

Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием высокохромистой стали в керосине

Е. В. Агеева ¹ ✉, Е. В. Агеев ¹, А. А. Сысоев ¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Целью работы являлась оценка размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали в керосине осветительном.

Методы. При постановке экспериментов для электроэрозионного диспергирования были выбраны отходы высокохромистой коррозионностойкой стали X17. Оборудование для диспергирования – экспериментальная установка (Патент РФ №2449859). В качестве рабочей жидкости применялся керосин осветительный. С целью стабилизации процесса режимы диспергирования подобраны экспериментальным опытным путем и были следующими: напряжение 100 В; частота следования импульсов 120 Гц; емкость 48 мкФ. Гранулометрический состав порошков исследовали на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoТес».

Результаты. На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на изучение гранулометрического состава электроэрозионных порошков, полученных из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном на экспериментальной установке (Патент РФ №2449859) при частоте следования импульсов 120 Гц, напряжении 100 В и емкости разрядных конденсаторов 48 мкФ, установлено, что средний размер частиц составляет 28,66 мкм и 95% от общего объема частиц в порошке имеют размер меньший или равный 57,36 мкм.

Заключение. Проведенные исследования позволят посредством применения прогрессивной, экологически чистой, малотоннажной и безотходной технологии электроэрозионного диспергирования получать новые порошковые материалы из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном с гарантированным гранулометрическим составом.

Ключевые слова: отходы высокохромистой стали; электроэрозионное диспергирование; порошок; гранулометрический состав.

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

© Агеева Е. В., Агеев Е. В., Сысоев А. А., 2020

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90053.

Для цитирования: Агеева Е. В., Агеев Е. В., Сысоев А. А. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием высокохромистой стали в керосине // Известия Юго-Западного государственного университета. 2020; 24(2): 8-16. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-8-16>.

Поступила в редакцию 29.01.2020

Подписана в печать 17.02.2020

Опубликована 20.04.2020

Dimensional Analysis of Powders Obtained by Electroerosive Dispersion of High-Chromium Steel in Kerosene

Ekaterina V. Ageeva¹ ✉, Evgeny V. Ageev¹, Arthur A. Sysoev¹

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

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose of research was to evaluate the dimensional characteristics of powders obtained by electrodispersion of high-chromium corrosion-resistant steel in lighting kerosene.

Methods. When setting up experiments for electroerosive dispersion, wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 were selected. Dispersing equipment - experimental setup (RF Patent No. 2449859). Lighting kerosene was used as a working fluid. In order to stabilize the process, the dispersion modes were selected experimentally and were as follows: voltage 100 V; pulse repetition rate 120 Hz; capacity 48 μ F. The granulometric composition of the powders was studied using a laser particle size analyzer "Analysette 22 NanoTec".

Results. It has been found that the average particle size is 28.66 μ m and 95% of the total volume of particles in the powder have a size less than or equal to 57.36 μ m. ,based on the conducted experimental studies aimed at studying the particle size distribution of electroerosive powders obtained from wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 in lighting kerosene on an experimental setup (RF Patent No. 2449859) at a pulse repetition rate of 120 Hz, a voltage of 100 V and the capacity of the discharge capacitors is 48 μ F.

Conclusion. The conducted research will allow us to obtain new powder materials from wastes of high-chromium corrosion-resistant steel X17 in lighting kerosene with a guaranteed particle size distribution, through the use of progressive, environmentally friendly, low-tonnage and waste-free technology of electroerosive dispersion.

Keywords: high-chromium steel waste; electroerosive dispersion; powder; granulometric composition.

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

Funding: The research was carried out with the financial support of the RFBR in the framework of scientific project No. 19-33-90053.

For citation: Ageeva E. V., Ageev E. V., Sysoev A. A. Dimensional Analysis of Powders Obtained by Electroerosive Dispersion of High-Chromium Steel in Kerosene // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2020, 24(2): 8-16 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2020-24-2-8-16>.

Received 29.01.2020

Accepted 17.02.2020

Published 20.04.2020

Введение

Высокохромистые коррозионностойкие стали эффективно используются во многих областях промышленности. В настоящее время одной из основных проблем применения этих сталей является наличие в них значительного количества дорогостоящего хрома [1-6]. Данный недостаток может быть решен повторным их использованием после измельчения отходов. Существующие способы измельчения подобных сплавов являются экологически грязными, энергоемкими и крупнотоннажными. Одним из перспективных и промышленно неприменяемых способов измельчения любого электропроводного материала является электродиспергирование [7-12].

Для разработки технологий повторного использования порошков, полученных электродиспергированием коррозионностойкой стали и оценки возможности их использования в промышленности требуется выполнение экспериментальных исследований.

Целью работы являлась оценка размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали в керосине осветительном.

Материалы и методы

При постановке экспериментов для электроэрозийного диспергирования были выбраны отходы высокохромистой

коррозионностойкой стали X17. Оборудование для диспергирования – экспериментальная установка (Патент РФ №2449859). В качестве рабочей жидкости применялся керосин осветительный. С целью стабилизации процесса режимы диспергирования подобраны экспериментальным опытным путем и были следующими: напряжение 100 В; частота следования импульсов 120 Гц; емкость 48 мкФ.

Размерные характеристики порошков исследовали на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoTec» (рис. 1).



Рис. 1. Лазерный дифракционный анализатор размера частиц Analysette 22 NanoTec

Fig. 1. Laser diffraction particle size analyzer Analysette 22 Nano

На рис. 2 представлена блок-схема исследования размерных характеристик порошков.

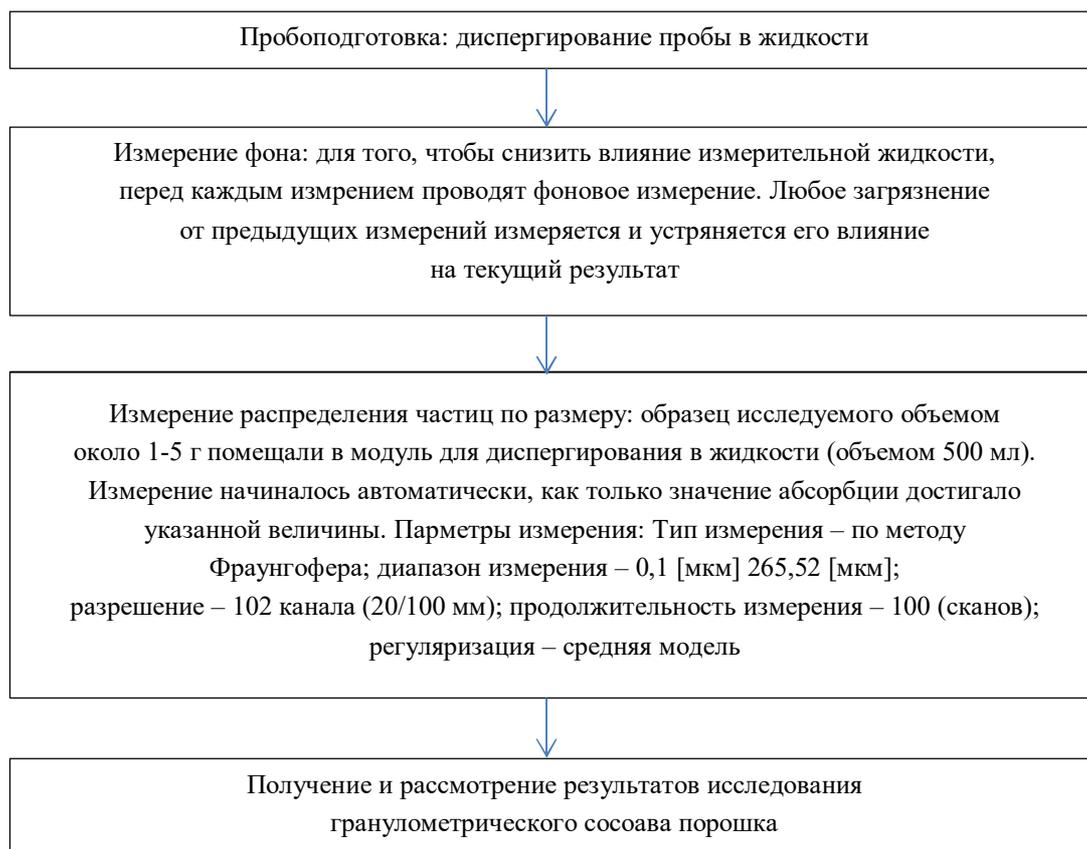


Рис. 2. Блок-схема исследования размерных характеристик порошков на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц Analysette 22 NanoTec

Fig. 2. Block diagram for studying the size characteristics of powders using the Analysette 22 NanoTec laser diffraction particle size analyzer

Результаты и их обсуждение

Результаты исследования размерных характеристик порошков, полученных электродиспергированием высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном, представлены на рис. 3 и в табл. 1.

На рис. 3 представлены интегральная кривая и гистограмма: каждая точка на интегральной кривой $Q3(x)=f(\mu\text{м})$ показывает, сколько процентов частиц имеет размер меньше или равный данному; каждая точка на гистограмме

$q3(x)=f(\mu\text{м})$ показывает количество частиц в процентах с данным размером.

В табл. 1 приведены результаты исследования распределения по размерам микрочастиц.

D50 (50% of particles) – 26,99 мкм, то есть частиц, размером меньше или равно 26,99 мкм в порошке содержится 50,0% от общего объема.

При помощи лазерного дифракционного анализатора размера частиц Analysette 22 NanoTec установлено, что средний составляет 28,66 мкм, арифметическое значение – 28,655 мкм.

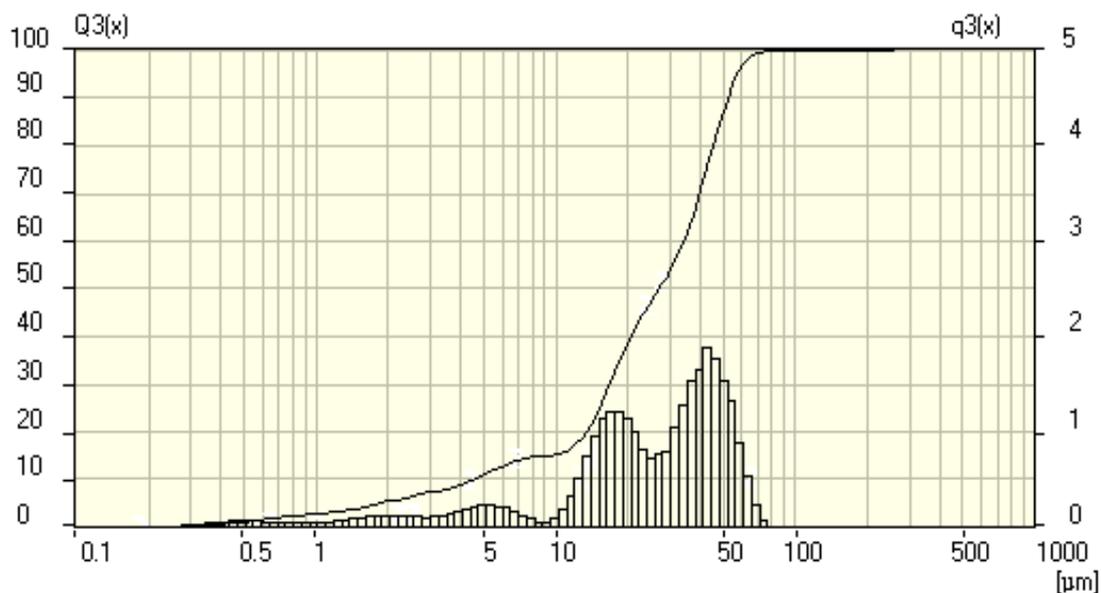


Рис. 3. Распределение по размерам микрочастиц порошка

Fig. 3. Size distribution of powder microparticles

Таблица 1. Результаты исследования размера частиц

Table 1. Results of the particle size study

Параметр	Значение, мкм
D10 (10% of particles)	4,56
D20 (20% of particles)	13,51
D30 (30% of particles)	16,93
D40 (40% of particles)	20,52
D50 (50% of particles)	26,99
D60 (60% of particles)	34,31
D70 (70% of particles)	39,96
D80 (80% of particles)	45,41
D90 (90% of particles)	52,23
D95 (95% of particles)	57,36
d[4,3] Объемный средний диаметр	28,66
d[3,2] Средний диаметр по площади поверхности	7,86
d[3,0] Средний диаметр по отношению к объему	1,047
d[2,0] Средний диаметр по отношению к площади	0,64
d[1,0] Средний диаметр по отношению к длине	0,45

Выводы

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на изучение гранулометрического состава электроэрозионных порошков, полученных из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном на экспериментальной установке (Патент РФ №2449859) при частоте следования импульсов 120 Гц, напряжении 100 В и емкости разрядных конденсаторов 48 мкФ, установлено, что средний размер частиц

составляет 28,66 мкм и 95% от общего объема частиц в порошке имеют размер меньше или равный 57,36 мкм.

Проведенные исследования позволяют посредством применения прогрессивной, экологически чистой, малотоннажной и безотходной технологии электроэрозионного диспергирования получать новые порошковые материалы из отходов высокохромистой коррозионностойкой стали X17 в керосине осветительном с гарантированным гранулометрическим составом.

Список литературы

1. Попов В.С., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. Исследование влияния режимов термической обработки на свойства высокохромистых сталей для энергетических установок // Заготовительные производства в машиностроении. 2008. № 3. С. 41-47.
2. Гладштейн В.И., Пчелинцев А.В. Исследование жаропрочности и трещиностойкости металла корпуса стопорного клапана из высокохромистой стали 15X11МФБЛ после длительной эксплуатации // Электрические станции. 2005. № 10. С. 78-80.
3. Людвиницкий С.С. Предупреждение образования трещин на деталях паровых турбин из высокохромистых сталей при ручной аргодуговой сварке // Энергетик. 2007. № 2. С. 22-23.
4. Матюшева Е.Л., Теплухина И.В. Разработка паротурбинных высокохромистых сталей нового поколения с повышенной стабильностью характеристик длительной прочности // Вопросы материаловедения. 2010. № 3 (63). С. 5-15
5. Фазовые превращения в коррозионно-стойкой высокохромистой азотсодержащей стали / М.В. Костина, С.О. Мурадян, М.С. Хадыев, А.А. Корнеев // Металлы. 2011. № 5. С. 33.
6. Атрошенко С.А., Королев И.А. Оценка качества высокохромистых инструментальных сталей // Научное обозрение. 2012. № 1. С. 63-70.
7. Размерный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием сплава ВНЖ / Е.В. Агеева, В.Л. Селютин, Г.Р. Латыпова, А.С. Осьмина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 8. № 2 (27). С. 20-31.

8. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием сплава ВНЖ / Е.В. Агеева, В.Л. Селютин, А.А. Горохов, В.В. Куц // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2017. № 3 (24). С. 60-68.

9. Фазовый состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием сплава ВК8 в бутиловом спирте / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, Е.В. Агеев, А.А. Горохов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 20-25.

10. Ageev E.V., Latypov R.A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2014. Т. 55. No. 6. С. 577-580.

11. 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.

12. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes / R.A. Latypov, G.R. Latypova, E.V. Ageev, A.Y. Altukhov, E.V. Ageeva // Russian metallurgy (Metally). 2018. Т. 2018. № 6. С. 573-575.

References

1. Popov V. S., Skorobogatykh V. N., Schenkova I. A. Issledovanie vliyaniya rezhimov termicheskoi obrabotki na svoistva vysokokhromistykh stali dlya energeticheskikh ustanovok [Investigation of the influence of heat treatment regimes on the properties of high-chromium steels for power plants]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii = Blanking Productions in Mechanical Engineering*, 2008, no. 3, pp. 41-47 (In Russ.).

2. Gladstein V. I., Pchelintsev A.V. Issledovanie zharoprochnosti i treshchinostoikosti metalla korpusa stopornogo klapana iz vysokokhromistoi stali 15Kh11MFBL posle dlitel'noi ekspluatatsii [Study of heat resistance and crack resistance of the metal body of the stop valve made of high-chromium steel 15X11MFBL after long-term operation]. *Elektricheskie stantsii = Electric stations*, 2005, no. 10, pp. 78-80 (In Russ.).

3. Ludvinitzky S. S. Preduprezhdenie obrazovaniya treshchin na detalyakh parovykh turbin iz vysokokhromistykh stali pri ruchnoi argonodugovoi svarke [Prevention of crack formation on details of steam turbines made of high-chromium steels during manual argon-arc welding]. *Energetik = Energetick*, 2007, no. 2, pp. 22-23 (In Russ.).

4. Matyusheva E. L., Teplukhina I. V. Razrabotka paroturbinykh vysokokhromistykh stali novogo pokoleniya s povyshennoi stabil'nost'yu kharakteristik dlitel'noi prochnos-

ti [Development of steam turbine high-chromium steels of a new generation with increased stability of long-term strength characteristics]. *Voprosy materialovedeniya = Questions of materials science*, 2010, no. 3 (63), pp. 5-15 (In Russ.).

5. Kostina M. V., Muradyan S. O., Khadiev M. S., Korneev A. A. Fazovye prevrashcheniya v korrozionno-stoikoi vysokokhromistoi azotsoderzhashchei stali [Phase transformations in corrosion-resistant high-chromium nitrogen-containing steel]. *Metally = Metals*, 2011, no. 5, pp. 33 (In Russ.).

6. Atroshenko S. A., Korolev I. A. Otsenka kachestva vysokokhromistyykh instrumental'nykh staley [Evaluation of the quality of high-chromium tool steels]. *Nauchnoe obozrenie = Scientific Review*, 2012, no. 1, pp. 63-70 (In Russ.).

7. Ageev E. V., Selyutin V. L., Latypova G. R., Osminina A. S. Razmernyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem splava VNZh [Dimensional analysis of the powders produced by electroerosion dispersion of alloy residence permit]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 20-31 (In Russ.).

8. Ageeva E. V., Selyutin V. L., Gorokhov A. A., Kuts V. V. Rentgenostrukturnyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem splava VNZh [X-ray Diffraction analysis of powders obtained by electroerosive dispersion of the alloy VNZH]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2017, no. 3 (24), pp. 60-68 (In Russ.).

9. Ageeva E. V., Altukhov A. Yu., Gulidin S. S., Ageev E. V., Gorokhov A. A. Fazovyi sostav chastits poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava vk8 v butilovom spirte [Phase composition of powder particles obtained by electroerosive dispersion of VK8 alloy in butyl alcohol]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25 (In Russ.).

10. Ageev E. V., Latypov R. A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2014, vol. 55, no. 6, pp. 577-580.

11. 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 (Metallically)*, 2017, vol. 2017, no. 12, pp. 1083-1085.

12. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes. *Russian metallurgy (Metallically)*, 2018, vol. 2018, no. 6, pp. 573-575.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии материалов и транспорта, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

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

Агеев Евгений Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

Evgeny V. Ageev, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Materials and Transport Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ageev_ev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

Сысоев Артур Алексеевич, аспирант кафедры технологии материалов и транспорта ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: evoking09@rambler.ru

Arthur A. Sysoev, Post-Graduate Student of the Department of Materials Technology and Transport, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: evoking09@rambler.ru