования никелевых отходов от напряжения на электродах в изопропиловом спирте в интервале 120–220 В. Оптимальным для диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте является напряжение на электродах в интервале 200–220 В. При напряжении 0–100 В процесс диспергирования был нестабильным, наблюдалось недостаточное искрообразование, процесс часто прерывался. При напряжении 240 В и выше процесс диспергирования стал нестабильным, наблюдалось повышенное

искрообразование и слипание частиц порошкового материала, что сделало невозможным проведение процесса электро-

диспергирования, и оценить производительность не удалось.

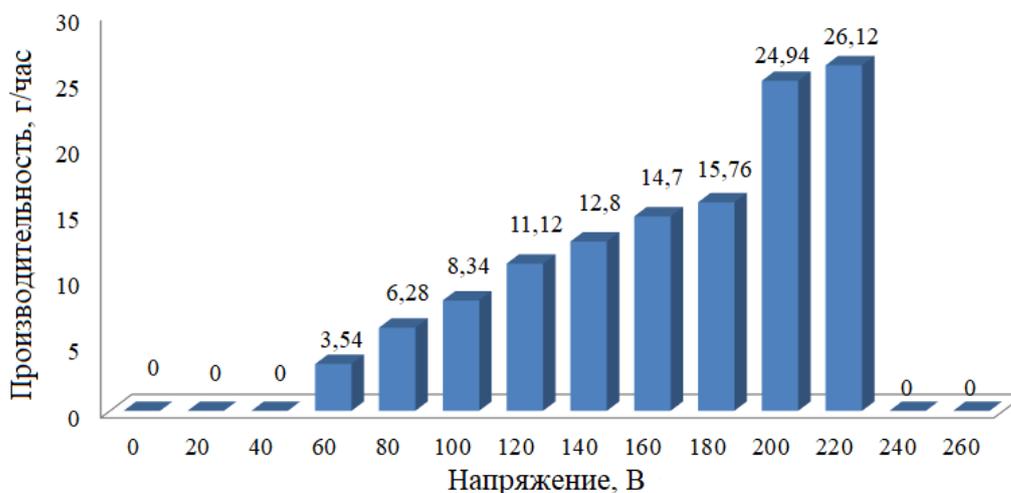


Рис. 5. Зависимость массовой производительности процесса электроэрозионного диспергирования никелевых отходов от напряжения на электродах в изопропиловом спирте

Fig. 5. Dependence of the mass productivity of the process of electroerosive dispersion of nickel waste on the voltage at the electrodes in isopropyl alcohol

Для оценки количественной производительности процесса электродиспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте полученные порошки проана-

лизировали на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 установка NanoТес. Средний размер частиц порошка в некоторых опытах приведен в таблице 3.

Таблица 3. Средний размер частиц порошка, полученного электродиспергированием никелевых отходов в изопропиловом спирте

Table 3. Average particle size of the powder obtained by electrodispersing nickel waste in isopropyl alcohol

| Номер опыта | Напряжение, В | Средний размер частиц, мкм |
|-------------|---------------|----------------------------|
| 6 | 100 | 88,32 |
| 10 | 180 | 54,38 |
| 12 | 220 | 26,47 |

Экспериментально установлено, что наименьший размер частиц имеет никелевый порошок, полученный при напряжении на электродах 220 В, при этом массовая производительность при данном значении напряжения на электродах является максимальной.

Выводы

1. Экспериментально установлена прямо пропорциональная зависимость массовой производительности процесса

электроэрозионного исследования диспергирования никелевых отходов от напряжения на электродах в изопропиловом спирте в интервале напряжения на электродах 120–220 В. Оптимальным для диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте является напряжение на электродах в интервале 200–220 В.

2. Экспериментально установлено, что наименьший размер частиц имеет никелевый порошок, полученный при напряжении на электродах 220 В, при этом массовая производительность при данном

значении напряжения на электродах является максимальной.

3. На основании представленных экспериментальных исследований массовой и количественной производительности процесса электроэрозионного диспергирования никелевых отходов в изопропиловом спирте установлена высокая эффективность применения технологии электродиспергирования для получения дисперсного порошка никеля, который не уступает промышленно применяемым порошкам по среднему размеру частиц.

Список литературы

1. Изучение порошков на основе титана и никеля / В. Н. Гадалов, А. В. Филонович, И. В. Ворначева, Е. А. Филатов // Электроэрозионное диспергирование. Возможность компактирования порошков на основе титана и никеля. Saarbrucken, 2017. 121 с.
2. Влияние параметров импульсных режимов поляризации на гранулометрический состав порошков никеля / М. С. Липкин, С. М. Липкин, И. С. Гуляев, Ю. Г. Москалев, В. М. Липкин, Д. Н. Кузнецов, Е. В. Корбова, А. Н. Яценко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2022. № 1 (213). С. 37–42.
3. Гропянов А. В., Ситов Н. Н., Жукова М. Н. Порошковые материалы / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017. 74 с.
4. Серегин П. С., Беседовский С. Г. Методы получения никелевого порошка // Записки Горного института. 2005. Т. 165. С. 154–156.
5. Вагнер Д. С. Получение порошка никеля карбонильным способом // Наука. Технологии. Инновации: сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Уфа: Агентство международных исследований, 2019. С. 4–6.
6. Свойства ультрадисперсных порошков металлов, полученных химическим диспергированием / Э. Л. Дзидзигури, Д. В. Кузнецов, В. В. Левина, Е. Н. Сидорова // Перспективные материалы. 2000. № 6. С. 87–92.
7. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Хорьякова Н. М. Электрокорунд: способы получения. Курск: Университетская книга, 2022. 146 с.
8. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Хорьякова Н. М. Электрокорунд: применение в промышленности. Курск: Университетская книга, 2022. 146 с.
9. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Сысоев А. А. Электроэрозионные порошки стали марки 12Х17, полученные в керосине: монография. Курск: Университетская книга, 2020. 166 с.
10. Ageeva E. V., Khoryakova N. M. Study of electrodeposited copper coatings obtained with the addition of electroerosion-copper nanoparticles // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15, no. 5. P. 999–1003.
11. Безвольфрамовые твердые сплавы на основе электроэрозионных порошков карбонитрида титана: монография / Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, Н. М. Хорьякова, Б. Н. Сабельников. Курск: Университетская книга, 2021. 212 с.
12. Агеев Е. В., Хорьякова Н. М. Псевдосплавы ВНЖ: получение, применение, переработка. Курск: Университетская книга, 2020. 176 с.
13. Агеев Е. В., Агеева Е. В., Хорьякова Н. М. Псевдосплавы ВНЖ на основе электроэрозионных материалов. Курск: Университетская книга, 2021. 240 с.
14. Жаропрочные никелевые сплавы ЖС6У: получение, применение, переработка / Е. В. Агеев, Е. В. Агеева, И. П. Емельянов, Н. М. Хорьякова. Курск: Университетская книга, 2022. 235 с.
15. Хорьякова Н. М., Агеева Е. В., Садова К. В. Физические и химические свойства вторичной порошковой бериллиевой бронзы БрБ2, полученной электроэрозией в воде // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 8–22.
16. Ageev E. V., Ageeva E. V., Horyakova N. M. Investigation of the elemental composition of the WNF-95 sintered powder alloy obtained by the electroerosive dispersion of waste in a carbon-containing liquid // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 1001. P. 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012016>.

17. Study of the fractional composition of electroerosive powder materials of the tungsten nickel iron alloy obtained in lighting kerosene / E. V. Ageev, N. M. Horakova, S. V. Pikalov, M. S. Korolev, V. O. Podanov // International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2020). 2020. Vol. 329. P. 02013.

18. Ageev E. V., Ageev E. V., Khoryakova N. M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W–Ni–Fe 95 pseudoalloy in kerosene // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. 2021. Vol. 15, no. 4. P. 723–727.

19. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Латыпова Г. Р. Определение оптимальных электрических параметров установки электроэрозионного диспергирования для диспергирования медных отходов в воде дистиллированной постановкой факторного эксперимента // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 6 (69). С. 28–34.

20. Агеев Е. В., Хорьякова Н. М., Малюхов В. С. Получение медных электроэрозионных нанопорошков из отходов в среде керосина // Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов: труды XI Международной конференции / отв. ред. Л. В. Кожитов; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 85–91.

21. Патент № 2449859 Российская Федерация, МПК В22F 9/14, В23Н 1/02, В82Y 40/00. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е. В., Семенихин Б. А., Латыпов Р. А., Аниканов В. И. № 2010104316/02; заявл. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13.

Reference

1. Gadalog V. N., Filonovich A. V., Vornacheva I. V., Filatov E. A. Izuchenie poroshkov na osnove titana i nikelya [The study of powders based on titanium and nickel]. *Elektroerozionnoe dispergирование. Vozmozhnost' kompaktirovaniya poroshkov na osnove titana i nikelya = Electroerosive dispersion. Possibility of compacting powders based on titanium and nickel*. Saarbrücken, 2017. 121 p.

2. Lipkin M. S., Lipkin S. M., Gulyaev I. S., Moskalev Yu. G., Lipkin V. M., Kuznetsov D. N., Korbova E. V., Yatsenko A. N Vliyanie parametrov impul'snykh rezhimov polarizatsii na granulometricheskii sostav poroshkov nikelya [Influence of parameters of pulsed polarization modes on the granulometric composition of nickel powders]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskii nauki = Izvestia of higher educational institutions. The North Caucasus region. Technical sciences*, 2022, no. 1 (213), pp. 37–42.

3. Gropyanov A. V., Sitov N. N., Zhukova M. N. Poroshkovye materialy [Powder materials]. St. Petersburg, SHTE SPbGUPTD Publ., 2017. 74 p.

4. Seregin P. S., Besedovsky S. G. Metody polucheniya nikel'evogo poroshka [Methods of obtaining nickel powder]. *Zapiski Gornogo instituta = Notes of the Mining Institute*, 2005, pp. 154–156.

5. Wagner D. S. Poluchenie poroshka nikelya karbonil'nym sposobom [Obtaining nickel powder by carbonyl method]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: sbornik statei po itogam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Nauka. Technologies. Innovations. Collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference]. Ufa, Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy Publ., 2019, pp. 4–6.

6. Dzidziguri E. L., Kuznetsov D. V., Levina V. V., Sidorova E. N. Svoistva ul'tradispersnykh poroshkov metallov, poluchennykh khimicheskim dispergированием [Properties of ultrafine metal powders obtained by chemical dispersion]. *Perspektivnye materialy = Promising materials*, 2000, no. 6, pp. 87–92.

7. Ageev E. V., Ageeva E. V., Horyakova N. M. Elektrokorund: sposoby polucheniya [Electrocorundum: methods of obtaining]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022. 146 p.

8. Ageev E. V., Ageeva E. V., Horyakova N. M. Elektrokorund: primeneniye v promyshlennosti [Electrocorundum: application in industry]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022. 146 p.

9. Ageeva E. V., Horyakova N. M., Sysoev A. A. Elektroerozionnye poroshki stali marki 12Kh17, poluchennyye v kerosine [Electroerosive powders of steel grade 12X17, obtained in kerosene]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020. 166 p.

10. Ageeva E. V., Khoruakova N. M. Study of electrodeposited copper coatings obtained with the addition of electroerosion-copper nanoparticles [Study of electrodeposited copper coatings obtained with the addition of electroerosion-copper nanoparticles]. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques = Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2021, vol. 15, no. 5, pp. 999–1003.

11. Ageeva E. V., Ageev E. V., Horyakova N. M., Sabelnikov B. N. Bezvolframovye tverdye splavy na osnove elektroerozionnykh poroshkov karbonitrida titana [Tungsten-free hard alloys based on electroerosion powders of titanium carbonitride]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2021. 212 p.

12. Ageev E. V., Horyakova N. M. Pseudosplavy VNZh: poluchenie, primeneniye, pererabotka [Pseudo-alloys of residence permit: obtaining, application, processing]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020. 176 p.

13. Ageev E. V., Ageeva E. V., Horyakova N. M. Pseudosplavy VNZh na osnove elektroerozionnykh materialov [Pseudo-alloys of residence permit based on electroerosive materials]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2021. 240 p.

14. Ageev E. V., Ageeva E. V., Yemelyanov I. P., Horyakova N. M. Zharoprochnyye nikelovyye splavy ZhS6U: poluchenie, primeneniye, pererabotka [Heat-resistant nickel alloys ZhS6U: production, application, processing]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022. 235 p.

15. Horyakova N. M., Ageeva E. V., Sadova K. V. Fizicheskiye i khimicheskiye svoystva vtorichnoi poroshkovoi berilliovoi bronzy BrB2, poluchenoii elektroeroziei v vode [Physical and chemical properties of secondary powder beryllium bronze BrB2 obtained by electroerosion in water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 8–22.

16. Ageev E. V., Ageev E. V., Horyakova N. M. Investigation of the elemental composition of the WNF-95 sintered powder alloy obtained by the electroerosive dispersion of waste in a carbon-containing liquid. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 1001, no. 012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012016>

17. Ageev E. V., Horakova N. M., Pikalov S. V., Korolev M. S., Podanov V. O. Study of the fractional composition of electroerosive powder materials of the tungsten nickel iron alloy obtained in lighting kerosene. *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment: Mechanical Engineering and Materials Science (ICMTMTE 2020)*, 2020, vol. 329, pp. 02013.

18. Ageev E. V., Ageev E. V., Khoryakova N. M. X-Ray methods for studying the surface of powder obtained by electroerosion dispersion of the waste of W–Ni–Fe 95 pseudoalloy in kerosene. *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 2021, vol. 15, no. 4, pp. 723–727.

19. Ageeva E. V., Horyakova N. M., Latypova G. R. Opredeleniye optimal'nykh elektricheskikh parametrov ustanovki elektroerozionnogo dispergirovaniya dlya dispergirovaniya mednykh otkhodov v vode distillirovannoi postanovkoi faktornogo eksperimenta [Determination of optimal electrical parameters of an electroerosive dispersion unit for dispersing copper waste in distilled water by setting up a factor experiment]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, no. 6 (69), pp. 28–34.

20. Ageev E. V., Horyakova N. M., Malyukhov V. S. Poluchenie mednykh elektroerozionnykh nanoporoshkov iz otkhodov v srede kerosina [Obtaining copper electroerosive nanopowders from waste in kerosene]. *Perspektivnyye tekhnologii, oborudovaniye i analiticheskiye sistemy dlya materialovedeniya i nanomaterialov. Trudy XI Mezhdunarodnoi konferentsii* [Promising technologies, equipment and analytical systems for materials science and nanomaterials. Proceedings of the XI International Conference]; ed. by L. V. Kozhitov. Kursk, Southwest St. Univ. Publ., 2014, pp. 85–91.

21. Ageev E. V., Semenikhin B. A., Latypov R. A., Anikanov V. I. Ustanovka dlya polucheniya nano-dispersnykh poroshkov iz tokoprovodyashchikh materialov [Installation for the production of nanodisperse powders from conductive materials]. Patent RF, no. 2449859, 2012.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, доктор технических наук, доцент, доцент 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, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Associate 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

Хорьякова Наталья Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: natali030119891@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0980-1974

Natalia M. Horiakova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: natali030119891@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0980-1974

Агарков Никита Сергеевич, магистрант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: nikita72137@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2495-4373

Nikita S. Agarkov, Undergraduate of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: nikita72137@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2495-4373

Садова Кристина Викторовна, магистрант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: qwertyuiop87778172711@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3943-284X

Kristina V. Sadova, Undergraduate of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: qwertyuiop87778172711@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3943-284X