

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-23-38>



Рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ электроэрозионных порошковых материалов из отходов стали P18

Н. Н. Карпенко¹ ✉, Р. А. Латыпов², Е. В. Агеева¹, В. Ю. Карпенко¹

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

² Московский политехнический университет
ул. Б. Семёновская 38, г. Москва 107023, Российская Федерация

✉ e-mail: omegaV@rambler.ru

Резюме

Цель данного исследования заключается в проведении рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа электроэрозионной шихты из отходов стали P18.

Методы. Для получения новых экспериментальных порошковых материалов (шихты) из отходов стали P18 использовали установку электроэрозионного диспергирования. Для проведения исследования использовали электроэрозионную шихту из отходов стали P18. При рентгеноспектральном анализе применяли метод растровой электронной микроскопии с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп "QUANTA 200 3D". При рентгеноструктурном анализе применяли метод рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV.

Результаты. Экспериментальным путем было установлено распределение химических элементов по поверхности электроэрозионной шихты из отходов стали P18: углерод, кислород, молибден, ванадий, хром, железо и вольфрам, а также определены основные фазы шихты, полученной методом электроэрозионного диспергирования из отходов стали P18: WC, Fe₂W₂C, FeV, Fe₃O₄.

Заключение. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что измельчение отходов стали P18 электроэрозией в воде дистиллированной приводит к образованию шихты с элементным и фазовым составом, позволяющим применять ее в качестве основного материала для производства новых изделий инструментов, пластин для резания, ножевых полотен, а также для восстановления и упрочнения инструментов, деталей автомобилей и сельскохозяйственной техники методом наплавки, сварки и родственных процессов. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего исследования электроэрозионной шихты из отходов стали P18.

Ключевые слова: электроэрозионная шихта; отходы; сталь; рентгеноструктурный анализ; рентгеноспектральный анализ.

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

Для цитирования: Карпенко Н. Н., Латыпов Р. А., Ареева Е. В., Карпенко В. Ю. Рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ электроэрозионных порошковых материалов из отходов стали Р18 // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 23–38. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-26-38>.

Поступила в редакцию 23.07.2022

Подписана в печать 26.08.2022

Опубликована 28.09.2022

X-Ray Spectral and X-Ray Structural Analysis of Electroerosive Powder Materials from Waste Steel R18

Natalia N. Karpenko¹ ✉, Rashit A. Latypov², Ekaterina V. Ageeva¹,
Vadim Yu. Karpenko¹

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

² Moscow Polytechnic University
38 B. Semyonovskaya Str., Moscow 107023, Russian Federation

✉ e-mail: omegaV@rambler.ru

Abstract

The purpose of this study is to conduct X-ray spectral and X-ray diffraction analysis of the electroerosive charge from waste steel R18.

Methods. To obtain new experimental powder materials (charge) from R18 steel waste, an electroerosive dispersion unit was used. For the study, we used an electroerosive charge from waste steel P18. For X-ray spectral analysis, the method of scanning electron microscopy was used, using an energy-dispersive X-ray analyzer from EDAX, built into a scanning electron microscope "QUANTA 200 3D". X-ray diffraction analysis was performed using a Rigaku Ultima IV diffractometer.

Results. The distribution of chemical elements over the surface of the electroerosive charge from R18 steel waste was experimentally established: carbon, oxygen, molybdenum, vanadium, chromium, iron and tungsten, and the main phases of the charge obtained by electroerosion dispersion from R18 steel waste were determined: WC, Fe₂W₂C, FeV, Fe₃O₄.

Conclusion. According to the results of the research, it can be concluded that the grinding of waste steel R18 by electroerosion in distilled water leads to the formation of a charge with an elemental and phase composition that allows it to be used as the main material for the production of new tool products, cutting plates, knife blades, and also for the restoration and hardening of tools, parts of automobiles and agricultural machinery, by surfacing, welding and related processes. The obtained results can be used for further research of the electroerosive charge from R18 steel waste.

Keywords: electroerosive charge; steel; waste; X-ray diffraction analysis; X-ray spectral analysis.

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

For citation: Karpenko N. N., Latypov R. A., Ageeva E. V., Karpenko V. Yu. X-Ray Spectral and X-Ray Structural Analysis of Electroerosive Powder Materials from Waste Steel R18. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2022; 12(3): 23–38. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-3-23-38>.

Received 23.07.2022

Accepted 26.08.2022

Published 28.09.2022

Введение

В последнее время большое количество сталей и сплавов, которые используются в машиностроении и при изготовлении инструментов, имеют импортное происхождение, в связи с этим все актуальнее становится вопрос импортозамещения, включая импортозамещение сталей и сплавов [1]. Это обусловлено многими аспектами. С одной стороны, это возможность заменить импортные поставки на собственное производство, тем самым получить независимость от других стран [2]. С другой стороны, импортозамещение способствует развитию собственных технологий и получению качественных материалов [3–6]. Как правило, качественные материалы имеют достаточно высокую стоимость. Одним из вариантов снижения стоимости является переработка металлического лома быстрорежущих сталей и их вторичное использование. Примером может служить сталь марки Р18. Благодаря ее широкому применению осталось большое количество лома, подходящего для рециклинга [7–8]. Рециклинг в данном случае имеет множество плюсов. Решается экологическая проблема: не происходит рост свалок, уменьшаются вредные выбросы при производстве,

происходит сохранение природных ресурсов. Решается экономическая проблема путем снижения затрат на добычу руды, включая вольфрам, который в большом количестве содержится в стали Р18, происходит снижение энергозатрат в металлургическом производстве.

На сегодняшний день существует большое количество технологий и оборудования по переработке металлов и сплавов. В данном случае был выбран метод электроэрозионного диспергирования, при котором возможно получать шихту в виде порошка из отходов стали Р18, пригодную для дальнейшего использования в промышленности [9–11]. Данный метод является относительно недорогим, экологически чистым и безопасным способом переработки отходов инструментальной стали Р18.

Легированная инструментальная быстрорежущая сталь Р18 – это сплав отечественного производства, который на протяжении долгого времени широко использовали в СССР благодаря его высочайшему качеству. Выплавка данного сплава осуществлялась на заводах: «Электросталь», Путиловском, Златоустовском инструментальном, Днепрспецстале. В отличие от других марок быстрорежущих сталей производственный объем Р18 составлял 85%. В связи с

относительно высокой стоимостью P18 на протяжении долгого времени делались попытки изменить состав данной стали путем уменьшения вольфрама, который входит в состав в количестве 18%. Но получить необходимую долговечность и стойкость стали в условиях обработки инструментов не удавалось. Совокупность уникальных свойств, таких как: высокая твердость, красностойкость, устойчивость к разрушению быстрорежущей стали P18, определяли область ее применения. Инструменты, которые изготовлены из стали P18, имеют твердость 62...65 HС, красностойкость около 600°C. Данная сталь

подходит для изготовления всех видов режущего инструмента для эффективной работы с черными и цветными металлами (сверла, фрезы, токарные станки, развертки, зенкеры, для режущих лезвийных инструментов, плашки, пилы, деревообрабатывающий инструмент и т. д.). Аналоги стали P18 производят во многих странах: T1 – американский сплав, W18Cr4V производится в Китае, 1,3355 – европейский материал, HS18-0-1 – немецкий аналог P18 [12].

В состав стали P18 входит железо и легирующие элементы, основным из них является вольфрам, химический состав стали представлен на рисунке 1 [13–16].

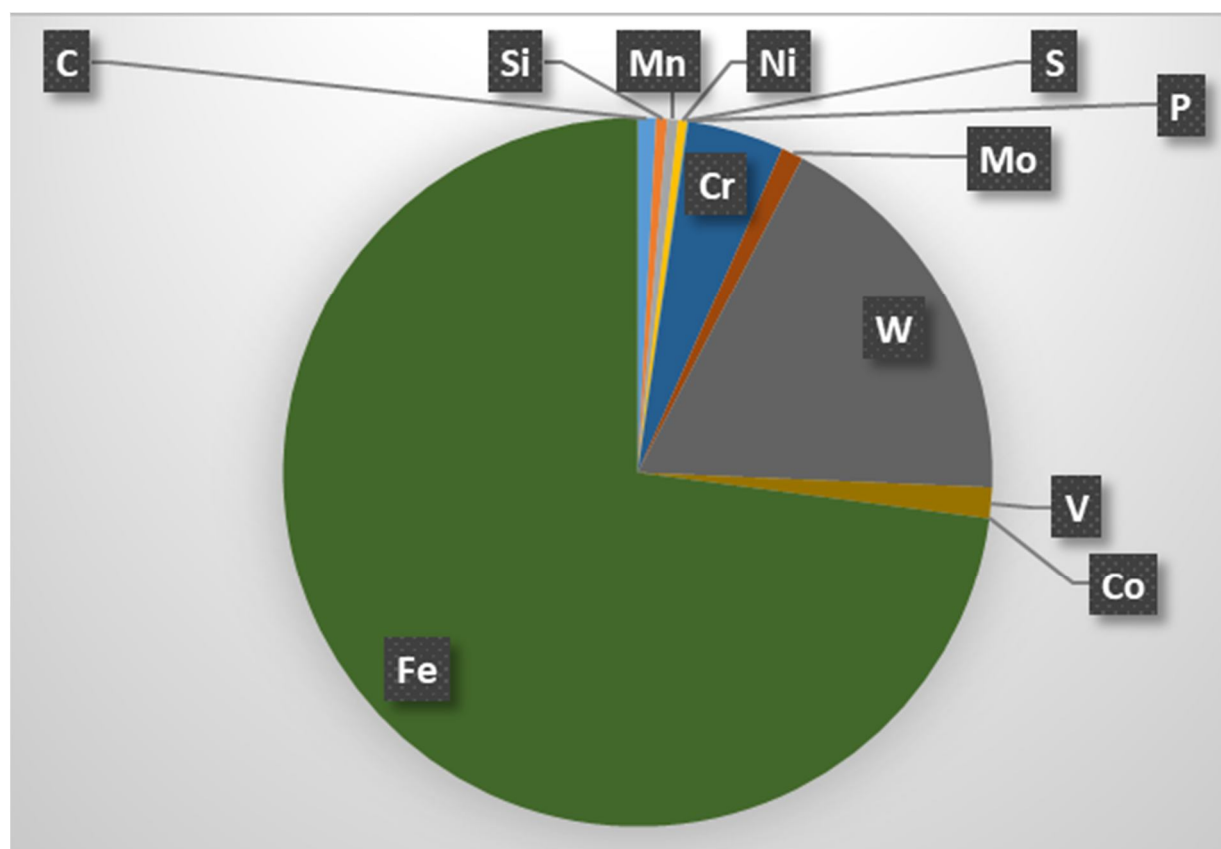


Рис. 1. Химический состав стали P18

Fig. 1. The chemical composition of steel R18

Достаточно высокое содержание вольфрама и углерода наделяет сталь прочностью и вязкостью, способностью не терять твёрдости при нагревании до высоких температур, выдерживать значительные ударные нагрузки [17–20].

По результатам проведенных исследований возможно будет оценить вероятность дальнейшего использования такой шихты в технологиях изготовления режущего инструмента, например, метчиков, сверл, ножовочных полотен и технологиях реновации и упрочнения деталей методами сварки, наплавки и родственными процессами.

Материалы и методы

Методом электроэрозионного диспергирования при частоте следования импульсов 100 Гц, напряжении на электродах 200 В, емкости разрядных конденсаторов 65,5 мкФ из отходов стали Р18 получили шихту. В качестве рабочей жидкости, в которой протекал процесс электродиспергирования, использовали дистиллированную воду ГОСТ 6709-72 (кислородсодержащая

среда). Электроэрозионную шихту подвергли рентгеноспектральному анализу (РСМА) и рентгеноструктурному анализу (РСА), далее схематично представлены методики их проведения.

При проведении РСМА использовали энергодисперсионный анализатор «EDAX», встроенный в электронный микроскоп «QUANTA 200 3D», на котором получали спектры рентгеновского излучения на поверхности образца в разных точках, в результате исследований была получена рентгенограмма. На рисунке 2 представлена методика РСМА.

На рисунках 3, 5 и 6 представлены зависимости влияния условий электролиза (катодная плотность тока, температура и pH электролита) на размер областей когерентного рассеяния, микроискажения и плотность дислокаций осадков железа, полученных из сульфатно-хлористого электролита.

При проведении РСА использовали дифрактометр "Rigaku Ultima IV", по результатам которого была получена дифрактограмма. На рисунке 3 представлена методика РСА.

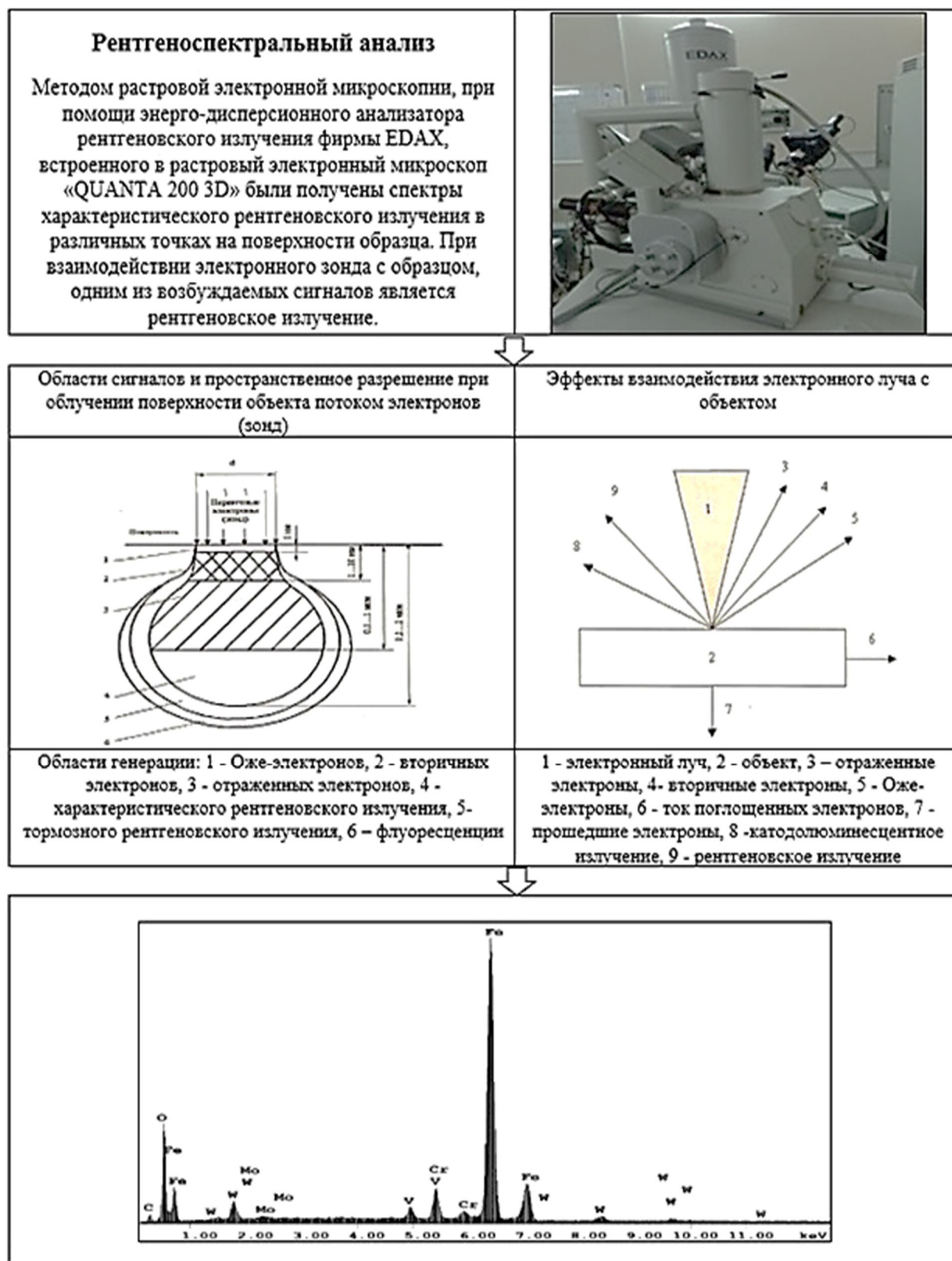
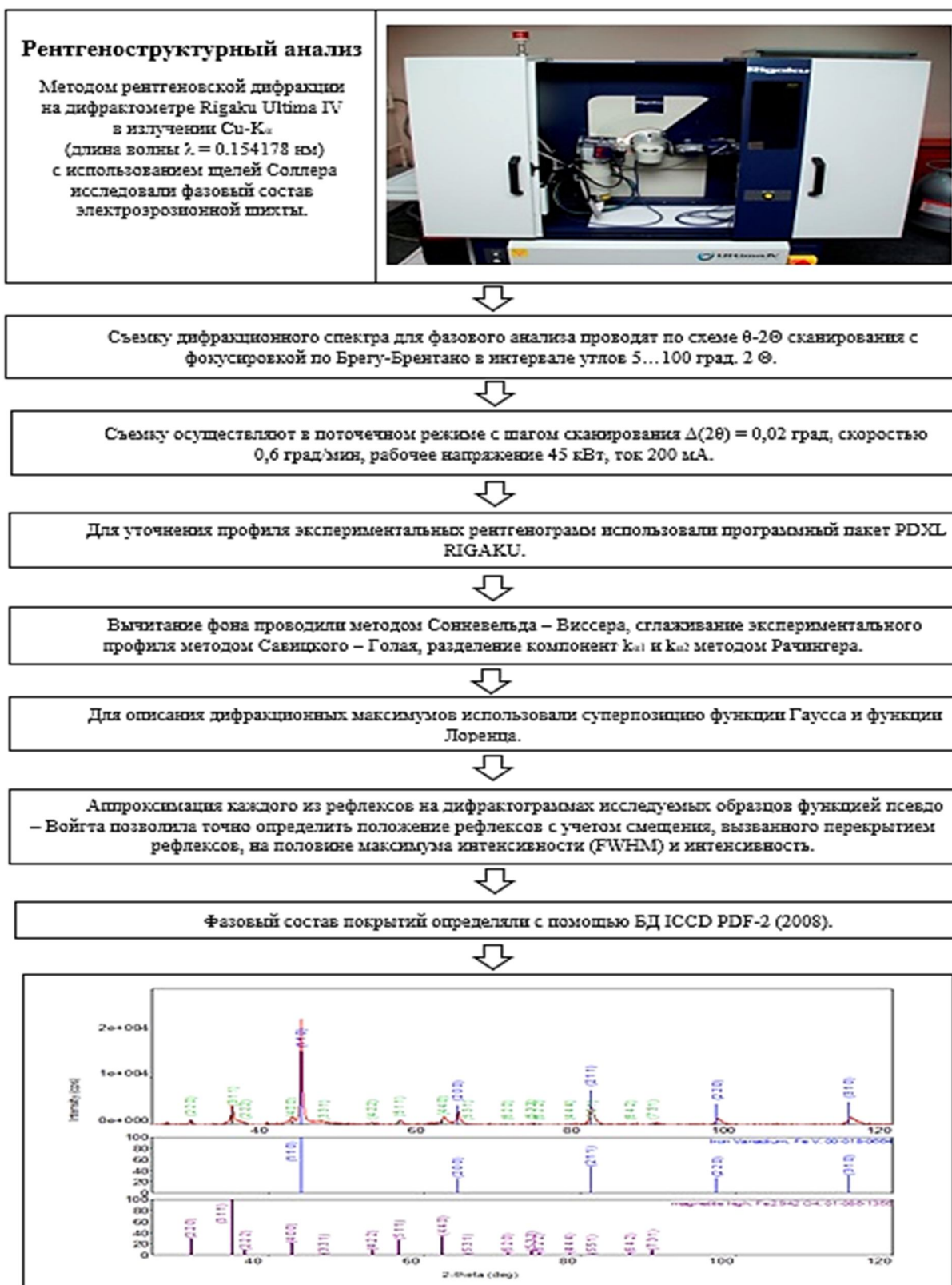


Рис. 2. Методика проведения рентгеноспектрального анализа (РСМА) электроэрозионной шихты из стали P18

Fig. 2. Method for conducting X-ray spectral analysis of electroerosive charge from steel R18



Результаты и их обсуждение

Снимок с РЭМ и рентгенограмма шихты из отходов стали P18, полученной электроэрозионным диспергированием в дистиллированной воде ГОСТ 6709-72 (кислородсодержащая среда), представлены на рисунке 4.

Из данных, которые представлены на рисунке 4, можно сделать вывод о том, что основными элементами в электроэрозионной шихте из отходов стали P18 являются железо и кислород, также присутствуют углерод, вольфрам, хром, ванадий и молибден (рис. 4, б). Видно

также, что частицы, входящие в состав электроэрозионной шихты, имеют сферическую или эллиптическую форму, причем размер основной массы таких частиц не превышает 20...25 мкм. Порошковые материалы, состоящие из частиц сферической формы, легко поддаются обработке, поэтому применяются во многих областях: для создания новых коррозионностойких, легированных сплавов, в технологиях реновации и упрочнения деталей методами сварки, наплавки и родственными процессами (рис. 4, а).

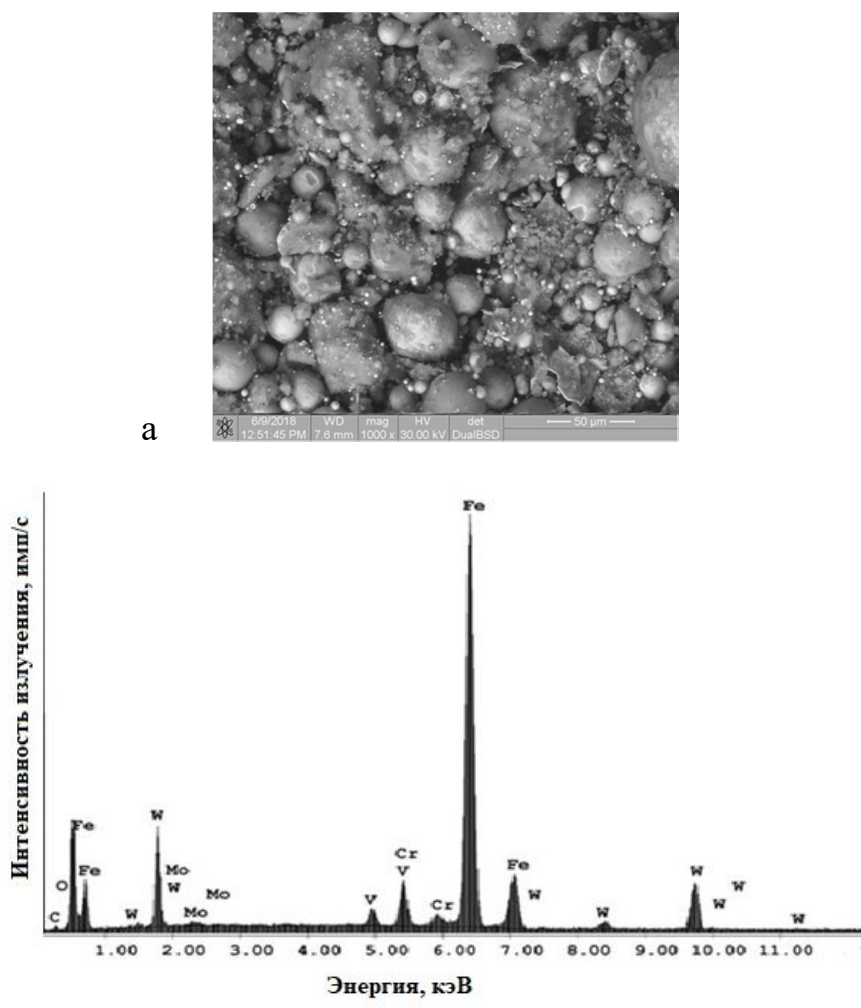


Рис. 4. Снимок с РЭМ (а) и рентгенограмма шихты из отходов стали P18 (б)

Fig. 4. An image from the SEM (а) and an X-ray of the charge from the waste of steel P18 (б)

Дифрактограмма исследуемых образцов электроэрозионной шихты приведена на рисунке 5 и в таблице.

Из рисунка 5 видно, что основными фазами шихты, полученной методом электроэрозионного диспергирования из

отходов стали P18, являются WC, $\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$, FeV, Fe_3O_4 . Карбиды вольфрама представляют собой очень твердые соединения вольфрама и углерода, которые резко повышают твердость, прочность и износостойкость материала.

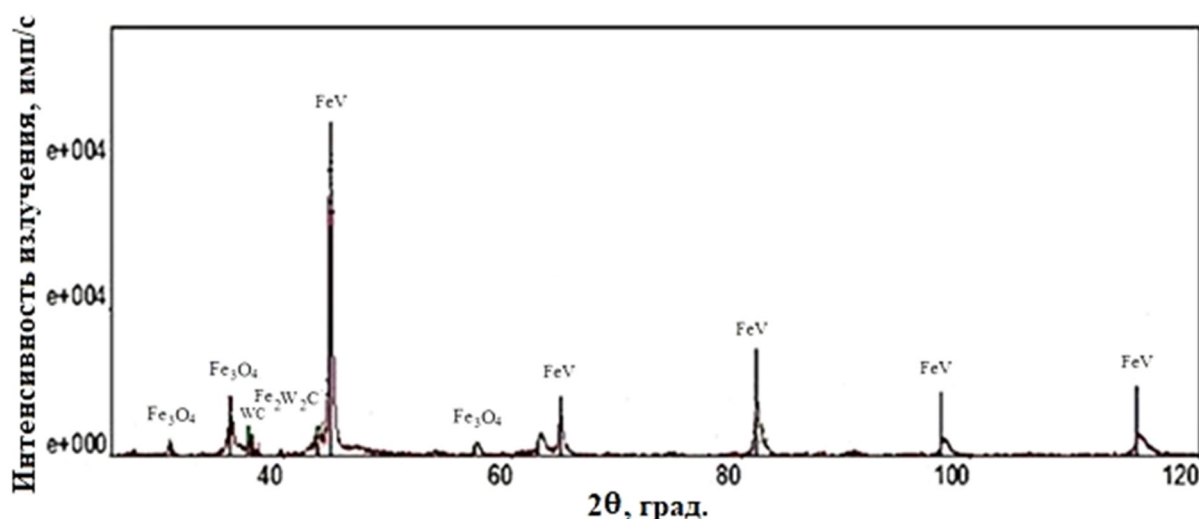


Рис. 5. Дифрактограмма образца электроэрозионной шихты, полученной из отходов стали P18

Fig. 5. X-ray diffraction pattern of a sample of an electroerosive charge obtained from waste steel R18

Таблица. Фазовый состав исследуемой шихты

Table. Phase composition of the investigated powder

Химическая формула	Тип решетки	Параметры решетки
FeV	221:Pm-3m – кубическая	$a = 2.898372 \text{ \AA}$; $b = 2.898372 \text{ \AA}$; $c = 2.898372 \text{ \AA}$
Fe_3O_4	227:Fd-3m – кубическая	$a = 8.427671 \text{ \AA}$; $b = 8.427671 \text{ \AA}$; $c = 8.427671 \text{ \AA}$
$\text{Fe}_2\text{W}_2\text{C}$	203:Fd-3 – кубическая	$a = 11.099788 \text{ \AA}$; $b = 11.099788 \text{ \AA}$; $c = 11.099788 \text{ \AA}$
WC	187:P-6m2 – гексагональная	$a = 2.904028 \text{ \AA}$; $b = 2.904028 \text{ \AA}$; $c = 2.825559 \text{ \AA}$

Результаты проведенных исследований показывают возможность утилизации и переработки отходов этой стали в электроэрозионную шихту, а также дают возможность оценивать вероятность дальнейшего использования такой шихты в технологиях изготовления режущего инструмента, например, метчиков, сверл, ножовочных полотен и технологиях реновации и упрочнения деталей методами сварки, наплавки и родственными процессами.

Выводы

Рентгеноспектральный микроанализ позволил определить элементный состав микрообъектов частиц шихты, которая была получена методом электроэрозионного диспергирования из отходов стали Р18 по возбуждаемому в них характеристическому рентгеновскому излучению. Электроэрозионная шихта из стали Р18 содержит следующие элементы: углерод, кислород, молибден, ванадий, хром, железо и вольфрам. Каждый химический элемент, входящий в состав материала, оказывает определенное влияние на его свойства: молибден способствует повышению твердости, прочности и упругости, может незначительно снижать вязкость; ванадий повышает твердость, влияет на

образование более мелкого зерна, повышает плотность материала; хром улучшает коррозионную стойкость, увеличивает жаропрочность, также положительно влияет на прочность; вольфрам, как правило, образует высокотвердые соединения, которые значительно повышают твердость материала, прокаливаемость, красностойкость, увеличивают коррозионную стойкость. Основные фазы такой шихты: WC , Fe_2W_2C – карбиды вольфрама, FeV – интерметаллические соединения (феррованадий), Fe_3O_4 – оксиды. Карбиды вольфрама, входящие в состав электроэрозионной шихты, способствуют повышению таких свойств, как твердость, прочность и износостойкость материала. При этом размер основной массы частиц шихты не превышает 20...25 мкм и имеет частицы сферической формы, которые легко поддаются обработке, в связи с этим используются во многих областях.

Отмечено, что измельчение отходов стали Р18 электроэрозией в воде дистиллированной приводит к образованию шихты с элементным и фазовым составом, позволяющим применять ее в качестве основного материала для рециклинга отходов производства и технологиях реновации и упрочнения деталей методами сварки, наплавки и родственными процессами.

Список литературы

1. Чаплыгин С. Об импортозамещении и «импортозамещении». Технологический ресурс импортозамещения // Компоненты и технологии. 2015. № 9 (170). С. 17–21.

2. Вихренко М. А. Проблемы импортозамещения и выявление факторов, влияющих на формирование стратегии импортозамещения на производственном предприятии // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. 2015. № 35. С. 98–102.

3. Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. Процессы порошковой металлургии: в 2-х т. Т. 1: Производство металлических порошков. М.: МИСиС, 2001. 368 с.

4. Состав и свойства порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов инструментальной быстрорежущей стали Р18 / Г. Р. Латыпова, Н. Н. Карпенко, Р. А. Латыпов, Е. В. Агеева // Электрометаллургия. 2020. № 3. С. 25–29.

5. Порошки, полученные электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов – перспективный материал для восстановления деталей автотракторной техники / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Е. В. Агеева, Р. В. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 1 (40), ч. 1. С. 182–189.

6. Байрамов Р. К. Получение высокодисперсных порошков металлов и их соединений электроискровым диспергированием металлов: монография / Р. К. Байрамов. М.: Изд. дом МИСиС, 2012. 80 с.

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

8. Кругляков О. В., Карпенко Н. Н., Агеева Е. В. Получение наноразмерного вольфрамосодержащего порошка, пригодного для восстановления деталей автомобилей // Современные автомобильные материалы и технологии: сборник статей VI Международной научно-технической конференции / редкол.: Е. В. Агеев (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2014. С. 212–217.

9. Артамонов Б. А., Круглов А. И., Стебаев Л. И. Генераторы импульсов для электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1976. 124 с.

10. Патент 2449859 Рос. Федерация, МПК В 22 F 9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Агеев Е. В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. № 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. 4 с.

11. Агеев Е. В., Карпенко В. Ю., Карпенко Н. Н. Совершенствование технологии восстановления электроискровой обработкой изношенных двигателей автомобилей путем применения электроэрозионных материалов // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124, № 2. С. 12–19.

12. Фазовый состав и тонкая структура стали Р18 / А. М. Гурьев, Ю. П. Хараев, Н. А. Попова, Н. Р. Сизоненко, Е. Л. Никоненко, Э. В. Козлов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. Т. 2, № 4. С. 99–103.

13. Латыпова Г. Р., Карпенко Н. Н., Ярошенко В. В. Элементный состав частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов инструментальной стали R18 // Прогрессивные технологии и процессы: сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Курск: Университетская книга, 2018. С. 174–176.
14. Исследование химического состава порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, Б. А. Семенихин, Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. № 5 (38), ч. 1. С. 138а–144.
15. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при изучении технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
16. Агеева Е. В., Хорьякова Н. М., Агеев Е. В. Морфология медного порошка, полученного электроискровым диспергированием из отходов // Российские инженерные исследования. 2014. Т. 34, № 11. С. 694–696.
17. Рентгеноструктурный анализ порошков, полученных электроэрозионным диспергированием твердого сплава / Е. В. Агеев, В. Н. Гадалов, Б. А. Семенихин [и др.] // Заготовительное производство в машиностроении. 2011. № 2. С. 42–44.
18. Проведение рентгеноспектрального микроанализа электроэрозионных порошков твердых сплавов / Е. В. Агеев, Г. Р. Латыпова, А. А. Давыдов, Е. В. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5 (44), ч. 2. С. 99–102.
19. Улучшение показателей качества и электроэрозионного диспергирования металлов с учетом взаимного влияния характеристик источника питания и технологического аппарата / А. К. Шидловский, А. А. Щерба, В. А. Муратов, В. Б. Карвовский // Совершенствование электрооборудования и средств автоматизации технологических процессов промышленных предприятий: тезисы докладов 1-й Дальневосточной научно-практической конференции. Комсомольск-на-Амуре: КНАПИ, 1986. С. 98–99.
20. Милях А. Н., Щерба А. А., Муратов В. А. Стабилизация режимов объемных параметров электроэрозионного диспергирования металлов // Состояние и перспективы развития электротехники. 1985. Ч. 2. С. 161–162.

References

1. Chaplygin S. Ob importozameshchenii i "importozameshchenii". Tekhnologicheskii resurs importozameshcheniya [About import substitution and "import substitution". Technological resource of import substitution]. *Komponenty i tekhnologii = Components and Technologies*, 2015, no. 9 (170), pp. 17–21.

2. Vikhrenko M. A. Problemy importozameshcheniya i vyyavlenie faktorov, vliyayushchikh na formirovanie strategii importozameshcheniya na proizvodstvennom predpriyatii [Problems of import substitution and identification of factors influencing the formation of an import substitution strategy at a manufacturing enterprise]. *Sovremennye tendentsii v ekonomike i upravlenii: novyi vzglyad = Modern Trends in Economics and Management: a New Look*, 2015, no. 35, pp. 98–102.

3. Libenson G. A., Lopatin V. Yu., Komarnitskii G. V. Protsessy poroshkovoi metallurgii. T. 1. Proizvodstvo metallicheskih poroshkov [Processes of powder metallurgy. Vol. 1. Production of metal powders]. Moscow, MISIS Publ., 2001. 368 p.

4. Latypova G. R., Karpenko N. N., Latypov R. A., Karpenko R. A. Sostav i svoystva poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov instrumental'noi bystrorezhushchei stali R18 [Composition and properties of the powder obtained by electroerosive dispersion of wastes of P18 tool high-speed steel]. *Elektrometallurgiya = Electrometallurgy*, 2020, no. 3, pp. 25–29.

5. Ageev E. V., Gadlov V. N., Ageeva E. V., Bobryshev R. V. Poroshki, poluchennye elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdykh splavov – perspektivnyi material dlya vosstanovleniya detalei avtotraktornoi tekhniki [Powders obtained by electroerosive dispersion of hard alloy wastes - a promising material for the restoration of automotive parts]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1 (40), pt. 1, pp. 182–189.

6. Bayramov P. K. Poluchenie vysokodispersnykh poroshkov metallov i ikh soedinenii elektroiskrovym dispergirovaniem metallov [Obtaining highly dispersed powders of metals and their compounds by electrospark dispersion of metals]. Moscow, MISIS Publ., 2012. 80 p.

7. Ageev E. V., Latypova G. R., Davydov A. A., Ageeva E. V. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdospлавnykh elektroerozionnykh poroshkov [Carrying out X-ray spectral microanalysis of hard-alloy electroerosive powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 5(44) pt. 2, pp. 99–102.

8. Kruglyakov O. V., Karpenko N. N., Ageeva E. V. Modern automotive materials and technologies]. *Sovremennye avtomobil'nye materialy i tekhnologii. Sbornik statei VI Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Obtaining a nanoscale tungsten-containing powder suitable for the restoration of car parts. Collection of articles of the VI International Scientific and Technical Conference]; ed. by E. V. Ageev. Kursk, Southwest St. Univ. Publ., 2014, pp. 212–217. (In Russ.)

9. Artamonov B. A., Kruglov A. I., Stebaev L. I. Generatory impul'sov dlya elektroerozionnoi obrabotki [Pulse generators for electroerosive machining]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 124 p.

10. Ageev E. V. Ustanovka dlya polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodnykh materialov [Installation for obtaining nanodispersed powders from conductive materials]. Patent RF, no. 2449859, 2012.

11. Ageev E. V., Karpenko V. Yu., Karpenko N. N. Sovershenstvovanie tekhnologii vostanovleniya elektroiskrovoi obrabotkoi iznoshennykh dvigatelei avtomobilei putem primeniya elektroerozionnykh materialov [Improving the technology of restoration of worn-out car engines by electrospark treatment by using electroerosive materials]. *Trudy GOSNITI = Proceedings of GOSNITI*, 2016, vol. 124, no. 2, pp. 12–19.

12. Guryev A. M., Kharaev Yu. P., Popova N. A., Sizonenko N. R., Nikonenko E. L., Kozlov E. V. Fazovyi sostav i tonkaya struktura stali R18 [Phase composition and fine structure of steel R18]. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya = Fundamental Problems of Modern Materials Science*, 2005, vol. 2, no. 4, pp. 99–103.

13. Latypova G. R., Karpenko N. N., Yaroshenko V. V. [Elemental composition of powder particles obtained by electroerosive dispersion of R18 tool steel waste]. *Progressivnye tekhnologii i protsessy. Sbornik nauchnykh statei 5-i Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Progressive technologies and processes. Collection of scientific articles of the 5th All-Russian scientific and technical conference with international participation]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2018, pp. 174–176. (In Russ.)

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

15. Spiridonov A. A. Planirovanie eksperimenta pri izuchenii tekhnologicheskikh protsessov [Planning an experiment in the study of technological processes]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981. 184 p.

16. Ageeva E. V., Horyakova N. M., Ageev E. V. Morfologiya mednogo poroshka, poluchennogo elektroiskrovym dispergirovaniem iz otkhodov [Morphology of copper powder produced by electrospark dispersion from waste]. *Rossiiskie inzhenernye issledovaniya = Russian Engineering Research*, 2014, vol. 34, no. 11, pp. 694–696.

17. Ageev E. V., Gadlov V. N., Semenikhin B. A., eds. Rentgenostrukturnyi analiz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem tverdogo splava [X-ray diffraction analysis of powders obtained by electroerosive dispersion of a hard alloy]. *Zagotovitel'noe proizvodstvo v mashinostroenii = Procurement Production in Mechanical Engineering*, 2011, no. 2, pp. 42–44.

18. Ageev E. V., Latypova G. R., Davydov A. A., Ageeva E. V. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza elektroerozionnykh poroshkov tverdykh splavov [Carrying out X-ray spectral microanalysis of hard alloy electroerosive powders]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 5 (44), pt. 2, pp. 99–102.

19. Shidlovsky A. K., Shcherba A. A., Muratov V. A., Karvovskii V. B. Uluchshenie pokazatelei kachestva i elektroerozionnogo dispergirovaniya metallov s uchetom vzaimnogo vliyaniya kharakteristik istochnika pitaniya i tekhnologicheskogo apparata [Improving the quality indicators and electroerosive dispersion of metals, taking into account the mutual influence of the characteristics of the power source and the technological apparatus]. *Sovershenstvovanie elektrooborudovaniya i sredstv avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov promyshlennykh predpriyatii. Tezisy dokladov 1-i Dal'nevostochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Improvement of electrical equipment and means of automation of technological processes of industrial enterprises. Abstracts of the 1st Far Eastern Scientific and Practical Conference]. Komsomolsk-on-Amur, KnAPI Publ., 1986, pp. 98–99.

20. Milyakh A. N., Shcherba A. A., Muratov V. A. Stabilizatsiya rezhimov ob'emnykh parametrov elektroerozionnogo dispergirovaniya metallov [Stabilization of modes of volumetric parameters of electroerosive dispersion of metals]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya elektrotekhniki = Status and prospects for the development of electrical technology*, 1985, pt. 2, pp. 161–162.

Информация об авторах / Information about the Authors

Карпенко Наталья Николаевна, лаборант
кафедры технологии материалов и транспорта,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: omegaV@rambler.ru,
ORCID: 0000-0002-3445-6124

Natalya N. Karpenko, Laboratory Assistant of
the Department of Technology of Materials and
Transport, Southwest State University, Kursk,
Russian Federation,
e-mail: omegaV@rambler.ru,
ORCID: 0000-0002-3445-6124

Латыпов Рашит Абдулхакович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: latipov46@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9988-2765

Rashit A. Latypov, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Equipment and Technology of Welding Production, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation, e-mail: latipov46@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9988-2765

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, Dr. of Sci. (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

Карпенко Вадим Юрьевич, кандидат технических наук, инженер научно-исследовательского института космического приборостроения и радиоэлектронных систем, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vadim.karpenko.90@bk.ru, ORCID: 0000-0002-7063-6288

Vadim Yu. Karpenko, Cand. of Sci. (Engineering), Engineer of the Scientific Research Institute of Space Instrumentation and Radioelectronic Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vadim.karpenko.90@bk.ru, ORCID: 0000-0002-7063-6288