

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-18-32>

## Разработка и исследование порошковых электродов для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов

Р. А. Латыпов<sup>1</sup>, Е. В. Агеев<sup>2</sup>✉, Е. П. Новиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», ул. Большая Семеновская, 38, г. Москва, 107023, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Резюме

**Целью работы** являлось исследование свойств порошковых материалов, получаемых из алюминиевых и титановых отходов методом электроэрозионного диспергирования для разработки электродов, пригодных для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов.

**Методы.** Для получения алюминиевого порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку ГОСТ 14838-78, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 100 Гц. Для получения титанового порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали стружку марки ВТ6. Стружку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 150 В, частота импульсов 250 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц порошка.

С целью изучения формы и морфологии частиц порошкового материала, полученных методом электроэрозионного диспергирования из алюминиевых отходов, были сделаны снимки на растровом (сканирующем) электронном микроскопе QUANTA 600 FEG. Исследование гранулометрического состава порошковых материалов, полученных способом электроэрозионного диспергирования из алюминиевых и титановых отходов, проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 NanoTec.

**Результаты.** Установлено, что наиболее перспективными и промышленно не применяемыми материалами для производства электродов, применяемых при сварке и наплавке деталей, являются порошковые материалы, получаемые методом электроэрозионного диспергирования. Экспериментально установлено, что порошковые материалы, получаемые электроэрозионным диспергированием алюминиевых и титановых отходов, состоят из частиц сферической и эллиптической формы. Представлены результаты исследования элементного состава порошковых материалов, получаемых электроэрозионным диспергированием алюминиевых и титановых отходов, показано, что основными элементами порошков, полученных из алюминиевых отходов, являются алюминий и кислород, а основными элементами порошков, полученных из стружки марки ВТ6, являются Ti, Al, O, V, Fe, W и K. Исследования гранулометрического состава порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования, показали, что средний размер частиц порошков, полученных из алюминиевых отходов, составляет 19,08 мкм, а средний размер частиц порошков, полученных из титановых отходов, составляет 33,12 мкм. Установлено, что наиболее перспективным методом для производства электродов, используемых для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов, является метод искрового плазменного спекания.

**Заключение.** Полученные результаты могут быть использованы при создании ресурсосберегающих процессов обработки металлических сплавов и композиционных материалов.

**Ключевые слова:** алюминиевые и титановые сплавы; сварка и наплавка; электрод; электроэрозионный порошок.

**Благодарности:** Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-50065.

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

**Для цитирования:** Латыпов Р. А., Агеев Е. В., Новиков Е. П. Разработка и исследование порошковых электродов для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(3): 18-32. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-18-32>.

Статья поступила в редакцию 08.04.19

Статья подписана в печать 15.05.09

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-18-32>

## Development and Research of Flux-Cored Electrodes For Welding And Surfacing Of Parts From Aluminum And Titanium Alloys

Rashit A. Latypov <sup>1</sup>, Evgeniy V. Ageev <sup>2</sup> ✉, Evgeny P. Novikov <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Polytechnic University, 38, Bolshaya Semenovskaya str., Moscow, 107023, Russian Federation

<sup>2</sup> Southwest State University, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ageev\_ev@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research** was to study the properties of powder materials obtained from aluminum and titanium waste by the method of electroerosion dispersion for the development of electrodes suitable for welding and surfacing of parts from aluminum and titanium alloys.

**Methods.** To obtain an aluminum powder material by electroerosion dispersion method, an aluminum wire GOST 14838-78 was used, pre-cut to 5-7 cm. the Wire was loaded into a reactor filled with a working liquid – distilled. The process was carried out at the following electrical parameters: discharge capacitor capacity 65 UF, voltage 100 V, pulse frequency 100 Hz. To obtain a titanium powder material by electroerosion dispersion method, shavings of VT6 grade were used. The chips were loaded into a reactor filled with a working liquid – distilled water. The process is carried out at the following electrical parameters: capacity of the bit capacitors 65 µf, a voltage of 150 V, pulse frequency of 250 Hz. The result of the local effects of intermittent electrical discharges between the electrodes was the destruction of the material with the formation of dispersed particles of powder.

In order to study the shape and morphology of powder material particles obtained by electroerosion dispersion from aluminum waste, images were taken on a raster (scanning) electron microscope QUANTA 600 FEG.

The study of granulometric composition of powder materials obtained by the method of electroerosion dispersion of aluminum and titanium waste was carried out on a laser analyzer particle size Analysette 22 NanoTec.

**Results.** It is established that the most promising and not industrially used materials for the production of electrodes used in welding and surfacing of parts are powder materials obtained by electroerosion dispersion. It is experimentally established that the powder materials obtained by electroerosive dispersion of aluminum and titanium wastes consist of spherical and elliptical particles. The results of the study of the elemental composition of powder

materials obtained by electroerosive dispersion of aluminum and titanium waste, it is shown that the main elements of the powders produced and aluminum waste are aluminum and oxygen, and the main elements of the powders produced and shavings of the VT6 BRAND are Ti, Al, O, V, Fe, W and K. Studies of the particle size distribution of powder materials obtained by electroerosion dispersion showed that the average particle size of powders obtained from aluminum waste is 19.08 microns, and the average particle size of powders obtained from titanium waste is 33.12 microns. It is established that the most promising method for the production of electrodes used for welding and surfacing of parts from aluminum and titanium alloys is the method of spark plasma sintering.

**Conclusion.** The obtained results can be used to create resource-saving processes for processing metal alloys and composite materials.

**Keywords:** aluminum and titanium alloys; welding and surfacing; electrode; electroerosion powder.

**Acknowledgements:** the Study was supported by RFBR in the framework of scientific project № 19-38-50065.

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

**For citation:** Latypov R. A., Ageev E. V., Novikov E. P. Development And Research of Flux-Cored Electrodes for Welding and Surfacing of Parts from Aluminum and Titanium Alloys. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(3): 18-32 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-3-18-32>.

Received 08.04.19

Accepted 15.05.19

\*\*\*

## Введение

Электроискровое легирование нашло применение в областях машиностроения и металлообработки: автомобильное производство; общее машиностроение; производство технологической оснастки; обработка штампов для термической обработки металлов; повышение режущих свойств обрабатываемого инструмента; упрочнение зубьев шестерён; повышение износостойкости шеек коленчатых валов и другие области применения; ремонтные операции при восстановлении работоспособности повреждённых деталей. Благодаря локализации площади обработки, способ электроискрового упрочнения применяются при ремонте часов и ювелирных изделий. Также метод применяют при создании действующих металлических

копий автомобилей, кораблей, самолётов. Метод позволяет наносить покрытие на стекло и керамику [1-5].

Метод поверхностного упрочнения получил развитие благодаря ряду потребительских свойств:

- возможность осуществлять точечное воздействие на площади, не превышающей долей миллиметра;
- защита окружающей поверхности не требуется;
- обеспечение надёжного контакта нанесённой лигатуры с основной поверхностью обрабатываемой детали;
- высокая степень адгезии объясняется тем, что при процессе происходит частичная диффузия (проникновение) вглубь металла;
- возникновение небольшого теплового фона; в результате, отсутствует

нагрев поверхности, не возникает деформация изделия;

– простой технологический процесс; не требуется специальной подготовки поверхности;

– энергоёмкость не превышает 2 кВт;

– оборудование имеет небольшие габаритные размеры и массу;

– высокий КПД, (массовый перенос металла находится в диапазоне 60-80%) [6-8].

Для восстановления деталей из алюминиевых и титановых сплавов также наиболее целесообразно использовать электроискровое легирование. Метод электроискрового легирования отличается технологической гибкостью, дешевизной и позволяет получать покрытия с широким диапазоном свойств.

Однако во многих случаях свойства электроискровых покрытий деталей машин зависят от состава, структуры и свойств электродного материала. С практической точки зрения, наибольший интерес представляют электроды с наноразмерными частицами. Выполненный анализ опубликованных научно-исследовательских работ показал, что наиболее перспективным методом получения наноразмерных материалов практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов алюминия и титана, является метод электроэрозионного диспергирования, отличающийся экологической чистотой процесса, относительно невысокими энергетическими затратами и компактностью технологического оборудования [9-13].

Целью настоящей работы являлось исследование свойств порошковых материалов, получаемых из алюминиевых и титановых отходов методом электроэрозионного диспергирования для разработки электродов, пригодных для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов.

### **Материалы и методы**

Для получения алюминиевого порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали алюминиевую проволоку ГОСТ 14838-78, предварительно нарезанную по 5-7 см. Проволоку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой [14-15]. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 100 В, частота импульсов 100 Гц.

Для получения титанового порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали стружку марки ВТ6. Стружку загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой [16-19]. Процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 65 мкФ, напряжение 150 В, частота импульсов 250 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала с образованием дисперсных частиц порошка.

Полученный порошок был высушен, после чего были проведены исследования формы, морфологии и элементного состава частиц алюминиевого порошка.

С целью изучения формы и морфологии частиц порошкового материала, полученных методом электроэрозионного диспергирования из алюминиевых отходов, были сделаны снимки на растровом (сканирующем) электронном микроскопе QUANTA 600 FEG.

Микроскоп позволяет получать изображения различных объектов с увеличением, превышающим 100000 крат, с большим числом элементов разложения. Он предназначен для выполнения различных исследований с минимальными затратами времени на препарирование объектов, обеспечивая их наблюдение с исключительной глубиной резкости. QUANTA 600 FEG позволяют работать с разнообразными типами образцов (в том числе непроводящими, загрязненными, влажными образцами и образцами, способными к газовой выделению при вакуумировании).

При помощи растровой электронной микроскопии имеется возможность непосредственного анализа частиц порошка с достаточно высоким разрешением. В растровом электронном микроскопе достигается большая глубина фокуса, что позволяет наблюдать объемное изображение изучаемой структуры.

Исследование гранулометрического состава порошковых материалов, полученных способом электроэрозионного

диспергирования из алюминиевых и титановых отходов, проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Analysette 22 NanoTec.

Analysette 22 NanoTec является идеальным лазерным прибором для измерения размера частиц для определения распределения размеров частиц в порошкообразных пробах, твердых веществах, в суспензиях и эмульсиях. Таким образом, прибор отлично подходит для применения в контроле качества и технологического процесса, так же, как и в исследованиях и разработках.

В Analysette 22 NanoTec общий диапазон измерения от 0,01 – 2100 мкм можно регистрировать без перенастройки оптических элементов. При этом изменяется расстояние между детектором и измерительной ячейкой путем автоматического перемещения. В измерительной ячейке находятся подготовленные с помощью используемого блока диспергирования частицы пробы, помещенные на путь лазерного луча. Путем изменения расстояния между детектором и измерительной ячейкой каждый раз регистрируется новый угловой диапазон рассеянного света. На основании этих данных рассчитывается распределение частиц по размерам.

Рентгеноспектральный анализ выполнен с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG.

Под рентгеноспектральным микроанализом понимают определение элементного состава микрообъектов по возбуждаемому в них характеристическому рентгеновскому излучению. Для анализа характеристического спектра в рентгеноспектральном микроанализе используют два типа спектрометров (бескристалльный либо с кристаллом-анализатором), базой для РСМА служит электронно-оптическая система растрового электронного микроскопа.

При взаимодействии электронного зонда с образцом (рис. 1) одним из возбуждаемых сигналов является рентгеновское излучение, которое можно разделить на характеристическое и тормозное.

Тормозное рентгеновское излучение возникает вследствие торможения первичных электронов в электрическом (кулоновском) поле атомов анализируемого материала. Кинетическая энергия первичных электронов в этом случае частично или полностью преобразуется в энергию рентгеновского излучения. Соответственно излучение имеет непрерывный спектр с энергией от нуля до энергии падающего электрона, и поэтому его еще называют непрерывным рентгеновским излучением. При рентгеноспектральном микроанализе тормозное излучение нежелательно, так как вносит основной вклад в увеличение уровня фона и не может быть исключено.

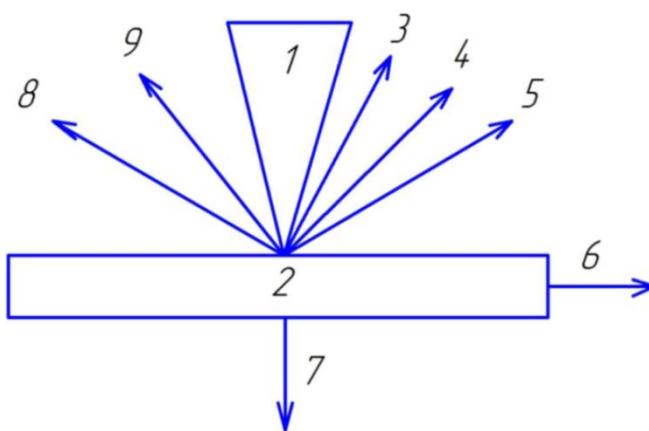


Рис. 1. Эффекты взаимодействия электронного луча с объектом: 1 – электронный луч; 2 – объект; 3 – отраженные электроны; 4 – вторичные электроны; 5 – Оже-электроны; 6 – ток поглощенных электронов; 7 – прошедшие электроны; 8 – катодно-люминесцентное излучение; 9 – рентгеновское излучение

Fig. 1. Effects of interaction of an electron beam with an object: 1-electron beam; 2-Object; 3-reflected electrons; 4-secondary electrons; 5-Auger electrons; 6-absorbed electrons current; 7-past electrons; 8-cathodoluminescent radiation; 9 – x-ray emission

При проникновении первичных электронов в образец они тормозятся не только электрическим полем атомов, но и непосредственным столкновением с

электронами атомов материала. В результате этого первичные электроны могут выбивать электроны с внутренних К-, L- или M-оболочек, оставляя

атом образца в энергетически возбужденном состоянии. Образующиеся вакансии заполняются переходами электронов с более высоких энергетических уровней. Атом переходит в основное состояние, избыточная энергия выделяется в виде кванта рентгеновского излучения.

Поскольку энергия возникающего кванта зависит только от энергии участвующих в процессе электронных уровней, а они являются характерными для каждого элемента, возникает характеристическое рентгеновское излучение. Так каждый атом имеет вполне определенное конечное число уровней, между которыми возможны переходы только определенного типа, характеристическое рентгеновское излучение дает дискретный линейчатый спектр.

Важной характеристикой РСМА является его локальность, т.е. объем вещества, в котором возбуждается характеристическое рентгеновское излучение. Он определяется в первую очередь диаметром электронного зонда на образце и зависит от ускоряющего напряжения и химического состава материала.

Анализ распределения элементов может быть выполнен в качественном, полуколичественном и количественном виде. Качественный анализ определяет тип элементов, входящих в состав исследуемого участка образца. Если образец имеет несколько фаз (участков), химический состав которых неизвестен, то выполняется качественный анализ каж-

дой фазы. После качественного анализа часто проводят количественный анализ в отдельно выбранных точках, по полученным данным программное обеспечение позволяет определить тип фазы исходя из ее химического состава. Полуколичественный анализ реализуется, если требуется определить распределение элементов вдоль линий (линейный анализ). Линейный анализ выполняется методом шагового сканирования, т.е. путем последовательного проведения анализа в отдельных точках. Таким образом, осуществляется количественное определение концентрации элементов с заданной точностью.

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования свойств порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования алюминиевых и титановых отходов, представлены на рисунках 3-5.

На рисунке 3 показано, что порошковые материалы, полученные электроэрозионным диспергированием алюминиевых и титановых отходов, состоят из частиц сферической, эллиптической и осколочной формы.

Из рисунка 4 видно, что основными элементами порошковых материалов, полученных электроэрозионным диспергированием алюминиевых отходов, являются Al и O, а основными элементами порошковых материалов, полученных электроэрозионным диспергированием титановых отходов, являются Ti, Al, O, V, Fe, W и K.

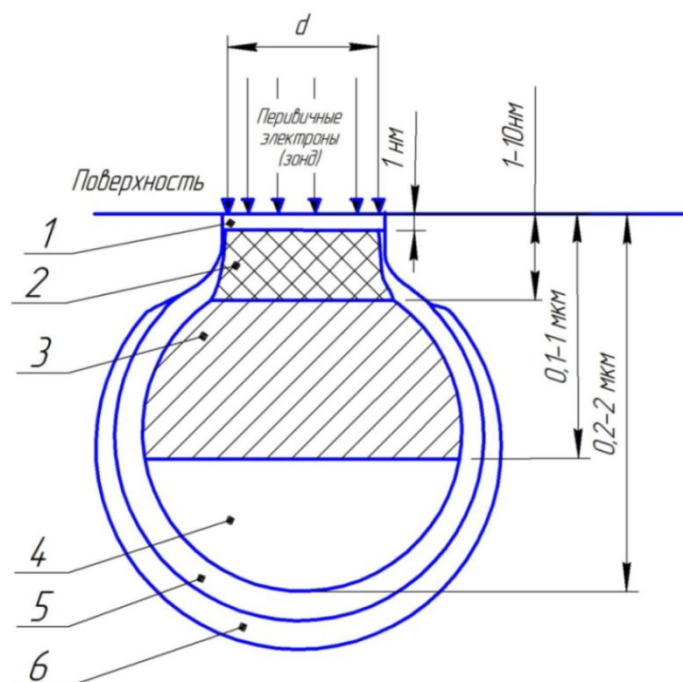


Рис. 2. Области сигналов и пространственное разрешение при облучении поверхности объекта потоком электронов (зонд): 1 – Оже-электронов; 2 – вторичных электронов; 3 – отраженных электронов; 4 – характеристического рентгеновского излучения; 5 – тормозного рентгеновского излучения, 6 – флуоресценции

Fig. 2. Region signals and the spatial resolution of the irradiation surface of the object by the flow of electrons (probe): 1 – auger-electron; 2 – secondary electron; 3 – reflected electrons; 4 - is the characteristic x-ray radiation; 5 –brake x-ray radiation; 6 – fluorescence

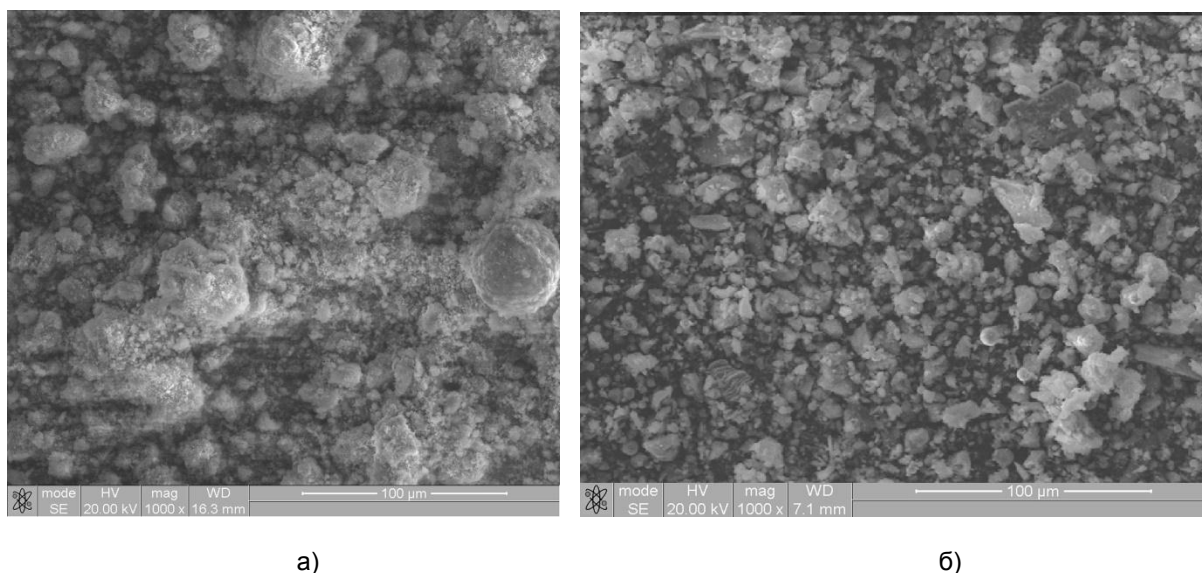


Рис. 3. Микроструктуры порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования: а - алюминиевых отходов; б - титановых отходов

Fig. 3. Microstructures of powder materials obtained by electroerosion dispersion: а - aluminum waste; б – titanium waste



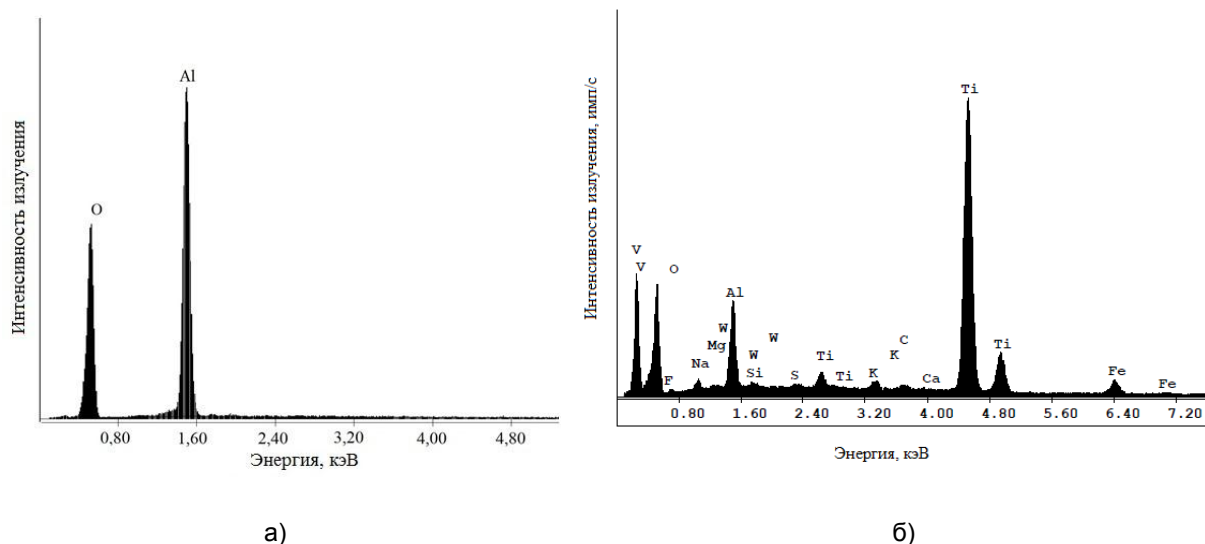


Рис. 4. Элементный состав порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования: а – алюминиевых отходов; б – титановых отходов

Fig. 4. Elemental composition of powder materials obtained by electroerosion dispersion: a – aluminum waste; b – titanium waste

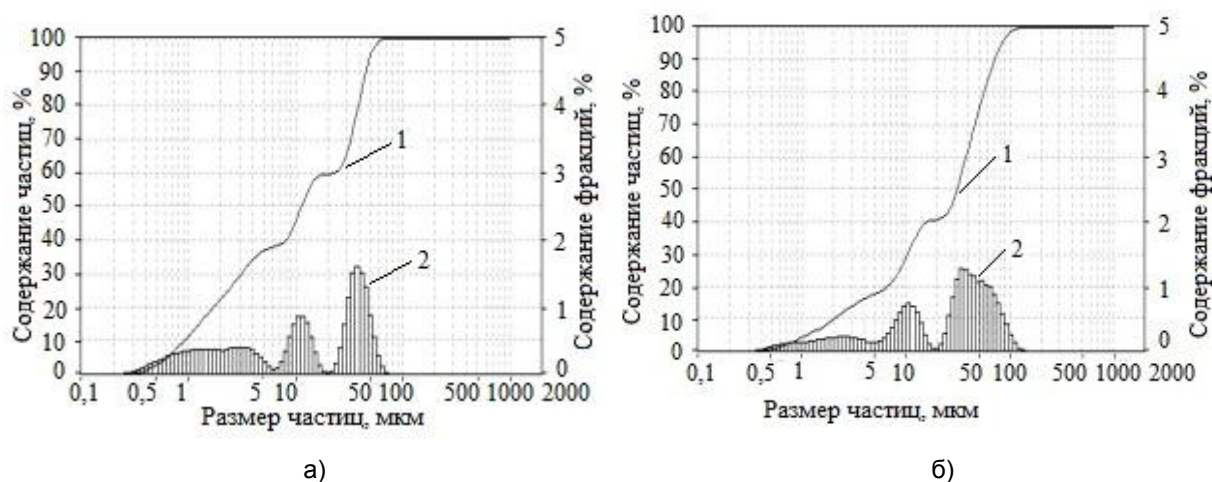


Рис. 5. Гранулометрический состав порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования: а – алюминиевых отходов; б – титановых отходов

Fig. 5. Granulometric composition of powder materials obtained by electroerosion dispersion: a – aluminum waste; b – titanium waste

Исследования гранулометрического состава порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования, показали, что средний размер частиц порошков, полученных из алюминиевых отходов, состав-

ляет 19,08 мкм, а средний размер частиц порошков, полученных из титановых отходов, составляет 33,12 мкм.

Исходя из свойств полученных порошковых материалов, можно сделать вывод, что данные порошковые матери-

алы подходят для изготовления порошковых электродов методом искрового плазменного спекания. Искровое плазменное спекание является наиболее перспективным методом получения разнообразных материалов, который получает все более широкое распространение в мире.

Особенности этого метода консолидации порошковых материалов состоят в том, что нагрев вещества происходит путем пропускания импульсов электрического тока; это позволяет существенно снизить температуру и сократить время спекания по сравнению с обычным спеканием и горячим прессованием.

## Выводы

1. Установлено, что наиболее перспективными и промышленно не применяемыми материалами для производства электродов, применяемых при сварке и наплавке деталей, являются порошковые материалы, получаемые методом электроэрозионного диспергирования.

2. Экспериментально установлено, что порошковые материалы, получаемые электроэрозионным диспергирова-

нием алюминиевых и титановых отходов, состоят из частиц сферической и эллиптической формы.

3. Представлены результаты исследования элементного состава порошковых материалов, получаемых электроэрозионным диспергированием алюминиевых и титановых отходов. Показано, что основными элементами порошков, полученных из алюминиевых отходов, являются алюминий и кислород, а основными элементами порошков, полученных из стружки марки ВТ6, являются Ti, Al, O, V, Fe, W и K.

4. Исследования гранулометрического состава порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования, показали, что средний размер частиц порошков, полученных из алюминиевых отходов, составляет 19,08 мкм, а средний размер частиц порошков, полученных из титановых отходов, составляет 33,12 мкм.

5. Установлено, что наиболее перспективным методом для производства электродов, используемых для сварки и наплавки деталей из алюминиевых и титановых сплавов, является метод искрового плазменного спекания.

## Список литературы

1. Полянсков Ю.В., Тамаров А.П. Электроискровое легирование и последующая лазерная обработка инструмента из быстрорежущих сталей // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 1998. № 2 (3). С. 49-54.

2. Иванов В.И., Бурумкулов Ф.Х. Электроискровое легирование // Ремонт. Инновации. Технологии. Модернизация. 2010. № 4 (52). С. 30-32.
3. Сафонов С.В., Смоленцев В.П., Грицюк В.Г. Электроискровое легирование и покрытие металлических изделий // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2014. № 11 (212). С. 13-19.
4. Мулин Ю.И., Верхотуров А.Д., Власенко В.Д. Электроискровое легирование поверхностей титановых сплавов // Перспективные материалы. 2006. № 1. С. 79-85.
5. Рыбалко А.В., Симинел А.В., Сахин О. Электроискровое легирование твердосплавным электродом в условиях применения нетрадиционных электрических параметров импульса обобщения результатов // Металлообработка. 2005. № 3 (27). С. 21-28.
6. Астапов И.А., Верхотуров А.Д., Козырь А.В. Электроискровое легирование сплава ВК8 карбидами переходных металлов IV-VI групп и металлокерамикой на основе карбида титана // Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки. 2009. № 3. С. 64-69.
7. Логинов П.К., Ретюнский О.Ю. Способы и технологические процессы восстановления изношенных деталей. Томск: Томский политехнический университет, 2010. 217 с.
8. Новиков А.Н., Стратулат М.П., Севостьянов А.Л. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей. Орел: ОрелГТУ, 2006. 332 с.
9. Агеева Е.В., Новиков Е.П., Агеев Е.В. Рентгеноструктурный анализ алюминиевого электроэрозионного порошка, полученного в дистиллированной воде // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. Т.20. №5 (68). С. 8-13.
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Osminina A.S. Properties and characterizations of powders produced from waste carbides // Журнал нано- и электронной физики. 2013. Т. 5. № 4. С. 04038-1-04038-2.
11. Исследование алюминиевого порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в дистиллированной воде / Р.А. Латыпов, Е.В. Агеев, Е.В. Агеева, Е.П. Новиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 4. С. 19-22.
12. Пат. 2612117 РФ. Российская Федерация, МПК В22F 9/14, С22В 7/00, С22В 21/00, В82У 30/00. Способ получения алюминиевого нанопорошка / Агеев Е. В., Новиков Е.П., Агеева Е. В.; заявитель и патентообладатель Юго-Зап. гос. ун-т. № 2015144702; заявл. 19.10.2015; опубл. 02.03.2017, Бюл. № 17.
13. Пат. 2631549 РФ. Российская Федерация, МПК В22F 9/14, С22В 34/12, В23Н 1/00. Способ получения порошка титана методом электроэрозионного диспергирования / Новиков Е.П., Агеев Е.В., Агеева Е.В.; заявитель и патентообладатель Юго-Зап. гос. ун-т. № 2016110017; заявл. 11.11.2016; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 27.

14. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Nanopowder Produced from High-Speed Steel Waste by Electrospark Dispersion in Water // *Russian Engineering Research*. 2015. Vol. 35, no 3. P. 189–190.

15. 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.

16. 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. № 1-1 (40). С. 182-189.

17. Размерные характеристики бронзового электроэрозионного порошка, полученного в воде / Е.В. Агеева, Е.В. Агеев, В.Ю. Чаплыгин, А.А. Горохов // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии*. 2016. № 1 (18). С. 30-35.

18. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получение и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // *Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия*. 2014. № 5. С. 50-53.

19. 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. P. 577-580.

## Reference

1. Polyanskov Yu. V., Tamarov A. P. Elektroiskrovoe legirovanie i posleduyushchaya lazernaya obrabotka instrumenta iz bystrozrezhushchikh stalei [Electrospark alloying and subsequent laser processing of high-speed steel tools]. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Ulyanovsk state technical University*, 1998, no. 2 (3), pp. 49-54 (In Russ.)

2. Ivanov I. I., Burumkulov F. H. Elektroiskrovoe legirovanie [Electrospark / In doping]. *Remont. Innovatsii. Tekhnologii. Modernizatsiya = Repair. Innovations. Technologies. Modernization*, 2010, no. 4 (52), pp. 30-32 (In Russ.)

3. Safonov S. V., Smolentsev V. P., Gritsyuk V. G. Elektroiskrovoe legirovanie i pokrytie metallicheskih izdelii [Electrospark alloying and coating of metal products]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal s prilozheniem = Handbook. Engineering journal with the app*, 2014, no. 11 (212), pp. 13-19. (In Russ.)

4. Mulin Yu. I., Verhoturov A. D., Vlasenko V. D. Elektroiskrovoe legirovanie i pokrytie metallicheskih izdelii [Electrospark alloying of surfaces of titanium alloys]. *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal s prilozheniem = Perspective materials*, 2006, no. 1, pp. 79-85 (In Russ.)

5. Rybalko A.V., Siminel A.V., Sakhin O. Elektroiskrovoe legirovanie tverdosplavnym elektrodom v usloviyakh primeneniya netraditsionnykh elektricheskikh parametrov impul'sa obobshchenie rezul'tatov [Electrospark alloying with a carbide electrode in the conditions of application of unconventional electrical parameters of the pulse generalization of the results]. *Metalloobrabotka = Metalworking*, 2005, no. 3 (27), pp. 21-28 (In Russ.)

6. Astapov I. A., Verhoturov A. D., Kozyr A. V. Elektroiskrovoe legirovanie splava VK8 karbidami perekhodnykh metallov IV-VI grupp i metallokeramikoi na osnove karbida titana [Electrospark alloying of the alloy vk8 WITH transition metal carbides IV and VI groups and with metal ceramics based on titanium carbide]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki = Bulletin of the Pomor University. Series: Natural Sciences*, 2009, no. 3, pp. 64-69 (In Russ.)

7. Loginov P. K., Retyunsky O. Y. Elektroiskrovoe legirovanie splava VK8 karbidami perekhodnykh metallov IV-VI grupp i metallokeramikoi na osnove karbida titana [Methods and technological processes of restoration of worn parts]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 217 p. (In Russ.)

8. Novikov A. N., Stratulat M. P., Sevostyanov A. L. Vosstanovlenie i uprochnenie detalei avtomobilei [Restoration and strengthening of car parts]. Orel, OrelGTU Publ, 2006, 332 p. (In Russ.)

9. Ageeva E. V., Novikov E. P., Ageev E. V. Rentgenostrukturnyi analiz alyuminievogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v distillirovannoi vode [X-ray Diffraction analysis of aluminum electroerosive powder obtained in distilled water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2016, vol. 20, no. 5 (68), pp. 8-13 (In Russ.)

10. Ageeva E. V., Ageev E. V., Osminina A. S. Properties and characterizations of powders produced from waste carbides. *Zhurnalnano- ielektronnoifiziki = Journal-and-electron Physics*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 04038-1-04038-2.

11. Latypov R. A., Ageev E. V., Ageeva E. V., Novikov E. P. Issledovanie alyuminievogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v distillirovannoi vode [Investigation of aluminum powder obtained by the method of electroerosion dispersion in distilled water]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik = Materials All. Encyclopedic reference book*, 2016, no. 4, pp. 19-22. (In Russ.)

12. Ageev E. V., Novikov E. P., Ageeva E. V. Sposob polucheniya alyuminievogo nanoporoshka [Method for producing aluminum nanopowder]. Patent RF, no. 2612117, 2017.

13. Novikov E. P., Ageev E. V., Ageeva E. V. Sposob polucheniya poroshka titana metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [Method for producing titanium powder by electroerosion dispersion]. Patent RF, no. 2631549, 2017.

14. Ageeva E. V., Ageev E. V., Karpenko V. Yu. Nanopowder obtained from high-speed steel waste by electrospark dispersion in water. *Russian Engineering Studies*, 2015, vol. 35, no. 3, pp. 189-190.

15. 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 THE 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.)

16. Ageev E. V., Gadalov V.N., Ageeva E. V., Bobryshev R. V. Poroshki, poluchennye elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tver-dykh splavov - perspektivnyi material dlya vosstanovleniya detalei avtotraktornoi tekhniki [Powders obtained by electroerosion dispersion of solid alloy waste - a promising material for the restoration of parts of automotive engineering]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 1-1 (40), pp. 182-189 (In Russ.)

17. Ageev E. V., Ageev E. V., Chaplygin.Y., Gorokhov A. Razmernye kharakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode [Sizing bronze spark erosion powder obtained in water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35 (In Russ.)

18. Ageev E. V., Latypov R. A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashchikh otkhodov [Preparation and study of solid alloy blanks from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tsvetnaya metallurgiya. = Proceedings of higher educational institutions. Nonferrous metallurgy*, 2014, no. 5, pp. 50-53 (In Russ.)

19. Ageev E. V., Latypov R. A. Production and research of carbide blanks from powders obtained by electroerosive dispersion of tungsten-containing waste. *Russian journal of non-ferrous metals*, 2014, vol. 55, is.6, pp. 577-580.

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Латыпов Рашит Абдулхакович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования и технологии сварочного производства, ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Российская Федерация  
e-mail: latipov46@mail.ru

**Rashit A. Latypov**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Equipment and Technology of Welding Production, Moscow, Russian Federation  
e-mail: latipov46@mail.ru

**Агеев Евгений Викторович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация  
e-mail: ageev\_ev@mail.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

**Evgeniy V. Ageev**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor, Department of Automobiles and Automobile Economy, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: ageev\_ev@mail.ru  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3862-8624>

**Новиков Евгений Петрович**, аспирант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация  
e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru

**Evgeniy P. Novikov**, Post-Graduate Student, Department of Automobiles and Automobile Economy, Southwest State University, Kursk, Russian Federation,  
e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru