

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-21-33>

Исследования свойств электроискровых покрытий, полученных электродами из титановых электроэрозионных частиц

Е. В. Агеева ¹✉, Р. А. Латыпов ², Е. П. Новиков ¹, Б. Н. Сабельников ¹

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

² ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
ул. Большая Семеновская, д. 38, г. Москва, 107023, Российская Федерация

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Современный автомобиль является очень сложной системой, включающей в себя порядка 15...20 тыс. деталей, причем более 7 тысяч теряют свои первоначальные характеристики в процессе эксплуатации. Как показывает практика, более 4000 деталей автомобиля утрачивают свою работоспособность значительно раньше истечения срока эксплуатации автотранспортного средства в целом. Наличие этих факторов приводит к значительным затратам на ремонт, а так же к потерям прибыли, вызванным длительными простоями части подвижного состава. Рост эффективности и качественное совершенствование различных областей общественного производства ставят новые и более сложные задачи по повышению работоспособности и надежности деталей. Эти задачи могут быть решены как за счет создания специальных инновационных материалов, так и развития и внедрения в производство новейших методов упрочнения автомобильных деталей и нанесения на них защитных покрытий. Электроискровое легирование металлических поверхностей является одним из этих методов. Электроискровое легирование получило широкое распространение в большинстве видов промышленности, в том числе в автомобильном производстве, машиностроении и металлообработке. Метод электроискрового легирования позволяет обеспечить высокую степень адгезии, высокий КПД и низкий расход энергии. Наибольший интерес представляют электроды с наноразмерными частицами. Наиболее перспективным методом является электроэрозионное диспергирование, направленное на получение наноразмерных материалов. Целью настоящей работы являлось изучение свойств покрытий, полученных методом электроискрового легирования с использованием порошковых электродов, изготовленных из электроэрозионных частиц, полученных в воде дистиллированной из отходов титанового сплава марки ВТ6.

Методы. Для получения титанового порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали стружку марки ВТ6. Консолидация частиц, полученных электроэрозионным диспергированием отходов титанового сплава марки ВТ6, выполнена по методу искрового плазменного спекания с использованием системы искрового плазменного спекания SPS 25-10. Для нанесения электроискровых покрытий применялась установка «UR-121». С целью изучения формы и морфологии покрытий, полученных экспериментальным путем, были сделаны снимки на растровом (сканирующем) электронном микроскопе QUANTA 600 FEG. Рентгеноспектральный анализ выполнен с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG. Шероховатость поверхности образцов исследовали на профилометре SURTRONIC 25.

Результаты. В результате исследования свойств порошковых электродов из электроэрозионных частиц и покрытий, полученных методом электроискрового легирования, экспериментально установлено, что основными элементами в спеченном образце из титановых частиц, полученных в воде дистил-

лированной, являются титан, кислород, алюминий и вольфрам. Остальные элементы присутствуют в незначительных количествах. Установлено, что шероховатость образцов с электроискровым покрытием составляет $Rz\ 13,2\ \mu\text{m}$ ($Ra\ 2,14\ \mu\text{m}$). Соответственно данные частицы, полученные в воде дистиллированной из отходов титанового сплава марки ВТ6, можно использовать для изготовления электродов, пригодных для восстановления автомобильных деталей методом электроискрового легирования.

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

Ключевые слова: отходы титанового сплава; электроэрозионное диспергирование; порошок; искровое плазменное спекание; электрод; электроискровое легирование; элементный состав; коэффициент трения.

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

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-50065.

Для цитирования: Исследования свойств электроискровых покрытий, полученных электродами из титановых электроэрозионных частиц / Е. В. Агеева, Р. А. Латыпов, Е. П. Новиков, Б. Н. Сабельников // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(6): 21-33. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-21-33>.

Поступила в редакцию 10.09.2019

Подписана в печать 30.10.2019

Опубликована 23.12.2019

Study of Electric Spark Coatings Properties Obtained by Electrodes from Titanium Electroerosive Particles

Ekaterina V. Ageeva¹ ✉, Rashit A. Latypov², Evgeny P. Novikov¹,
Boris N. Sabel'nikov¹

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

² Moscow Polytechnic University
38 Bolshaya Semenovskaya str., Moscow 107023, Russian Federation

✉ e-mail: ageeva-ev@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. Modern car is a very complex system which has about 15... 20 thousand parts. More than 7 thousand lose their initial characteristics during operational process. As practice shows, more than 4000 car parts lose their operability much earlier than the expiration of vehicle life as a whole. These factors lead to significant repair costs, as well as profit losses caused by long delays in part of the rolling stock. Efficiency and qualitative improvement growth of various areas of public production pose new and more complex tasks to increase the efficiency and reliability of parts. These tasks can be solved both by creating special innovative materials and by developing and introducing into production the latest methods of car parts strengthening and applying protective coatings. Electric spark alloying of metal surfaces is one of these methods. Electric spark alloying is widespread in most industries, including automotive manufacturing, mechanical engineering and metalworking. Electric spark alloying method provides high degree of adhesion, high efficiency and low energy consumption. Electrodes with nano particles are of greatest interest. The most promising method is electroerosive dispersion used in the production of nano materials. The purpose of the work is to study coatings' properties obtained by electric spark alloying using powder electrodes made from electroerosive particles obtained in distilled water from titanium alloy wastes of grade BT6.

Methods. BT6 grade chips were used to prepare titanium powder by electroerosive dispersion. Consolidation of the particles received by electroerosive dispersion of BT6 titanite alloy waste is done by spark plasma agglomeration

method with the use of spark plasma agglomeration system of SPS 25-10. UR-121 installation was used to cover electrospark coverings. Experimental pictures on QUANTA 600 FEG raster (scanning) electronic microscope were made to study coverings' form and morphology. X-ray spectrum analysis was performed by EDAX 's energy dispersion X-ray analyzer built into QUANTA 600 FEG raster electron microscope. Surface roughness of samples was examined on SURTRONIC 25 profilometer.

Results. *It was experimentally stated that titanium, oxygen, aluminium and tungsten are the main elements in the sintered sample of titanium particles obtained in distilled water. It was stated as a result of properties investigation of powder electrodes from electroerosive particles and coatings obtained by electrospark alloying. Other elements are present in minor amounts. Roughness of electric spark coated samples is Rz 13.2 μm (Ra 2.14 μm). These particles obtained in water distilled from BT6 titanium alloy waste can be used for electrodes suitable for automotive parts recovering by electric spark alloying.*

Conclusion. *Obtained results can be used in creation of resource-saving processes of metal alloys and composite materials.*

Keywords: titanium alloy wastes; electroerosive dispersion; powder; spark plasma agglomeration; electrode; electrospark alloying; element structure; friction coefficient.

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

Funding: *The study was carried out with RFBR support in scientific project No. 19-38-50065.*

For citation: Ageeva E. V., Latypov R. A., Novikov E. P., Sabel'nikov B. N. Study of Electric Spark Coatings Properties Obtained by Electrodes from Titanium Electroerosive Particles. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(6): 21-33 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-21-33>.

Received 19.09.2019

Accepted 30.10.2019

Published 23.12.2019

Введение

Современный автомобиль является очень сложной системой, включающей в себя порядка 15...20 тыс. деталей, причем более 7 тысяч теряют свои первоначальные характеристики в процессе эксплуатации. Как показывает практика, более 4000 деталей автомобиля утрачивают свою работоспособность значительно раньше истечения срока эксплуатации автотранспортного средства в целом. Наличие этих факторов приводит к значительным затратам на ремонт, а так же к потерям прибыли, вызванными длительными простоями части подвижного состава [1].

В ходе проведения исследования было выявлено, что для более чем 70% изношенных деталей автомобилей, целесообразно было бы проводить работы по восстановлению с целью их повторного использования. Что касается затрат на данный вид работы с изношенными деталями, то в подавляющем большинстве случаев эти показатели не превышают и 30% от стоимости новых деталей, а при условии квалифицированного выбора технологии для восстановления становится возможным достижение ресурса, равного ресурсу новой детали [2-5].

Рост эффективности и качественное совершенствование различных областей

производства ставят новые и более сложные задачи по повышению работоспособности и надежности деталей. Эти задачи могут быть решены как за счет создания специальных инновационных материалов, так и развития и внедрения в производство новейших методов упрочнения автомобильных деталей и нанесения на них защитных покрытий.

Для упрочнения и нанесения защитных покрытий весьма перспективным является метод электроискрового легирования металлических поверхностей [6-8].

Электроискровое легирование получило широкое распространение в большинстве видов промышленности, в том числе в автомобильном производстве, машиностроении и металлообработке. Метод электроискрового легирования позволяет обеспечить высокую степень адгезии, высокий КПД и низкий расход энергии.

Наибольший интерес представляют электроды с наноразмерными частицами. Наиболее перспективным методом является электроэрозионное диспергирование, направленное на получение наноразмерных материалов.

Целью настоящей работы являлось исследование свойств покрытий, полученных методом электроискрового легирования с использованием электродов, изготовленных из электроэрозионных порошковых материалов, полученных методом электроэрозионного диспергирования титановых сплавов марки ВТ6.

Материалы и методы

Одним из перспективных методов получения порошковых материалов, пригодных для изготовления электродов практически из любого токопроводящего материала, является метод электроэрозионного диспергирования [9-13].

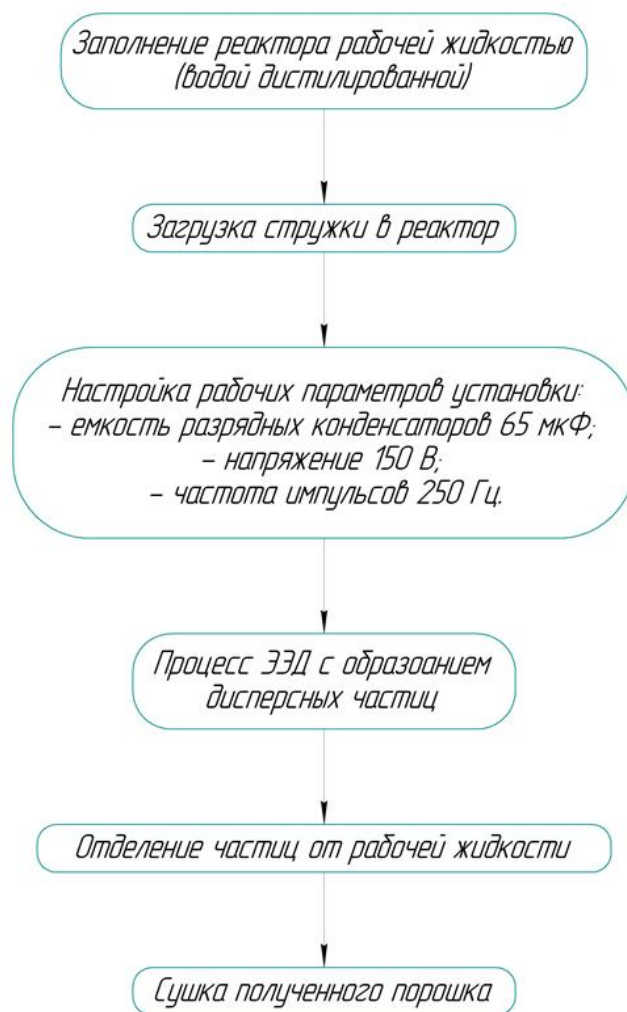
Для получения титанового порошкового материала методом электроэрозионного диспергирования использовали стружку марки ВТ6. Блок-схема получения порошка методом ЭЭД представлена на рис. 1.

Консолидация частиц, полученных электроэрозионным диспергированием отходов титанового сплава марки ВТ6, выполнена по методу искрового плазменного спекания с использованием системы искрового плазменного спекания SPS 25-10 (Thermal Technology, США) по схеме, представленной на рис. 2. На рис.3. представлена блок-схема процесса искрового плазменного спекания частиц.

Для нанесения электроискровых покрытий применялась установка «UR-121», представленная на рис. 4.

Процесс нанесения ЭИЛ покрытия занимает 30 ... 60 секунд на 10 мм² в зависимости от электродного материала и материала восстанавливаемой детали, что приводит к увеличению срока службы от 1,5 раз и более.

Разработанные электроды из титанового сплава предлагается использовать с целью восстановления деталей типа «вал».

**Рис.1.** Блок-схема получения порошка методом ЭЗД**Fig. 1.** EED powder flow chart

К основным дефектам деталей подобного типа относятся износ рабочей поверхности в сопряжениях вал – подшипник скольжения; царапины, задиры, риски, а также другие локальные дефекты. В процессе разработки технологического процесса были отработаны режимы и технологические приемы операций нанесения восстановительных покрытий методами ЭИЛ, режимы механической обработки и упрочнения.

После нанесения покрытия были проведены исследования коэффициента

трения. По их результатам было установлено, что при использовании в качестве контртела (шарика) стали марки «Stainless Steel AISI 420» на соответствующем пути трения происходит следующее:

- 100 м – налипание продуктов изнашивания образца на контртело;
- 200 м – налипание продуктов изнашивания образца на контртело;
- 500 м – частичный износ контртела и налипание продуктов изнашивания образца на контртело.

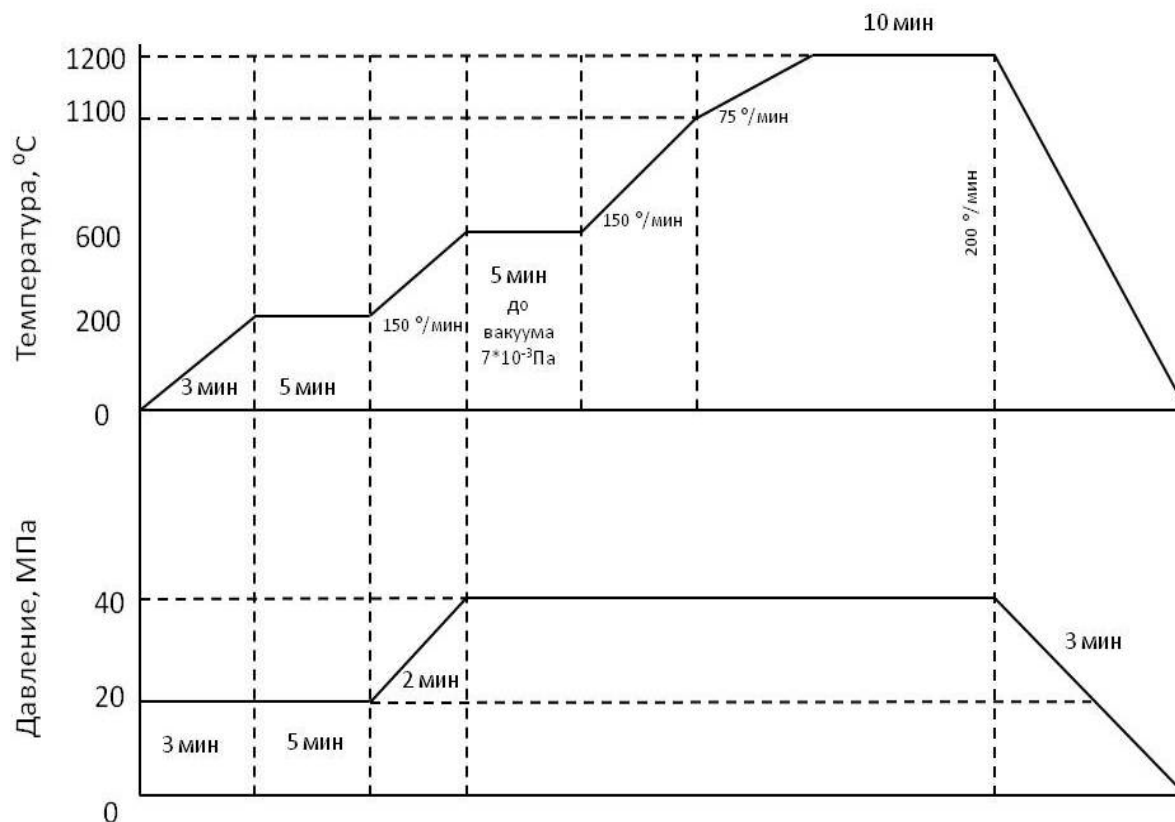


Рис. 2. Консолидация порошков методом искрового плазменного спекания (схема)

Fig. 2. Consolidation of powders by spark plasma sintering (scheme)

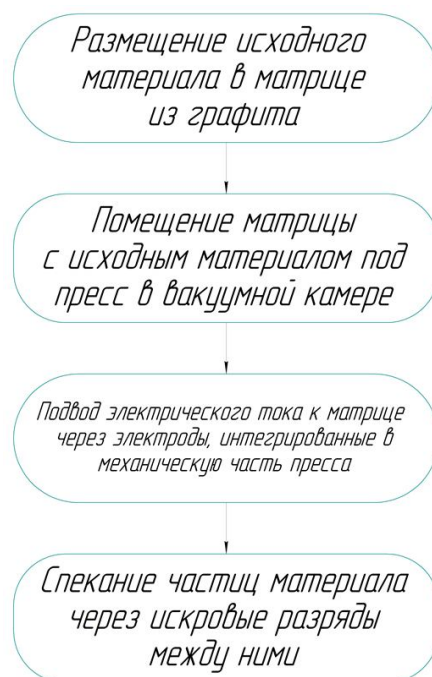


Рис. 3. Блок-схема процесса искрового плазменного спекания частиц

Fig. 3. The block diagram of the process of spark plasma sintering of particles



Технические характеристики установки «UR-121»:
 Энергопотребление – 0,11 кПа;
 Напряжение 22 В;
 Возможная толщина нанесенного покрытия 10...30 мкм;
 Глубина диффузионного слоя до 50 мкм;
 Расход одного применяемого электрода 400...800 см² в зависимости от марки электрода

Рис. 4. Установка для электроискровой обработки «UR-121»

Fig. 4. Installation for electric spark processing «UR-121»

С целью изучения формы и морфологии покрытий, полученных экспериментальным путем, были сделаны снимки на растровом (сканирующем) электронном микроскопе QUANTA 600 FEG.

Рентгеноспектральный анализ электроискровых покрытий проведен с применением энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп QUANTA 600 FEG.

Результаты и их обсуждение

Результаты микроскопии и микроанализа покрытия, полученного методом электроискрового легирования из порошковых электродов, изготовленных из частиц, полученных методом электроэрозионного диспергирования в воде дистиллированной, представлены на рис. 5, 6 и в табл. 1.

Таблица 1. Элементный состав образца

Table 1. Elemental composition of the sample

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
Si	1,11	2,27
Al	5,39	3,22
O	25,89	28,59
Fe	0,72	0,74
Ti	63,19	61,56
W	3,69	3,61
Итого:	100,00	100,00

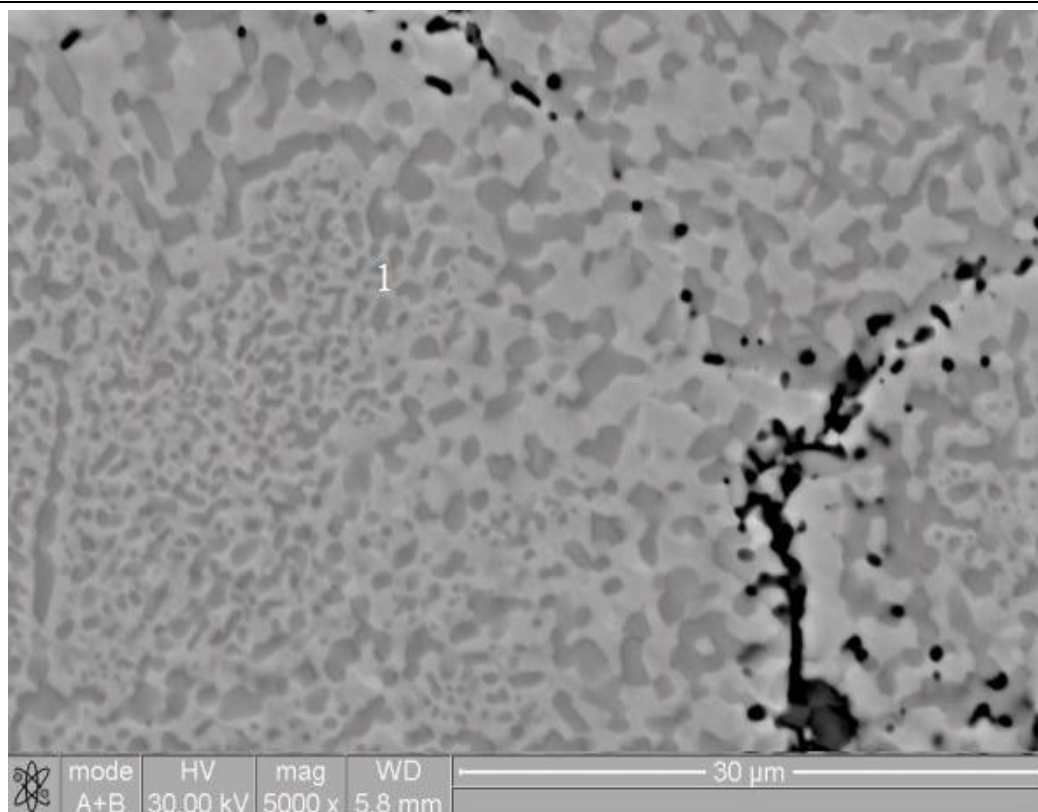


Рис. 5. Микроструктура электрода из титанового порошка

Fig. 5. Micro structure of titanium powde relectrode

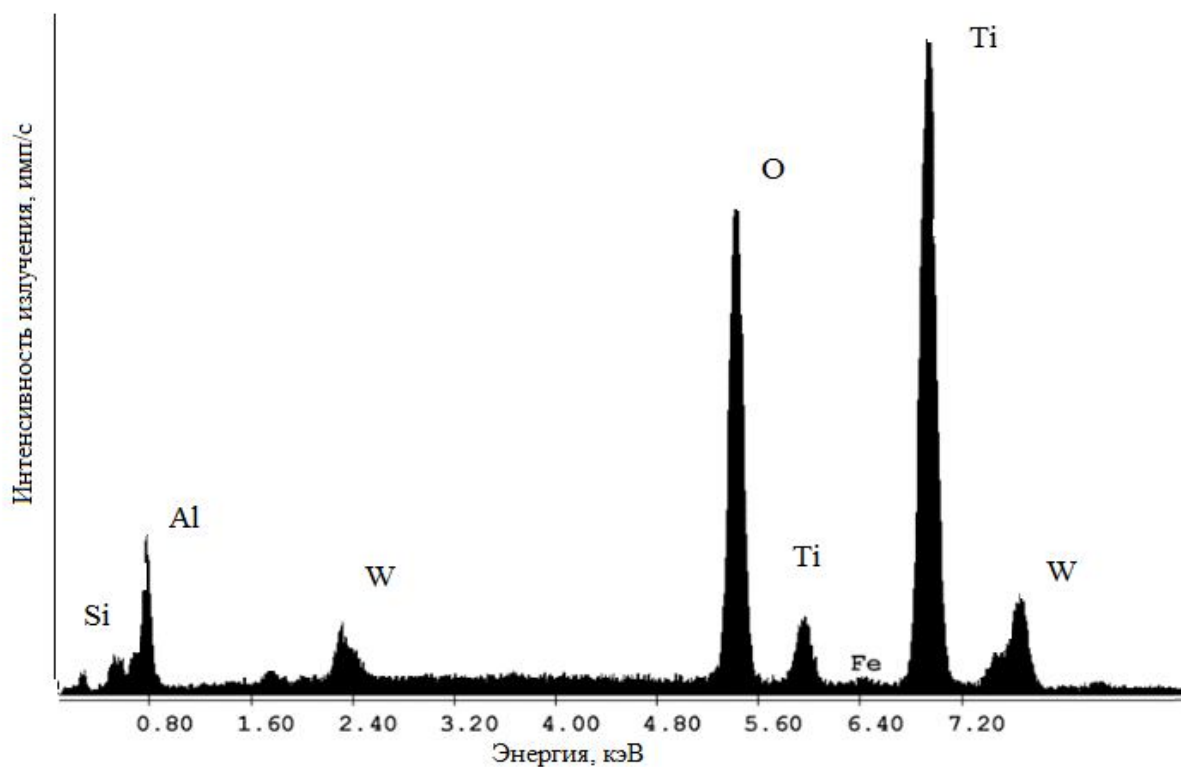


Рис. 6. РСМА электрода из электроэрозионного порошка

Fig. 6. RSMA electrode of the EDM powder

Установлено, что основными элементами покрытий, полученных методом электроискрового легирования, являются титан, кислород, алюминий и вольфрам. Остальные элементы присутствуют в незначительных количествах.

Результаты исследования шероховатости поверхности образцов представлены на рис. 7.

Экспериментально установлено, что шероховатость образцов с электроискровым покрытием составляет R_z 13,2 мкм (R_a 2,14 мкм).

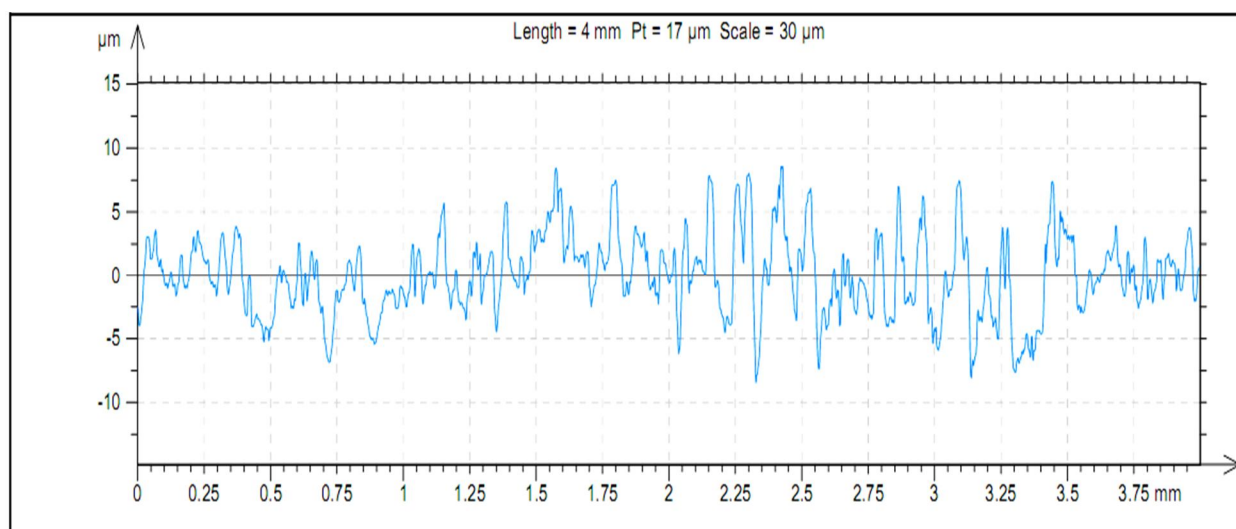


Рис. 7. Шероховатость поверхности образца («SURTRONIC 25»)

Fig. 7. Sample surface roughness ("SURTRONIC 25")

Выводы

1. В результате исследования свойств порошковых электродов из электроэрозионных частиц и покрытий, полученных методом электроискрового легирования, экспериментально установлено, что основными элементами в спеченном образце из титановых частиц, полученных в воде дистиллированной, являются титан, кислород, алюминий и вольфрам. Остальные элементы присутствуют в незначительных количествах.

2. Установлено, что шероховатость образцов с электроискровым покрытием составляет R_z 13,2 мкм (R_a 2,14 мкм). Соответственно данные частицы, полученные в воде дистиллированной из отходов титанового сплава марки ВТ6, можно использовать для изготовления электродов, пригодных для восстановления автомобильных деталей методом электроискрового легирования.

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 обобщение 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. №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. Новиков Е.П. Методы переработки алюминиевых отходов автомобильного производства // Будущее науки – 2015: сб. науч. статей 3-й Межд. науч.-практ. конф.: в 2 т. Курск: ЮЗГУ, 2015. Т. 2. С. 287–293.
12. Новиков Е.П., Агеев Е.В. Исследование гранулометрического состава алюминиевого порошка // Инновации в металлообработке: взгляд молодых специалистов: сб. науч. тр. Межд. науч.-техн. конф. Курск, 2015. С. 252–256.
13. Порошковые композиционные электроэрозионные материалы: получение и свойства: монография / А.Ю. Алтухов, Е.В. Агеева, О.В. Кругляков, А.В. Щербаков, Е.П. Новиков. Курск, 2016. 146 с.
14. 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.

15. Пат. 2612117 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.

16. Пат. 2631549 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.

17. 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.

References

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

2. Ivanov V.I., Burumkulov F.H. Elektroiskrovoe legirovanie [Electro-Spark doping]. *Remont. Innovacii. Tekhnologii. Modernizaciya = Repair. Innovations. Technologies. Modernization*. 2010, № 4 (52), pp. 30-32 (In Russ.).

3. Safonov S.V., Smolencev V.P., Gricyuk V.G. Elektroiskrovoe legirovanie i pokrytie metallicheskih izdelij [Electric Spark alloying and coating of metal products]. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal s prilozheniem = Reference Book. Engineering magazine with app*, 2014, no. 11 (212), pp. 13-19 (In Russ.).

4. Mulin Yu.I., Verhoturov A.D., Vlasenko V.D. Elektroiskrovoe legirovanie poverhnostej titanovykh splavov [Electroscopic alloying of surfaces of titanium alloys]. *Perspektivnye materialy = Perspective materials*, 2006, no. 1, pp. 79-85 (In Russ.).

5. Rybalko A.V., Siminel A.V., Sahin O. Elektroiskrovoe legirovanie tverdosplavnym elektrodom v usloviyah primeneniya netradicionnykh elektricheskikh parametrov impul'sa obobshchenie rezul'tatov [Electric Spark alloying with a solid-alloy electrode under conditions of using non-traditional electrical pulse parameters generalization of 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 metallokeramikoj na osnove karbida titana [8 carbides of transition metals of groups IV-VI and cermets based on titanium carbide]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki = Vestnik pomorskogo universiteta. Series: Natural Sciences*, 2009, no. 3, pp. 64-69 (In Russ.).

7. Loginov P.K., Retyunskij O.Yu. Sposoby i tekhnologicheskie processy voss-tanovleniya iznoshennyh detalej [Methods and technological processes for restoring worn parts]. Tomsk, *Tomskij politekhnicheskij universitet = Tomsk Polytechnic University Publ.*, 2010, 217 p. (In Russ.).
8. Novikov A.N., Stratulat M.P., Sevost'yanov A.L. Vosstanovlenie i uprochnenie de-talej avtomobilej [Restoration and strengthening of car parts]. Orel, *OrelGTU Publ.*, 2006, 332 p. (In Russ.).
9. Ageeva E.V., Novikov E.P., Ageev E.V. Rentgenostrukturnyj analiz alyuminievogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v distillirovannoj vode [X-ray refraction of electroerosion aluminum powder produced in distilled water]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University* 2016, no. 5 (68), pp. 8-13 (In Russ.).
10. Ageeva E.V., Ageev E.V., Osminina A.S. Properties and characterizations of pow-ders produced from waste carbides. *Zhurnal nano- i elektronnoj fiziki = Journal of nano-and electronic physics*, 2013, vol. 5, no. 4, pp. 04038-1-04038-2.
11. Novikov E.P. [Methods of processing aluminum waste of automobile production]. *Budushchee nauki – 2015. Sb. nauch. statej 3-j Mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Future of sci-ence-2015. Collection nauch. articles of the 3rd Intern. science]. Kursk, 2015, vol. 2, pp. 287–293 (In Russ.).
12. Novikov E.P., Ageev E.V. [Study of the granulometric composition of aluminum powder]. *Innovacii v metalloobrabotke: vzglyad molodyh specialistov. Sb. nauch. tr. Mezhd. nauch.-tekhn. konf.* [Innovations in Metalworking: a view of young professionals. Collection of scientific works. tr. Intl. science.- yeah]. Kursk, 2015, pp. 252–256 (In Russ.).
13. Altuhov A.Yu., Ageeva E.V., Kruglyakov O.V., Shcherbakov A.V., Novikov E.P. *Poroshkovye kompozicionnye elektroerozionnye materialy: poluchenie i svoystva* [Elect-roerosive Powder composite materials: preparation and properties]. Kursk, 2016, 146 p. (In Russ.).
14. Latypov R.A., Ageev E.V., Ageeva E.V., Novikov E.P. Issledovanie alyuminievogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v distillirovannoj vode [Investigation of aluminum powder obtained by electroerosive dispersion in distilled water]. *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik = All materials. Encyclopedic refer-ence book*, 2016, no. 4, pp. 19-22 (In Russ.).
15. Ageev E. V., Novikov E.P., Ageeva E. V. Sposob polucheniya alyuminievogo na-noporoshka [Method for producing aluminum nanopowder]: Patent 2612117 RF MPK B22F 9/14, C22B 7/00, C22B 21/00, B82Y 30/00. *zayavitel' i patentoobladatel' YugoZap. gos. un-t. № 2015144702; zayavl. 19.10.2015; opubl. 02.03.2017, Byul. № 17* (In Russ.).
16. Novikov E.P., Ageev E.V., Ageeva E.V. Sposob polucheniya poroshka titana metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya [A method for obtaining titanium powder by

electroerosion dispersion]: Patent 2631549 RF, MPK B22F 9/14, C22B 34/12, B23H 1/00 . applicant patent holder of FSBEI HPE Southwest State University. 25.09.2017 (In Russ.).

17. 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, pp. 189–190.

Информация об авторах / Information about the Authors

Агеева Екатерина Владимировна, кандидат технических наук, доцент, 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, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail :ageev-ev@yandex.ru

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, Dr. of Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Equipment and technology of welding production, Moscow Polytechnic University. Moscow, Russian Federation, e-mail: latipov46@mail.ru

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 Automotive Economy, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: evgeniy-novikov-92@mail.ru

Сабельников Борис Николаевич, аспирант кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, e-mail: sabelnikovboris1@mail.ru

Boris N. Sabel'nikov, Post-Graduate Student, Department of Automobiles and Automotive Economy, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail:sabelnikovboris1@mail.ru