

УДК 621.762

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-4-8-17>



Получение и исследование никелевых порошков путем измельчения металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине

Е.В. Агеева¹✉, О.Г. Локтионова¹, Д.А. Улитин¹, А.Е. Агеева¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель. Получение и исследование никелевых порошков путем измельчения металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине.

Методы. Никелевый порошок из металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине авиационном марки ТС-1 получали при следующих электрических параметрах установки: ёмкость конденсаторов 44,0–45,5 мкФ; напряжение на электродах от 115–120 В; частота следования импульсов 60–65 Гц. Полученный никелевый порошок исследовали различными методами. Микроанализ частиц порошка проведен с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG. Анализ распределения по размерам частиц порошка получен с помощью анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoTec. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошка проведен с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG.

Результаты. На основании проведенных экспериментальных исследований разработан новый способ получения никелевого порошка, отличающийся тем, что порошок получен путем электроэрозионного диспергирования металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине авиационном марки ТС-1 при ёмкости конденсаторов 44,5 мкФ, напряжении на электродах 120 В и частоте следования импульсов 65 Гц, который обеспечивает при низких затратах электроэнергии получение пригодных к промышленному применению новых никелевых порошковых материалов. Экспериментально установлено, что форма частиц полученных никелевых порошков в основном сферическая и эллиптическая. На поверхности никелевых частиц присутствует углерод. В фазовом составе частиц отмечены фазы никеля α -модификации и никеля β -модификации.

Заключение. Проведенные исследования позволят подобрать наиболее рациональную область практического применения электроэрозионного никелевого порошка.

Ключевые слова: никелевые металлоотходы; электроэрозионное диспергирование; керосин; порошок; свойства.

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

Для цитирования: Получение и исследование никелевых порошков путем измельчения металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине / Е.В. Агеева, О.Г. Локтионова, Д.А. Улитин, А.Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2024. Т. 14, № 4. С. 8–17. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-4-8-17>

Поступила в редакцию 08.09.2024

Подписана в печать 18.10.2024

Опубликована 13.12.2024

Production and research of Nickel powders by grinding metal waste of Nickel grade PNK-0T1 in kerosene

Ekaterina V. Ageeva¹, Oksana G. Loktionova¹, Dmitry A. Ulitin¹, Anna E. Ageeva¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose. Production and research of nickel powders by grinding metal waste of nickel grade PNK-0T1 in kerosene.

Methods. Nickel powder from PNK-0T1 nickel metal waste in aviation kerosene of the TS-1 brand was obtained with the following electrical parameters of the installation: capacitance of capacitors 44.0–45.5 μF ; electrode voltage from 115–120 V; pulse repetition frequency 60–65 Hz. The resulting nickel powder was examined by various methods. Microanalysis of powder particles was carried out using a scanning electron microscope QUANTA 600 FEG. The analysis of the size distribution of powder particles was obtained using the particle size analyzer Analysette 22 NanoTec. The X-ray spectral microanalysis of the powder particles was carried out using an energy dispersive X-ray analyzer from the EDAX company, integrated into a scanning electron microscope QUANTA 600 FEG.

Results. Based on the conducted experimental studies, a new method for producing nickel powder has been developed, characterized in that the powder is obtained by electroerosive dispersion of nickel metal residues of the PNK-0T1 brand in aviation kerosene of the TS-1 brand with a capacitance of 44.5 μF capacitors, an electrode voltage of 120 V and a pulse frequency of 65 Hz, which provides, at low energy costs, the production of new nickel powder materials suitable for industrial use. It has been experimentally established that the shape of the particles of the obtained nickel powders is mainly spherical and elliptical. Carbon is present on the surface of nickel particles. The phases of α -modification nickel and β -modification nickel are marked in the phase composition of the particles.

Conclusion. The conducted research will make it possible to select the most rational field of practical application of the electroerosive nickel powder.

Keywords: nickel metal waste; electroerosive dispersion; kerosene; powder; properties.

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

For citation: Ageeva E.V., Loktionova, O.G., Ulitin D.A., Ageeva A.E. Production and research of Nickel powders by grinding metal waste of Nickel grade PNK-0T1 in kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2024;14(4):8–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2024-14-4-8-17>

Received 08.09.2024

Accepted 18.10.2024

Published 13.12.2024

Введение

В настоящее время большой научный и практический интерес вызывают разработки в области получения дисперсных никелевых порошков [1] и функциональных материалов на их основе [2]. Данные

материалы применяются во многих областях промышленности [3]. При этом особый интерес представляют технологии рециклинга вторичных ресурсов, обеспечивающих возвращение ценных компонен-

тов в технологическую цепочку [4] и получение новой продукции [5], содержащей дорогостоящий никель [6].

Одним из эффективных и перспективных направлений в технологии переработки металлических отходов [7] является способ электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [8]. Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала [9] в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами [10]. В зоне разряда под действием высоких температур происходит нагрев, расплавление и частичное испарение металла [11].

Целью исследования являлось получение и исследование никелевых порошков путем измельчения металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине.

Материалы и методы

Никелевый порошок [12] из металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине

сине авиационном марки ТС-1 получали в следующей последовательности.

На первом этапе производили сортировку из металлоотходов никеля [13] марки ПНК-0Т1, их промывку, сушку, обезжиривание и взвешивание. Реактор заполняли рабочей средой – керосином авиационным марки ТС-1, отходы загружали в реактор. Монтировали электроды из тех же отходов никеля марки ПНК-0Т1 [14]. Смонтированные электроды подключали к генератору импульсов. Устанавливали необходимые параметры процесса: частоту следования импульсов, напряжение на электродах, емкость конденсаторов.

На втором этапе – этапе электроэрозионного диспергирования металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 [15] включали установку. Процесс ЭЭД металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 представлен на рисунке 1.

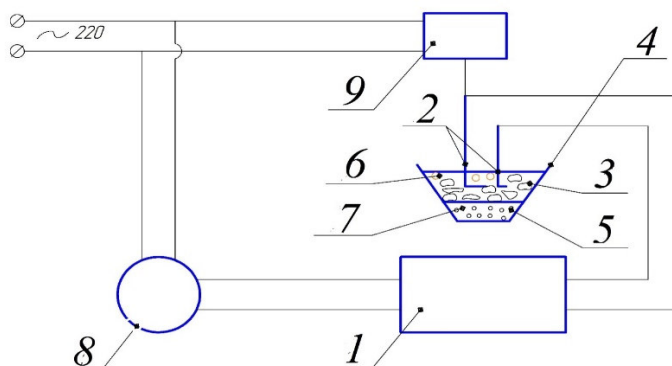


Рис. 1. Процесс ЭЭД металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1

Fig. 1. The process of EED of metal waste of nickel grade PNK-0T1

Импульсное напряжение генератора 1 прикладывается к электродам 2 и далее к металлоотходам 3 (в качестве электродов также служили металлоотходы никеля марки ПНК-0Т1 [16]) в реакторе 4. При достижении напряжения определённой величины происходит электрический пробой рабочей среды 5, находящейся в межэлектродном пространстве, с образованием канала разряда. Благодаря высокой

концентрации тепловой энергии материал в точке разряда плавится и испаряется, рабочая среда испаряется и окружает канал разряда газообразными продуктами распада (газовым пузырьком 6). На стадии электрического разряда происходит разложение рабочей жидкости, и продукты ее пиролиза вступают в химическое взаимодействие с продуктами электроэрозионного

диспергирования. В результате развивающихся в канале разряда и газовом пузыре значительных динамических сил капли расплавленного материала выбрасываются за пределы зоны разряда в рабочую среду, окружающую электроды, и застывают в ней, образуя каплеобразные частицы порошка 7. Регулятор напряжения 8 предназначен для установки необходимых значений напряжения, а встряхиватель 9 передвигает один электрод, что обеспечивает непрерывное протекание процесса ЭЭД. При ЭЭД использовали следующие электрические параметры установки:

- ёмкость конденсаторов 44,0–45,5 мкФ;
- напряжение на электродах от 115–120 В;
- частота следования импульсов 60–65 Гц.

На третьем этапе проводится выгрузка рабочей жидкости с порошком, полученным из отходов никеля марки ПНК-0Т1 [17], из реактора.

На четвертом этапе происходит выпаривание раствора, его сушка, взвешивание, фасовка, упаковка. Затем порошок, полученный из отходов никеля марки ПНК-0Т1 [18], подвергали спеканию.

Порошок, полученный из отходов никеля марки ПНК-0Т1 [19], исследовали различными методами. Микроанализ частиц порошка проведен с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG. Анализ распределения по размерам частиц порошка получен с помощью анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес. Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошка проведен с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG.

Анализ фазового состава частиц порошка проведен с помощью рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV.

Результаты и их обсуждение

Микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью растрового электронного микроскопа QUANTA 600 FEG, показал, что порошок, полученный методом ЭЭД из отходов никеля марки ПНК-0Т1 [20], состоит в основном из частиц правильной сферической, эллиптической формы и агломератов (рис. 2).

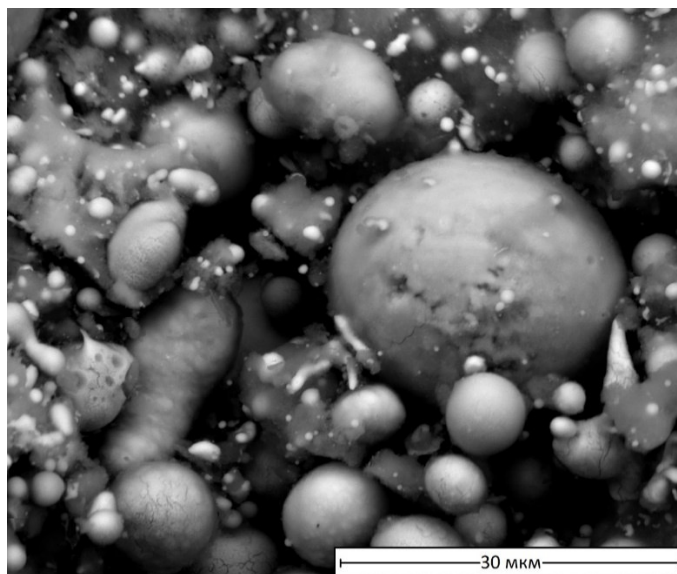


Рис. 2. Микрофотография частиц порошка

Fig. 2. Micrography of powder particles

Анализ распределения по размерам частиц порошка, полученного с помощью анализатора размеров частиц Analysette 22 NanoТес, показал, что частицы порошка

имеют размеры от 0,37 мкм до 19,18 мкм со средним объемным диаметром 5,2 мкм (рис. 3).

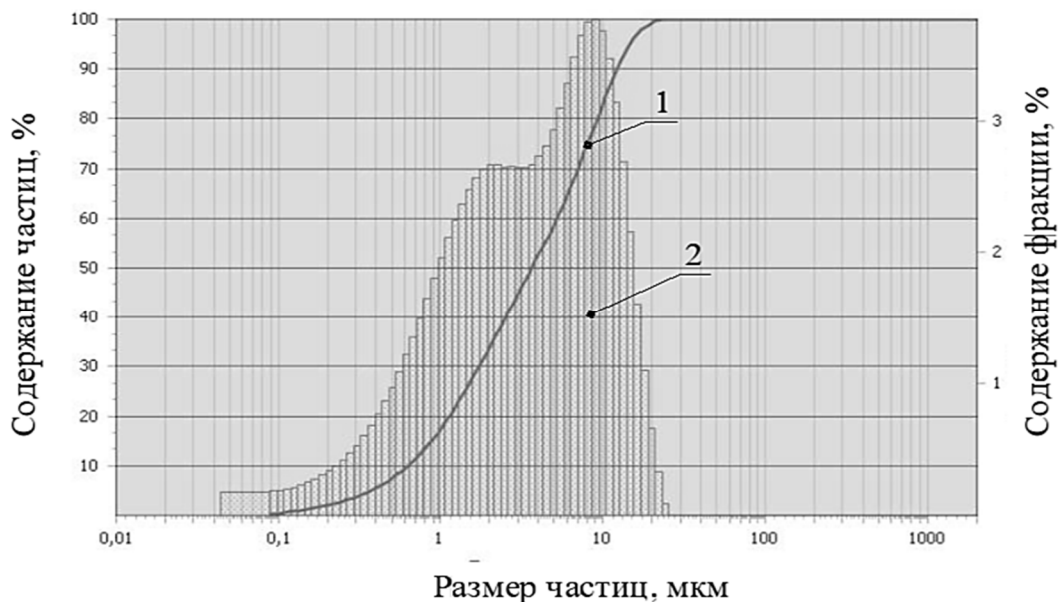


Рис. 3. Интегральная кривая (1) и гистограмма (2) распределения по размерам частиц порошка

Fig. 3. Integral curve (1) and histogram (2) of the size distribution of powder particles

Рентгеноспектральный микроанализ частиц порошка, проведенный с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный

микроскоп QUANTA 600 FEG, показал, что на поверхности частиц порошка, полученного методом ЭЭД из отходов никеля марки ПНК-0Т1, присутствует углерод (рис. 4).

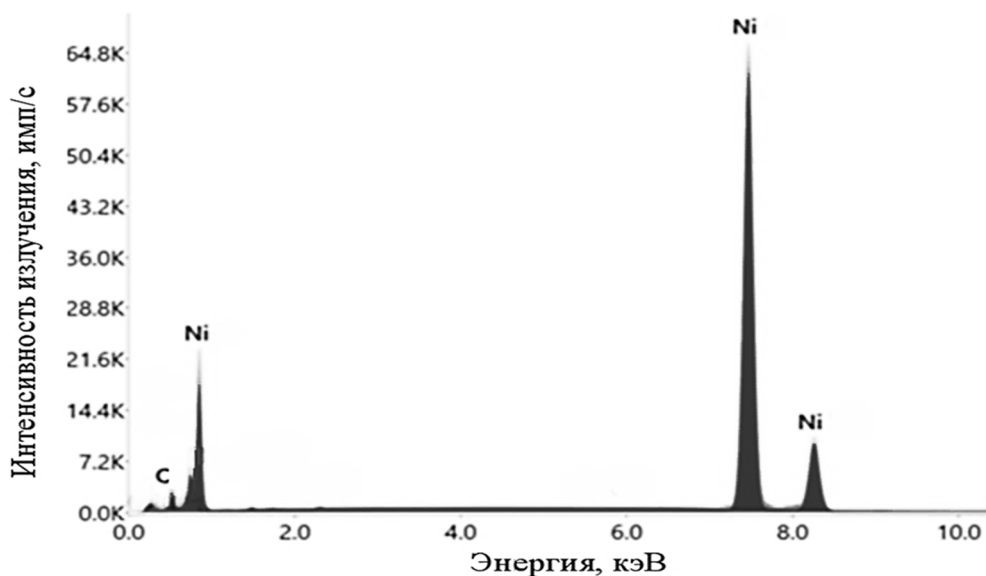


Рис. 4. Спектрограмма элементного состава частиц порошка

Fig. 4. Spectrogram of the elemental composition of powder particles

Анализ фазового состава частиц порошка, проведенный с помощью рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV, показал, что наличие в рабочей жидкости углерода приводит к

образованию никеля α -модификации, имеющую гексагональную плотно упакованную решетку упаковки и никеля β -модификации, имеющей гранецентрированную кубическую решетку (рис. 5).

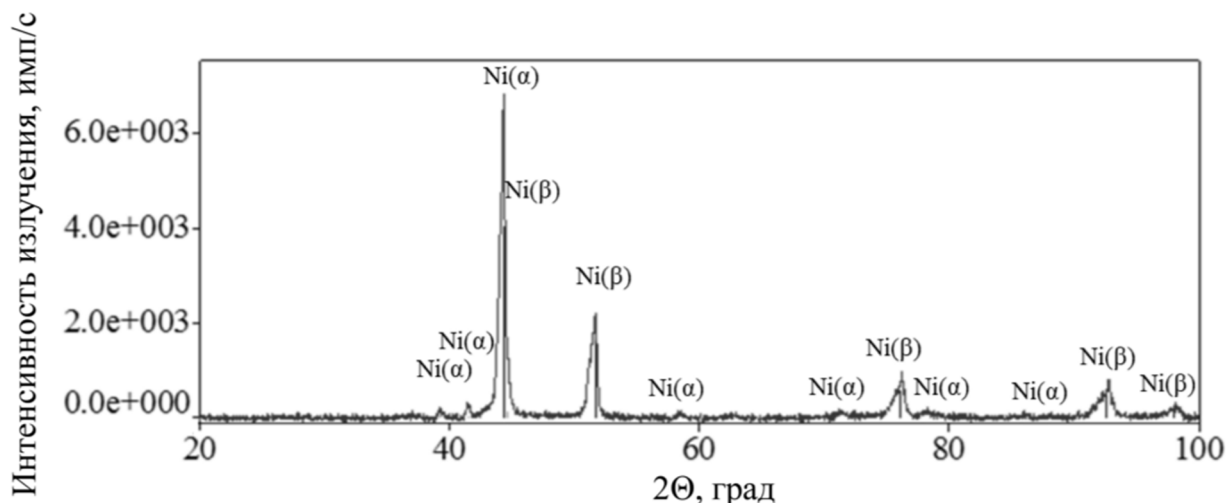


Рис. 5. Дифрактограмма фазового состава частиц порошка

Fig. 5. Diffractogram of the phase composition of the powder particles

Проведенные исследования показали, что способ электроэрозионного диспергирования металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине авиационном марки ТС-1 позволяет получить мелкодисперсный порошок никеля, пригодный для промышленного применения.

Выводы

1. На основании проведенных экспериментальных исследований разработан новый способ получения никелевого порошка, отличающийся тем, что порошок получен путем электроэрозионного диспергирования металлоотходов никеля марки ПНК-0Т1 в керосине авиационном марки ТС-1 при ёмкости конденсаторов

44,5 мкФ, напряжении на электродах 120 В и частоте следования импульсов 65 Гц, который обеспечивает при низких затратах электроэнергии получение пригодных к промышленному применению новых никелевых порошковых материалов.

2. Экспериментально установлено, что форма частиц полученных никелевых порошков в основном сферическая и эллиптическая. На поверхности никелевых частиц присутствует углерод. В фазовом составе частиц отмечены фазы никеля α -модификации и β -модификации.

3. Проведенные исследования позволяют подобрать наиболее рациональную область практического применения электроэрозионного никелевого порошка.

Список литературы

1. Влияние параметров импульсных режимов поляризации на гранулометрический состав порошков никеля / М.С. Липкин, С.М. Липкин, И.С. Гуляев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2022. № 1(213). С. 37–42. <https://doi.org/10.17213/1560-3644-2022-1-37-42>, EDN ROLVVS

2. Жиров Д.К. Исследование влияния времени механоактивации в центробежной мельнице на характеристики порошков оксида никеля // Химическая физика и мезоскопия. 2021. Т. 23, № 3. С. 346–352. <https://doi.org/10.15350/17270529.2021.3.31>, EDN RAMIEB
3. Каталитические свойства ультрадисперсного порошка никеля при гидрогенизации антрацена и фенантрена / С.В. Ким, К.С. Ибишев, М.И. Байкенов [и др.] // Химия твердого топлива. 2022. № 1. С. 36–42. <https://doi.org/10.31857/S0023117722010029>, EDN OCSKBS
4. Получение высоколегированного никелем слоя на поверхности низкоуглеродистой стали с использованием монометаллических порошков и лазерной обработки / Д.А. Герашенков, Р.Ю. Быстров, П.А. Кузнецов [и др.] // Вопросы материаловедения. 2021. № 4(108). С. 138–148. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-108-4-138-148>, EDN JDOXUJ
5. Ростиллов Т.А., Зиборов В.С., Долгобородов А.Ю. Экспериментальное исследование структуры ударных волн в прессованном порошке из наночастиц никеля // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-математика. 2021. № 4. С. 66–74. <https://doi.org/10.18384/2310-7251-2021-4-66-74>, EDN BPGSNM
6. Жаров М.В. Анализ технологических процессов производства сферических порошков и гранул моно-алюминиды никеля NiAl для нужд отечественного двигателестроения // Вопросы материаловедения. 2022. № 3(111). С. 29–40. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2022-111-3-29-40>, EDN ZIDKOA
7. Получение металлических порошков никеля и кобальта в автоклавных условиях / Н.В. Белоусова, О.В. Белоусов, Р.В. Борисов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2023. Т. 29, № 5. С. 15–24. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2023-5-15-24>, EDN SVGIDG
8. Агеева Е.В., Бобков Е.А. Свойства никель-хромового сплава X20H80, спеченного из электроэрозионных порошков, полученных в керосине // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18, № 4(208). С. 176–179. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-4-176-179>, EDN YYVWOW
9. Состав, структура и свойства антифрикционных сплавов на основе шихты, полученной электродиспергированием отходов бронзы БрО5С25 в керосине / Е.В. Агеев, А.С. Переверзев, В.М. Емельянов, В.В. Серебровский // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 8–19. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-8-19>, EDN FBNACA
10. Исследование влияния среды диспергирования на свойства жаропрочных порошков, полученных из отходов сплава ЖСУ6 / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, В.О. Поданов, А.Е. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 39–56. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-39-56>, EDN FBYCWF
11. Агеева Е.В., Агеев Е.В., Селютин В.Л. Фазовый состав электроэрозионных материалов, полученных из отходов сплава ВНЖ в воде дистиллированной // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2020. Т. 10, № 1. С. 30–42. EDN AWVJOL
12. Получение дисперсных порошков никеля при электрохимической переработке рений-содержащего жаропрочного сплава / О.В. Чернышова, Г.А. Усольцева, Е.Г. Байконуров, Д.В. Дробот // Тонкие химические технологии. 2018. Т. 13, № 6. С. 69–78. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2018-13-6-69-78>, EDN YZCVSX
13. Нгуен В.М., Нгуен Т.Х. Исследование процесса получения наноразмерного порошка никеля водородным восстановлением в неизотермических условиях // Металлург. 2021. № 2. С. 69–74. EDN DDJAHW
14. Влияние режимов нагрева компактированных образцов из порошков никеля с частицами наноразмера на их взаимодействие с воздухом / М.И. Алымов, Б.С. Сеплярский, С.Г. Вадченко [и др.] // Химическая физика. 2021. Т. 40, № 4. С. 85–90. <https://doi.org/10.31857/S0207401X21040026>, EDN VXRXWB

15. Автоклавный синтез высокодисперсных порошков никеля / О.В. Белоусов, Р.В. Борисов, Н.В. Белоусова [и др.] // Журнал неорганической химии. 2021. Т. 66, № 10. С. 1380–1386. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21100032>, EDN EDBCZG
16. Разработка технологии получения активных никелевых порошков методом твердофазного восстановления оксида никеля полуантрацитом / О.В. Большакова, И.А. Белоголовкин, Е.В. Салимжанова, А.Н. Масловский // Цветные металлы. 2015. № 6(870). С. 39–43. <https://doi.org/10.17580/tsm.2015.06.08>, EDN UGWSZD
17. Получение наноразмерного порошка никеля при совмещении электролиза на постоянном токе с высоковольтным искровым разрядом / К.С. Ибишев, В.П. Малышев, С.В. Ким [и др.] // Химия высоких энергий. 2017. Т. 51, № 3. С. 234–238. <https://doi.org/10.7868/S0023119317030068>, EDN YRYDGZ
18. Баграмян М., Хусейн Неджад С. Аттестация порошков наноструктурированного никеля по уширению его рентгеновских дифракционных пиков // Физика металлов и металловедение. 2017. Т. 118, № 9. С. 883–890. <https://doi.org/10.7868/S0015323017090029>, EDN ZFUPJP
19. Образцова Е.Ю., Килимник А.Б., Рухов А.В. Исследование закономерностей формирования и физико-химических свойств порошков оксида никеля, синтезированных методом электрохимического диспергирования никеля // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23, № 1. С. 104–110. <https://doi.org/10.17277/vestnik.2017.01.pp.104-110>, EDN YGSIGR
20. Иващенко Г. Э. Получение порошков никеля с нанометровым размером частиц // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 2(58). С. 50–53. EDN VOHKVV

References

1. Lipkin M.S., Lipkin S.M., Gulyaev I.S., et al. The influence of parameters of pulsed polarization modes on the granulometric composition of nickel powders. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki = Izvestya of Higher educational institutions. The North Caucasian region. Technical sciences.* 2022;(1):37–42. <https://doi.org/10.17213/1560-3644-2022-1-37-42>, EDN ROLVVS
2. Zhirov D.K. Investigation of the effect of mechanical activation time in a centrifugal mill on the characteristics of Nickel oxide powders. *Khimicheskaya fizika i mezoskopiya = Chemical Physics and mesoscopy.* 2021;23(3):346–352. <https://doi.org/10.15350/17270529.2021.3.31>, EDN RAMIEB
3. Kim S.V., Ibishev K.S., Baykenov M.I., et al. Catalytic properties of ultrafine Nickel powder during hydrogenation of anthracene and phenanthrene. *Khimiya tverdogo topliva = Chemistry of solid fuels.* 2022;(1):36–42. <https://doi.org/10.31857/S0023117722010029>, EDN OCSKBS
4. Gerashchenkov D.A., Bystrov R.Yu., Kuznetsov P.A., et al. Obtaining a high-nickel-alloyed layer on the surface of low-carbon steel using monometallic powders and la-grain processing. *Voprosy materialovedeniya = Questions of materials science.* 2021;(4):138–148. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2021-108-4-138-148>, EDN JDOXUJ
5. Rostilov T.A., Ziborov V.S., Dolgoborodov A.Yu. Experimental study of the structure of shock waves in a pressed powder of nickel nanoparticles. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Fizika-matematika = Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Physics-Mathematics.* 2021;(4):66–74. <https://doi.org/10.18384/2310-7251-2021-4-66-74>, EDN BPGSNM
6. Zharov M.V. Analysis of technological processes for the production of spherical powders and granules of Nickel monoluminide NiAl for the needs of domestic engine building. *Voprosy materialovedeniya = Issues of materials science.* 2022;(3):29–40. <https://doi.org/10.22349/1994-6716-2022-111-3-29-40>, EDN ZIDKOA

7. Belousova N.V., Belousov O.V., Borisov R.V., et al. Obtaining metal powders of Nickel and Cobalt in autoclave conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya = Publications of higher educational institutions. Non-ferrous metallurgy*. 2023;29(5):15–24. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2023-5-15-24>, EDN SVGIDG
8. Ageeva E.V., Bobkov E.A. Properties of Nickel-Chromium alloy X20H80 sintered from electroerosive powders obtained in kerosene. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya = Hardening technologies and coatings*. 2022;18(4):176–179. <https://doi.org/10.36652/1813-1336-2022-18-4-176-179>, EDN YYVWOW
9. Ageev E.V., Pereverzev A.S., Yemelyanov V.M., Serebrovskiy V.V. Composition, structure and properties of antifriction alloys based on a charge obtained by electrodispersing bronze waste BrO5C25 in kerosene. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023;13(2):8–19. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-8-19>, EDN FBNACA
10. Ageev E.V., Serebrovsky V.I., Podanov V.O., Ageeva A.E. Investigation of the effect of the dispersion medium on the properties of heat-resistant powders obtained from waste alloy ZHSU6. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2022;12(3):39–56. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-39-56>, EDN FBVCWF
11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Selyutin V.L. Phase composition of electroerosive materials obtained from waste alloy of residence permit in distilled water. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2020;10(1):30–42. EDN AWWJOL
12. Chernyshova O.V., Usoltseva G.A., Baikonurov E.G., Drobot D.V. Obtaining dispersed Nickel powders during electrochemical processing of a rhenium-containing heat-resistant alloy. *Tonkie khimicheskie tekhnologii = Fine chemical technologies*. 2018;13(6):69–78. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2018-13-6-69-78>, EDN YZCVSX
13. Nguyen V.M., Nguyen T.H. Investigation of the process of obtaining nanoscale Nickel powder by hydrogen reduction under non-isothermal conditions. *Metallurg = Metallurg*. 2021;(2):69–74. EDN DDJAHW
14. Alymov M.I., Seplyarsky B.S., Vadchenko S.G., et al. The influence of heating modes of compacted Nickel powder samples with nanoscale particles on their interaction with air. *Khimicheskaya fizika = Chemical Physics*. 2021;40(4):85–90. <https://doi.org/10.31857/S0207401X21040026>, EDN VXRWB
15. Belousov O.V., Borisov R.V., Belousova N.V., et al. Autoclave synthesis of highly dispersed Nickel powders. *Zhurnal neorganicheskoi khimii = Journal of Inorganic Chemistry*. 2021;66(10):1380–1386. <https://doi.org/10.31857/S0044457X21100032>, EDN EDBCZG
16. Bolshakova O.V., Belogolovkin I.A., Salimzhanova E.V., Maslovsky A.N. Development of technology for the production of active Nickel powders by the method of solid-phase reduction of Nickel oxide with semi-anthracite. *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. 2015;(6):39–43. <https://doi.org/10.17580/tsm.2015.06.08>, EDN UGWSZD
17. Ibishev K.S., Malyshev V.P., S.V. Kim, et al. Obtaining a nanoscale Nickel powder by combining direct current electrolysis with a high-voltage spark discharge. *Khimiya vysokikh energii = Chemistry of high energies*. 2017;51(3):234–238. <https://doi.org/10.7868/S0023119317030068>, EDN YRYDGZ
18. Baghrmian M., Hussein Nejad S. Certification of nanostructured Nickel powders by broadening its X-ray diffraction peaks. *Fizika metallov i metallovedenie = Physics of metals and Metallography*. 2017;118(9):883–890. <https://doi.org/10.7868/S0015323017090029>, EDN ZFUPJP
19. Obratsova E.Yu., Kilimnik A.B., Rukhov A.V. Investigation of the regularities of formation and physico-chemical properties of Nickel oxide powders synthesized by the method of electrochemical dispersion of Nickel. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta =*

Bulletin of the Tambov State Technical University. 2017;23(1):104–110. <https://doi.org/10.17277/vestnik.2017.01.pp.104-110>, EDN YGSIGR

20. Ivashchenko G.E. Obtaining Nickel powders with a nanometer particle size. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii = Modern scientific research and innovations*. 2016;(2):50–53. EDN VOHKVV

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, SPIN-код: 2561-0708

Ekaterina V. Ageeva, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8457-6565, SPIN-код: 2561-0708

Локтионова Оксана Геннадьевна, доктор технических наук, профессор, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: log7.9@mail.ru

Oksana G. Loktionova, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: log7.9@mail.ru

Улитин Дмитрий Алексеевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ulitdmtr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033

Dmitry A. Ulitin, Post-Graduate Student of the Department of Technology of Materials and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ulitdmtr@gmail.com, SPIN-код: 6575-1033

Агеева Анна Евгеньевна, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804

Anna E. Ageeva, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageevaanna2004@yandex.ru, SPIN-код: 6687-3804