

УДК 621.762.27

**А.Ю. Алтухов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: alt@yandex.ru)

**Е.В. Агеева**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ageeva-ev@yandex.ru)

**А. А. Горохов**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: disclos@yandex.ru)

**А.С. Осьминина**, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

## **РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ**

*Развитие современного машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности деталей, узлов и механизмов. Одним из эффективных путей решения этих задач является применение различных функциональных покрытий, полученных в том числе и методом электроискрового легирования (ЭИЛ). Основными электродными материалами в основном служат спеченные твердые сплавы, стоимость которых, ввиду присутствия дорогостоящего вольфрама, относительно высока. Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов твердого сплава и быстрорежущей стали, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса.*

*Целью настоящей работы являлось проведение рентгеноспектрального микроанализа электроискрового покрытия, полученного электроискровым легированием на установке UR-121 с использованием электродов из смеси электроэрозионных порошков марки ВК8 (90%)+Р6М5 (10%), полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава и быстрорежущей стали в керосине осветительном.*

*Электрод был получен путем смешивания порошков в соотношении ВК-8 (90%) + Р6М5(10%). Электроискровые покрытия, сформированные данным электродом, на образце из стали 30ХГСА получали на установке UR-121 (производство фирмы ПЭЛМ, г. Подольск).*

*С целью выявления распределения элементов по поверхности электроискровых покрытий, с помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 200 3D», были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках на поверхности образца.*

*На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на проведение рентгеноспектрального микроанализа электроискрового покрытия, полученного электроискровым легированием на установке UR-121 с использованием электродов из смеси электроэрозионных порошков марки ВК8 (90%)+Р6М5 (10%), полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава и быстрорежущей стали в керосине осветительном, определено содержание основных элементов в нем.*

**Ключевые слова:** электроэрозионное диспергирование; электроискровое легирование; вольфрам-содержащее покрытие; рентгеноспектральный микроанализ.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-3-29-39

**Ссылка для цитирования:** Рентгеноспектральный микроанализ электроискровых покрытий на основе вольфрамсодержащих электроэрозионных порошков / А.Ю. Алтухов, Е.В. Агеева, А.А. Горохов, А.С. Осьминина // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 3(78). С. 29-39.

\*\*\*

### **Введение**

Развитие современного машиностроения требует повышения качества, надежности и долговечности деталей, узлов

и механизмов. Одним из эффективных путей решения этих задач является применение различных функциональных покрытий, полученных в том числе и методом электроискрового легирования (ЭИЛ), к до-

стоинствам которого относятся простота процесса, высокая адгезия покрытий, низкая энергоемкость и высокая экологичность [1-3]. Основными электродными материалами в основном служат спеченные твердые сплавы, стоимость которых, ввиду присутствия дорогостоящего вольфрама, относительно высока. Для решения данной проблемы в качестве электродного материала предлагается использовать в качестве основной фракции порошок твердого сплава марки ВК8 (90%) и добавлять 10% порошка быстрорежущей стали марки Р6М5.

Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и отходов твердого сплава и быстрорежущей стали, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [4-14].

Целью настоящей работы являлось проведение рентгеноспектрального микроанализа электроискрового покрытия, полученного электроискровым легированием на установке UR-121 с использованием электродов из смеси электроэрозионных порошков марки ВК8 (90%)+Р6М5 (10%), полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава и быстрорежущей стали в керосине осветительном.

#### Материалы и методы исследования

Для получения порошка микро- и нанодисперсий из отходов твердого сплава и быстрорежущей стали использовали установку для электроэрозионного диспергирования токопроводящих материалов.

На первом этапе прессования порошок помещали в гибкую резиновую фор-

му и предварительно вручную уплотняли до плотности  $3,1847 \text{ г/см}^3$ . Далее образцы помещали в рабочую камеру пресса при температуре  $18^\circ \text{C}$ , давление нагнетали до необходимой величины, при этом давлении образец выдерживался в течение 2 минут, после чего давление сбрасывали до атмосферного и скомпактированные образцы извлекали из резиновой формы. Давление изостатического прессования составило 250 МПа. Скомпактированные образцы в печи Nabertherm VHT 8/22 спекали в течение 2 часов при температуре  $1250^\circ \text{C}$  в среде аргона. Электрод был получен путем смешивания порошков в соотношении ВК-8 (90%) + Р6М5(10%), Электроискровые покрытия, сформированные данным электродом, на образце из стали 30ХГСА получали на установке UR-121 (производство фирмы ПЭЛМ, г. Подольск).

С целью выявления распределения элементов по поверхности электроискровых покрытий, с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 200 3D», были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках на поверхности образца и по поперечному шлифу.

Результаты представлены на рисунках 1-9 и в таблицах 1-7.

Затем в точках 1–2, указанных на полученном снимке, с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «QUANTA 600 FEG», были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках по поверхности образца порошка.

## Результаты и их обсуждение

Точкам на рисунках соответствуют спектры характеристического рентгеновского излучения. На спектре каждому химическому элементу соответствует пик определенной высоты.

По точкам 1–2 был проведен элементный анализ по безэталонному мето-

ду. Расчет сделан в автоматическом режиме на элементную форму.

Исследуемый образец поверхности с покрытием в качестве основных минералов содержит вольфрам, железо и углерод, а также присутствует в небольшом количестве кислород, молибден, ванадий, хром, а такие элементы, как марганец и кобальт содержатся в количестве менее 1,03 %.



Рис. 1. Снимок с РЭМ поверхности образца с покрытием (режим обратно-рассеянных электронов) при разрешающей способности 2000 с указанием точек проведения РСМА

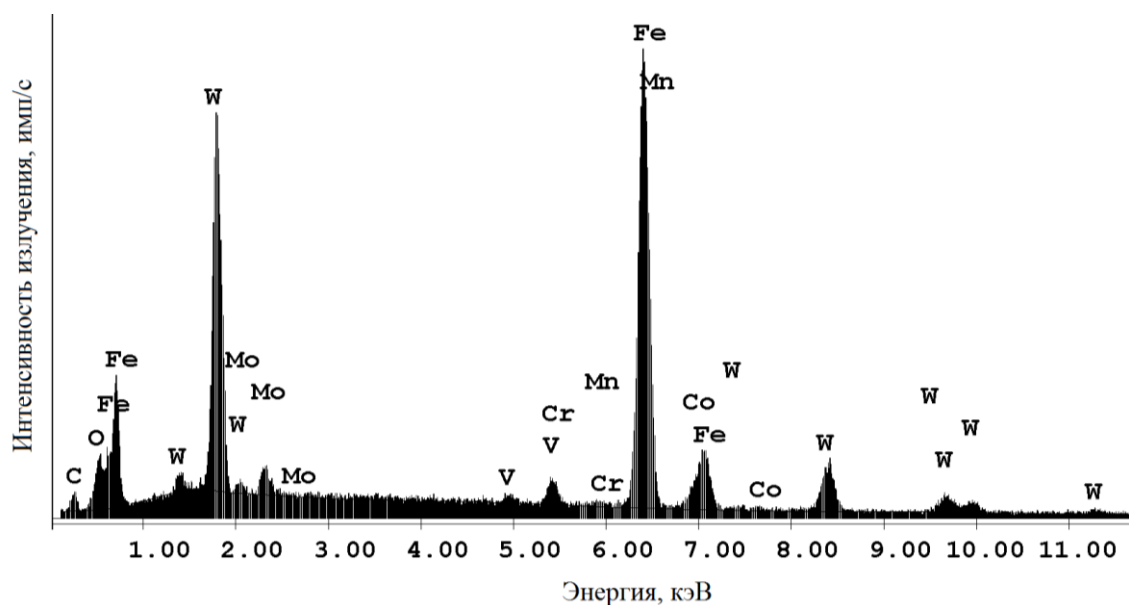


Рис. 2. РСМА образца с покрытием в точке 1

Таблица 1

РСМА образца с покрытием в точке 1

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	3,57	17,14
O	3,39	12,25
Mo	3,08	1,85
V	0,57	0,65
Cr	1,92	2,13
Mn	0,33	0,34
Fe	50,98	52,69
Co	2,38	2,33
W	33,78	10,61
Итого	100,00	100,00

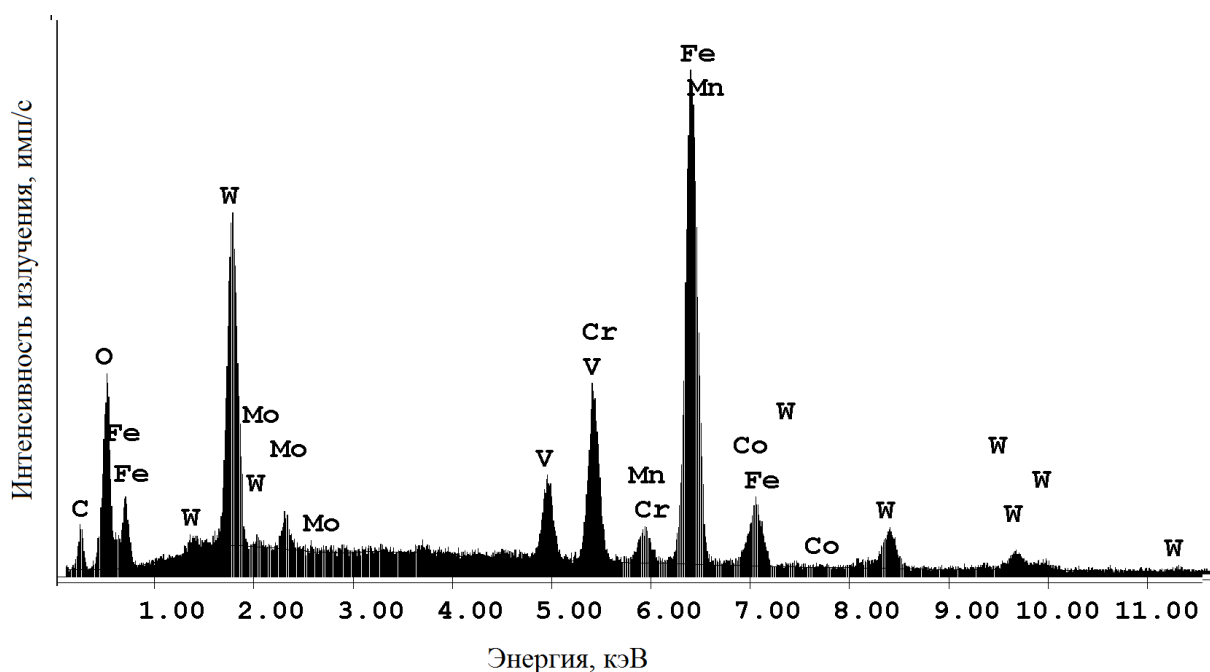


Рис. 3. РСМА образца с покрытием в точке 2

Таблица 2

РСМА образца №2 с покрытием в точке 2

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	5,78	20,95
O	8,96	24,38
Mo	2,29	1,04
V	4,25	3,64
Cr	9,35	7,83
Mn	1,16	0,92
Fe	45,30	35,31
Co	1,03	0,76
W	21,87	5,18
Итого	100,00	100,00

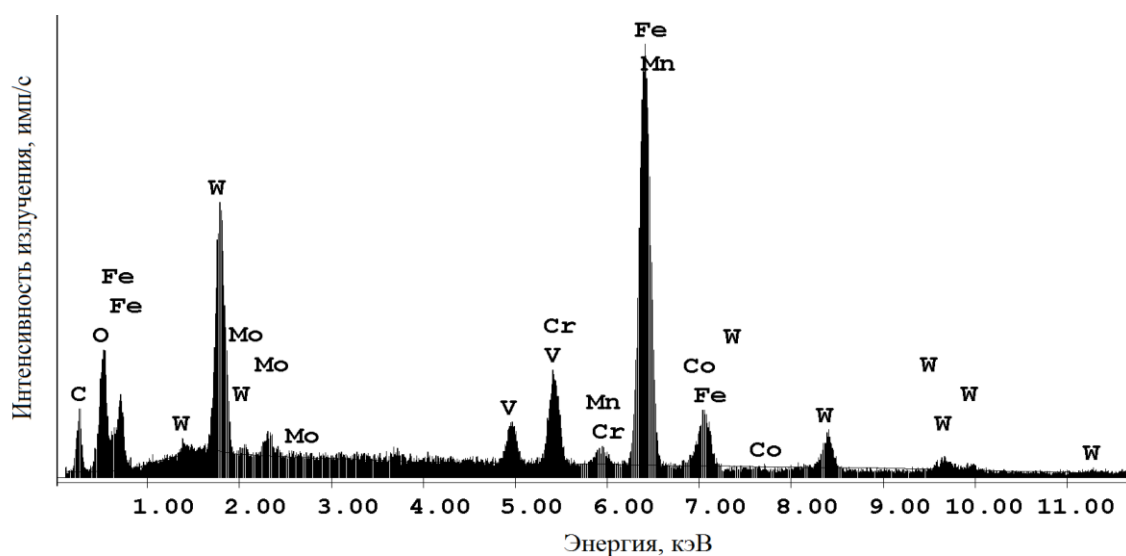


Рис. 4.

Таблица 3

Усредненный РСМА образца с покрытием

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	9,82	32,53
O	7,69	19,12
Mo	2,10	0,87
V	2,70	2,10
Cr	6,41	4,90
Mn	0,68	0,49
Fe	48,89	34,82
Co	1,03	0,69
W	20,68	4,47
Итого	100,00	100,00

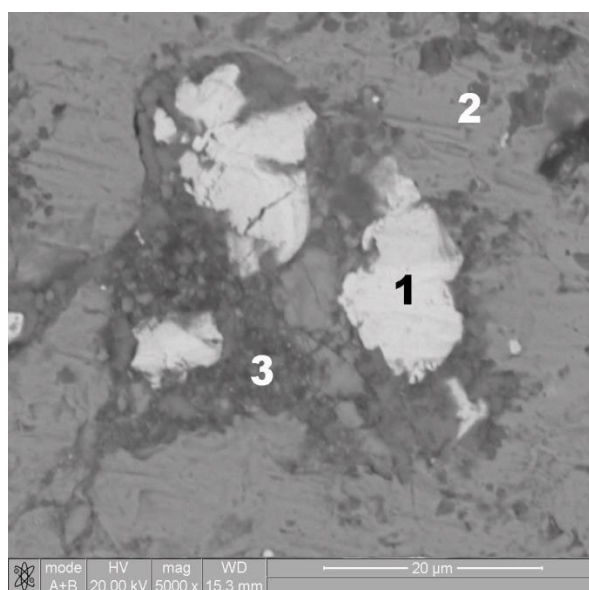


Рис. 5. Снимок с РЭМ поверхности образца без покрытия (режим обратно-рассеянных электронов) при разрешающей способности 5000 с указанием точек проведения РСМА

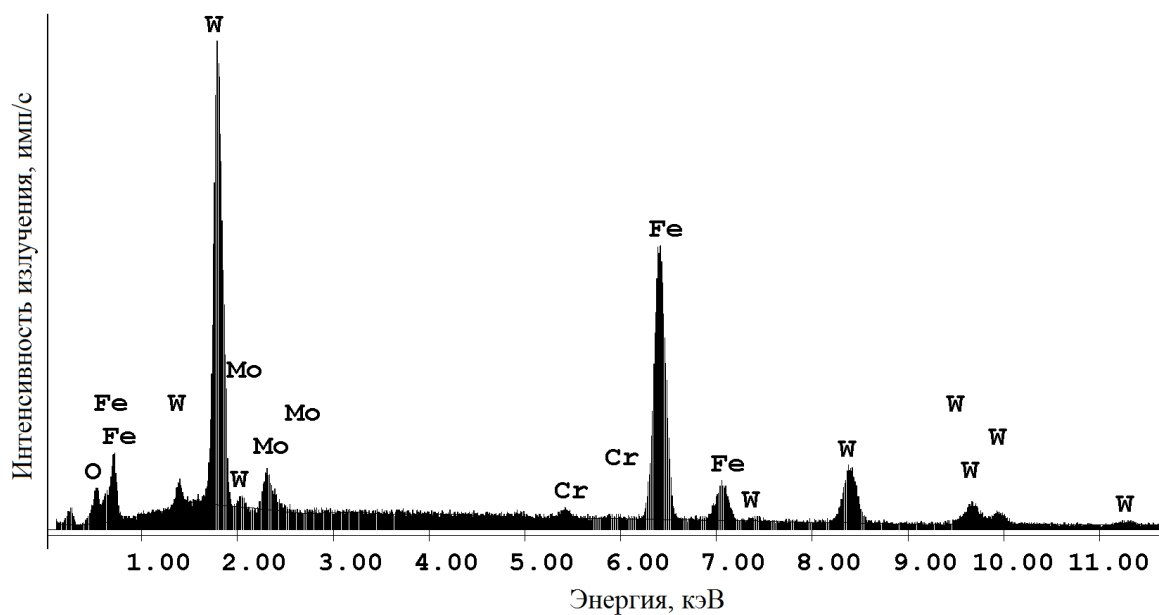


Рис. 6. РСМА образца без покрытия в точке 1

Таблица 4

РСМА образца без покрытия в точке 1

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
O	3,26	16,11
Mo	5,76	4,74
Cr	0,94	1,43
Fe	39,56	56,00
W	50,48	21,71
Итого	100,00	100,00

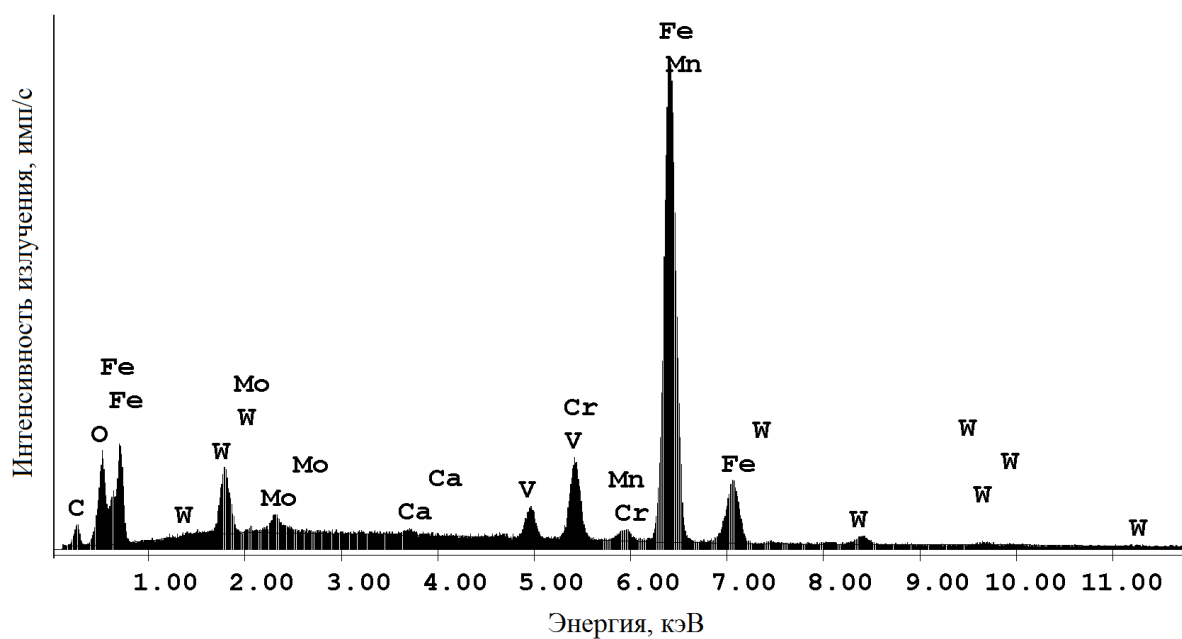


Рис. 7. РСМА образца без покрытия в точке 2

Таблица 5

РСМА образца без покрытия в точке 2

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	4,63	17,13
O	5,53	15,36
Mo	2,06	0,95
Ca	0,32	0,35
V	2,41	2,10
Cr	6,46	5,52
Mn	0,39	0,32
Fe	71,03	56,54
W	7,18	1,74
Итого	100,00	100,00

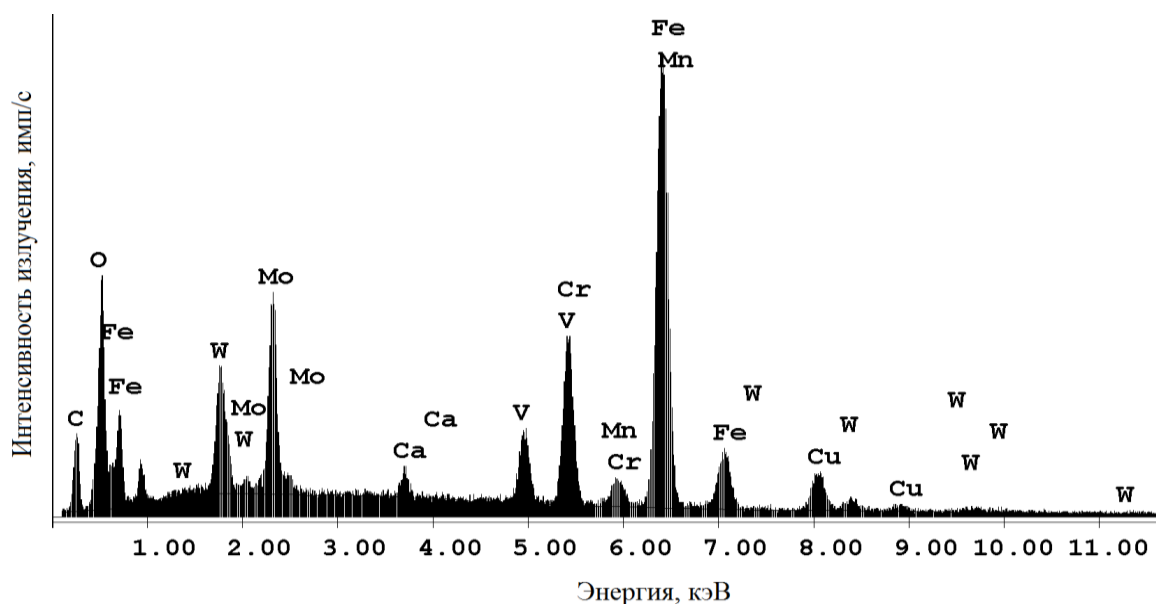


Рис. 8. РСМА образца без покрытия в точке 3

Таблица 6

РСМА образца без покрытия в точке 3

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	10,75	31,53
O	11,26	24,78
Mo	11,68	4,29
Ca	0,78	0,69
V	3,65	2,52
Cr	8,91	6,04
Mn	0,64	0,41
Fe	39,45	24,87
Cu	6,67	3,70
W	6,21	1,19
Итого	100,00	100,00

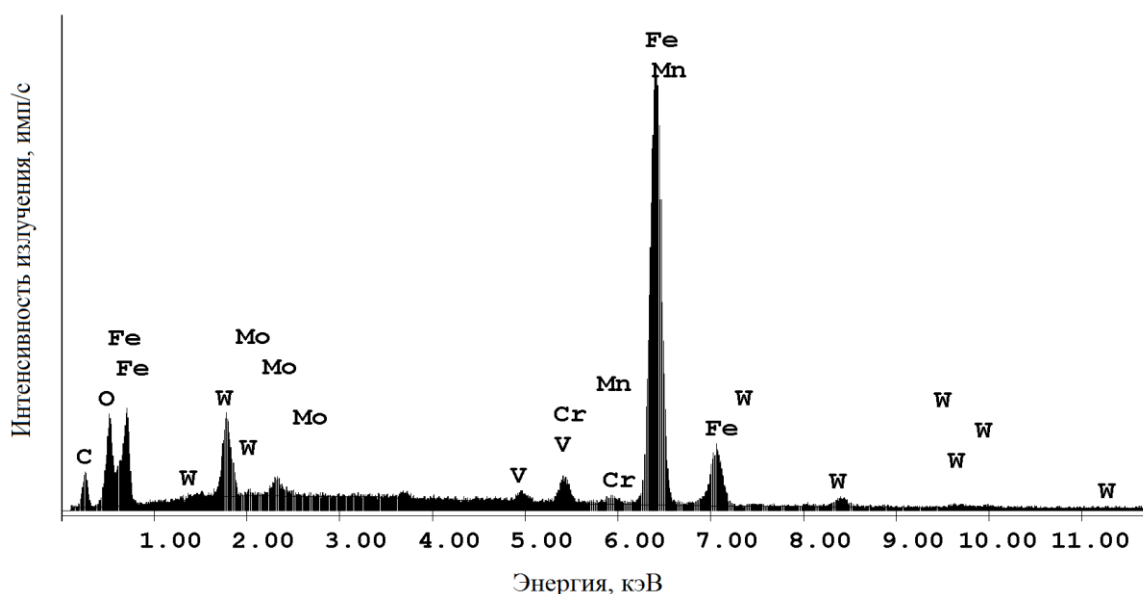


Рис. 9. Усредненный РСМА образца без покрытия

Таблица 7

Усредненный РСМА образца без покрытия

Элемент	Массовая доля, %	Атомарная доля, %
C	8,62	28,56
O	6,33	15,75
Mo	2,15	0,89
V	0,94	0,73
Cr	2,36	1,81
Mn	0,58	0,42
Fe	69,99	49,88
W	9,02	1,95
Итого	100,00	100,00

Исследуемый образец поверхности без покрытия в качестве основных минералов содержит железо и углерод, а также присутствует в небольшом количестве вольфрам, кислород, молибден, ванадий, хром и марганец.

### Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований, направленных на проведение рентгеноспектрального микроанализа электроискрового покрытия, полученного электроискровым легированием на установке UR-121 с использованием электродов из смеси электро-

эрозионных порошков марки ВК8 (90%)+Р6М5 (10%), полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава и быстрорежущей стали в керосине осветительном, определено содержание основных элементов в нем.

Результаты проведенных исследований позволят увеличить уровень производимых научно-технических разработок и конкурентоспособность отечественных изделий машиностроения, что положительно скажется на развитии российских промышленных предприятий и позволит им выпускать наукоемкую продукцию, соответствующую мировому уровню.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (МК-1792.2017.8).*

### Список литературы

1. Электроискровая обработка металлов – универсальный способ восстановления изношенных деталей / Ф.Х. Бурумкулов, В.П. Лялякин, И.А. Пушкин, С.Н. Фролов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2001. № 4. С. 23-28.

2. Иванов В.И., Кислов С.В., Лезин П.П. Электроискровая обработка металлических поверхностей в механизированном режиме: электрод-инструменты // Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 111. № 2. С. 71-76.

3. К вопросу получения в электроискровых покрытиях аморфных и нанокристаллических структур / А.В. Коломейченко, И.С. Кузнецов, А.Ю. Родичев, Т.Г. Пеняшки // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2015. № 5. С. 33-36.

4. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов: монография / Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева. Курск, 2011. 122 с.

5. Восстановление и упрочнение деталей автотракторной техники плазменно-порошковой наплавкой с использованием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов спеченных твердых сплавов: монография / Е.В. Агеев, В.И. Серебровский, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Ю.П. Гнездилова. Курск, 2010. 91 с.

6. Металлография металлов, порошковых материалов и покрытий, полученных электроискровыми способами: монография / В.Н. Гадалов, В.Г. Сальников, Е.В. Агеев, Д.Н. Романенко. М.: Инфра-М, 2011. 468 с.

7. Рентгеноспектральный микроанализ нихромового порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования в среде керосина / Е.В. Агеев, А.А. Горохов, А.Ю. Алтухов, А.В. Щербаков, С.В. Хардилов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2016. № 1 (64). С. 26-31.

8. Агеев Е.В., Латыпов Р.А., Агеева Е.В. Исследование свойств электроэрозионных порошков и твердого сплава, полученного из них изостатическим прессованием и спеканием // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2014. № 6. С. 51-55.

9. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Метод получения наноструктурных порошков на основе системы WC-Co и устройство для его осуществления // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5. С. 39-42.

10. Свойства порошков из отходов твердых сплавов ВК8 и Т15К6, полученных методом электроэрозионного диспергирования / Р.А. Латыпов, А.Б. Коростелев, Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2010. № 7. С. 2-6.

11. 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.

12. 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.

13. Агеев Е.В., Агеева Е.В., Хорьякова Н.М. Состав и свойства медных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием: монография. Курск, 2014. 144 с.

14. Агеев Е.В., Сальков М.Е. Особенности технологии восстановления шеек

коленчатых валов двигателей КамАЗ-740 с использованием твердосплавных порошков // Технология металлов. 2008. № 3. С. 41-46.

*Поступила в редакцию 20.04.18*

UDC 621.762.27

**A. Yu. Altukhov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: alt@yandex.ru)

**E. V. Ageeva**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ageev-ev@yandex.ru)

**A.A. Gorokhov**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: disclos@yandex.ru)

**A. S. Osminina**, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: osminina-as@yandex.ru)

#### **X-RAY MICROANALYSIS OF ELECTRIC-SPARK COATINGS BASED ON TUNGSTEN-CONTAINING ELECTROEROSION POWDERS**

*The development of modern engineering requires improving the quality, reliability and durability of parts, components and mechanisms. One of the effective ways to solve these problems is the use of various functional coatings, including the method of electrospark alloying (EIL). The main electrode materials are mainly sintered hard alloys, the cost of which, due to the presence of expensive tungsten, is relatively high. One of the promising methods for producing powder from almost any conductive material, including solid alloy and high-speed steel waste, is the method of electroerosion dispersion (EED), characterized by relatively low energy costs and environmental cleanliness of the process.*

*The purpose of this work was to conduct x-ray Microspectral microanalysis of the electrospark coating obtained by electrospark alloying on the UR-121 installation with the use of electrodes from a mixture of electroerosion powders of the VK8 (90%)+P6M5 (10%) brand obtained by electroerosion dispersion of solid alloy and high-speed steel waste in kerosene lighting.*

*The electrode was obtained by mixing the powders in the ratio VK-8 (90%) + R6M5(10%), Electrospark coatings formed by the electrode on a sample of steel 30HGSA received at the installation UR-121 (production of the company PELM, Podolsk).*

*In order to identify the distribution of elements on the surface of the electrospark coatings, with the help of energy-dispersion analyzer of x-ray radiation of the company EDAX, built into the raster electron microscope "QUANTA 200 3D", the spectra of the characteristic x-ray radiation at various points on the surface of the sample were obtained.*

*On the basis of experimental studies aimed at conducting x-ray Microspectral microanalysis of the electrospark coating obtained by electrospark alloying on the installation UR-121 with the use of electrodes from a mixture of electroerosion powders of the brand VK8 (90%)+P6M5 (10%) obtained by electroerosion dispersion of solid alloy waste and high-speed steel in kerosene lighting, the content of the main elements in it is determined.*

**Key words:** electroerosion dispersion, electrospark alloying, tungsten-containing coating, x-ray spectral microanalysis.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-3-29-39

**For citation:** Altukhov A. Yu., Ageeva E. V., Gorokhov A.A., Osminina A. S., X-Ray Microanalysis of Electric-Spark Coatings Based on Tungsten-Containing Electroerosion Powders. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 3(78), pp. 29-39 (in Russ.).

## Reference

1. Burumkulov F.X., Lyalyakin V.P., Pushkin I.A., Frolov S.N. Elektroiskrovaya obrabotka metallov – universalnyj sposob vosstanovleniya iznoshennykh detalej. Mexanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyajstva, 2001, no. 4, pp. 23-28.
2. Ivanov V.I., Kislov S.V., Lezin P.P. Elektroiskrovaya obrabotka metallicheskih poverkhnostej v mexanizirovannom rezhime: elektrod-instrumenty. Trudy GOSNITI, 2013, vol. 111, no. 2, pp. 71-76.
3. Kolomejchenko A.V., Kuznecov I.S., Rodichev A.Yu., Penyashki T.G. K voprosu polucheniya v elektroiskrovyykh pokrytiyax amorfnykh i nanokristallicheskih struktur. Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya, 2015, no. 5, pp. 33-36.
4. Ageev E.V., Latypov R.A., Semenixin B.A., Ageeva E.V. Sostav i svoystva poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov tverdyykh splavov. Kursk, 2011, 122 p.
5. Ageev E.V., Serebrovskij V.I., Semenixin B.A., Ageeva E.V., Latypov R.A., Gnezdilova Yu.P. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej avtotraktornoj tekhniki plazmenno-poroshkovoj naplavkoj s ispolzovaniem poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem otkhodov spechennykh tverdyykh splavov. Kursk, 2010, 91 p.
6. Gadlov V.N., Salnikov V.G., Ageev E.V., Romanenko D.N. Metallografiya metallov, poroshkovykh materialov i pokrytij, poluchennykh elektroiskrovymi sposobami. Moscow, Infra-M Publ., 2011, 468 p.
7. Ageev E.V., Goroxov A.A., Altuxov A.Yu., Shherbakov A.V., Xardikov S.V. Rentgenospektralnyj mikroanaliz nixromovogo poroshka, poluchennogo metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya v srede kerosina. Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2016, no. 1 (64), pp. 26-31.
8. Ageev E.V., Latypov R.A., Ageeva E.V. Issledovanie svoystv elektroerozionnykh poroshkov i tverdogo splava, poluchennogo iz nix izostaticeskim pressovaniem i spekaniem. Izvestiya vysshix uchebnykh zavedenij. Cvetnaya metallurgiya, 2014, no. 6, pp. 51-55.
9. Ageev E.V., Semenixin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanostrukturnykh poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlya ego osushhestvleniya. Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tehnologii, 2010, no. 5, pp. 39-42.
10. Latypov R.A., Korostelev A.B., Ageev E.V., Semenixin B.A. Svoystva poroshkov iz otkhodov tverdyykh splavov VK8 i T15K6, poluchennykh metodom elektroerozionnogo dispergirovaniya. Vse materialy. Enciklopedicheskij spravochnik, 2010, no. 7, pp. 2-6.
11. Ageeva E.V., Ageev E.V., Chaplygin V.Yu., Goroxov A.A. Razmernye xarakteristiki bronzovogo elektroerozionnogo poroshka, poluchennogo v vode. Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tehnologii, 2016, no. 1 (18), pp. 30-35.
12. Ageeva E.V., Altuxov A.Yu., Gulidin S.S., Ageev E.V., Goroxov A.A. Fazovyy sostav chastic poroshka, poluchennogo elektroerozionnym dispergirovaniem splava VK8 v butilovom spirte. Izvestiya Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tehnologii, 2016, no. 1 (18), pp. 20-25.
13. Ageev E.V., Ageeva E.V., Xoryakova N.M. Sostav i svoystva mednykh poroshkov, poluchennykh elektroerozionnym dispergirovaniem. Kursk, 2014, 144 p.
14. Ageev E.V., Salkov M.E. Osobennosti tekhnologii vosstanovleniya sheek kolchatykh valov dvigatelej KamAZ-740 s ispolzovaniem tverdospлавnykh poroshkov. Tehnologiya metallov, 2008, no. 3, pp. 41-46.