

УДК 621.762.27

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

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

С.С. Гулидин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: gulidin_ss@mail.ru)

А.С. Переверзев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: chaser-93@yandex.ru)

СРАВНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ И ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СПЕЧЕННОГО МАТЕРИАЛА

Одним из перспективных методов получения порошка практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающихся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). К настоящему времени в научно-технической литературе отсутствуют полноценные сведения по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства дисперсных систем и рекомендации по эффективному построению технологий их спекания и упрочнения, что сдерживает широкое применение данного метода. Для упрочнения спеченных деталей наиболее целесообразно использовать электроискровую обработку (ЭИО). ЭИО отличается технологической гибкостью, дешевизной и позволяет получать покрытия с широким диапазоном свойств. Однако во многих случаях свойства электроискровых покрытий зависят как от состава, структуры и свойств электроэрозионного материала, так и свойств материала подложки. Для разработки комплексной технологии получения дисперсных систем электроэрозионным диспергированием и их упрочнения электроискровой обработкой, обладающих повышенными физико-механическими характеристиками и эксплуатационными свойствами, требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований. Целью настоящей работы являлось исследование элементного состава электроискровых покрытий (ЭИП) и электроэрозионного спеченного материала подложки из быстрорежущей стали. При постановке экспериментов был получен металлический порошок из отходов быстрорежущей стали марки Р6М5 на установке для электроэрозионного диспергирования токопроводящих материалов. Полученный электроэрозионный порошок состоял из частиц сферической и эллиптической формы размером от 25 нм до 50 мкм. Средний размер частиц порошка составлял 19,72 мкм, а удельная площадь поверхности – 16725,95 см²/см³. Прессование электроэрозионного порошка проводили гидростатическим методом на прессе фирмы EPSI. Порошок засыпали в резиновую герметичную форму и помещали в рабочую камеру гидростата, в котором создавали давление жидкости в 300 МПа с помощью насоса высокого давления. Для спекания порошкового электроэрозионного материала использовали вакуумную печь Nabertherm VHT 8/22 GR. Спекание проводилось при температуре 1050°С в течение 2 часов в вакууме. Электроискровые покрытия на спеченных образцах из электроэрозионной быстрорежущей стали получали электродами марки ВК8 на установке UR-121. 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 и по поперечному шлифу. На основании проведенных исследований установлено, что основными элементами в электроискровом покрытии являются железо, молибден и вольфрам, а в подложке – только железо и молибден.

Ключевые слова: отходы быстрорежущей стали Р6М5, электроэрозионное диспергирование, порошок, прессование, спекание, элементный состав.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-2-6-15

Ссылка для цитирования: Сравнение элементного состава электроискровых покрытий и электроэрозионного спеченного материала / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, А.С. Переверзев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 2(71). С. 6-15.

Введение

Спеченные композиционные материалы занимают в машиностроении очень

большое значение. Основной составляющей большинства из них, обеспечивающей твердость и износостойкость, явля-

ется карбид вольфрама. Анализ исследовательских работ в области вольфрамсодержащих материалов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии и рационального использования вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения титана. С экономией вольфрама тесно связаны мероприятия по сбору отходов и их переработке. Одним из перспективных методов получения порошка, практически из любого токопроводящего материала, в том числе и твердого сплава, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1-7].

К настоящему времени в научно-технической литературе отсутствуют полноценные сведения по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства дисперсных систем и рекомендации по эффективному построению технологий их спекания и упрочнения, что сдерживает широкое применение данного метода.

Для упрочнения спеченных деталей наиболее целесообразно использовать электроискровую обработку (ЭИО). ЭИО отличается технологической гибкостью, дешевизной и позволяет получать покрытия с широким диапазоном свойств. Однако во многих случаях свойства электроискровых покрытий зависят как от состава, структуры и свойств электродного материала, так и свойств материала подложки [8-10].

Для разработки комплексной технологии получения дисперсных систем электроэрозионным диспергированием и их упрочнения электроискровой обработ-

кой, обладающих повышенными физикомеханическими характеристиками и эксплуатационными свойствами, требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы являлось сравнение элементного состава электроискровых покрытий (ЭИП) и электроэрозионного спеченного материала подложки из быстрорежущей стали.

При постановке экспериментов был получен металлический порошок из отходов быстрорежущей стали марки Р6М5 на установке для электроэрозионного диспергирования токопроводящих материалов [11]. Полученный электроэрозионный порошок состоял из частиц сферической и эллиптической формы размером от 25 нм до 50 мкм. Средний размер частиц порошка составлял 19,72 мкм, а удельная площадь поверхности – $16725,95 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

Прессование электроэрозионного порошка проводили гидростатическим методом на прессе фирмы EPSI. Порошок засыпали в резиновую герметичную форму и помещали в рабочую камеру гидростата, в котором создавали давление жидкости в 300 МПа с помощью насоса высокого давления.

Для спекания порошкового электроэрозионного материала использовали вакуумную печь Nabertherm VHT 8/22 GR. Спекание проводилось при температуре 1050°C в течение 2 часов в вакууме.

Электроискровые покрытия на спеченных образцах из электроэрозионной быстрорежущей стали получали электродами марки ВК8 на установке UR-121.

Методом растровой электронной микроскопии было проведено исследование микроструктуры образцов (по поверхности и по поперечному шлифу). Поверх-

ность (по шлифу) образцов шлифовали и полировали. Шлифование производили металлографической бумагой с крупным (№№ 60-70) и мелким зерном (№№ 220-240). В процессе шлифования образец периодически поворачивали на 90°. Смывали частицы абразива водой и подвергали полированию на круге суспензиями из оксидов металла (Fe_3O_4 , Cr_2O_3 , Al_2O_3). После достижения зеркального блеска, поверхность шлифа промывали водой, спиртом и просушивали фильтровальной бумагой.

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 и по поперечному шлифу.

Под рентгеноспектральным микроанализом понимают определение элементного состава микрообъектов по возбуждаемому в них характеристическому рентгеновскому излучению. Для анализа характеристического спектра в рентгеноспектральном микроанализе (РСМА) 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 и 2) 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 пер-

вичных 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.

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

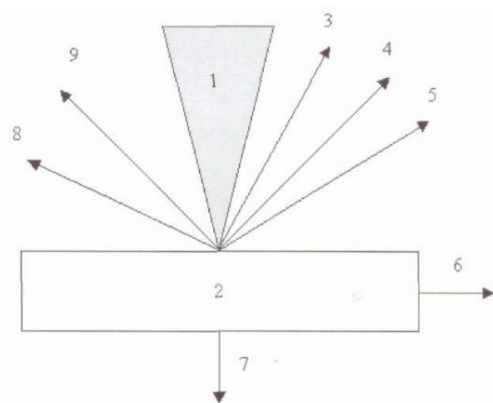


Рис. 1. Эффекты взаимодействия электронного луча с объектом: 1 – электронный луч; 2 – объект; 3 – отраженные электроны; 4 – вторичные электроны, 5 – Оже-электроны; 6 – ток поглощенных электронов; 7 – прошедшие электроны; 8 – катодолюминесцентное излучение; 9 – рентгеновское излучение

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.

Рентгеноспектральным микроанализом не удастся определить в составе сплава легкие элементы с порядковым номером меньше 4. Возникают такие трудности и с выявлением элементов, когда на линии К-серии одного элемента накладываются линии L- или М-серии другого элемента. 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 (рис. 2).

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 каждой фазы. Качественный анализ обычно используется для определения характера распределения элементов по площади шлифа. После качественного анализа часто проводят количественный анализ в отдельных выбранных точках, по полученным данным программное обеспечение позволяет

определить тип фазы, исходя из ее химического состава.

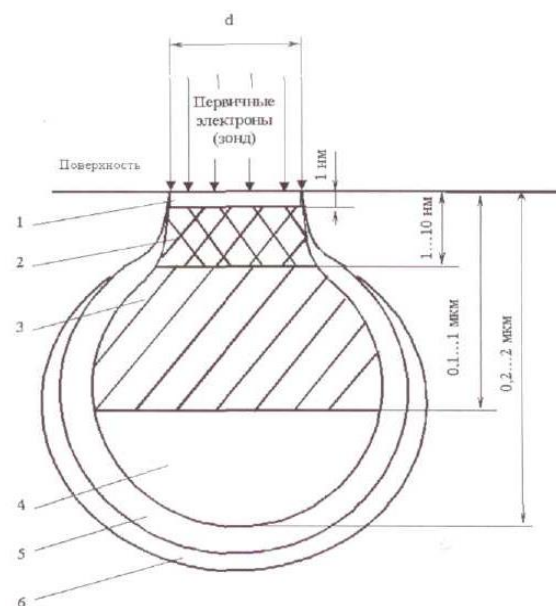


Рис. 2. Области сигналов и пространственное разрешение при облучении поверхности объекта потоком электронов (зонд). Области генерации: 1 – Оже-электронов; 2 – вторичных электронов; 3 – отраженных электронов; 4 – характеристического рентгеновского излучения; 5 – тормозного рентгеновского излучения; 6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

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

Детектирование отражённых электронов. Некоторые модели микроскопов оснащены высокочувствительным полупроводниковым детектором обратно-рассеян-

ных электронов. Детектор смонтирован на нижней поверхности объективной линзы либо вводится на специальном стержне под полюсной наконечник. Это позволяет путем выбора режима из меню получить изображения топографии поверхности, изображение в композиционном контрасте или в темном поле.

При попадании электронного пучка на образец некоторые электроны могут вылетать с поверхности образца в результате их взаимодействия с кристаллической решеткой образца. На флуоресцентном экране или ПЗС матрице обратно рассеянные электроны создают картину, которая называется картиной обратного рассеяния электронов или линиями Кикучи. Дифракция обратно рассеянных электронов позволяет получать информацию о текстуре и ориентации зёрен кри-

сталлических образцов, проводить картографирование ориентаций кристаллической решётки (т.е. распределение ориентаций по образцу). Дифракция обратно рассеянных электронов позволяет также проводить анализ дефектов микроструктуры, позволяет осуществлять анализ фаз, из которых состоит твердое тело, выделять зерна и определять их границы, проводить анализ однородности вещества, проводить анализ микродеформаций и микронапряжений. При необходимости такой анализ возможен в сопоставлении с изображениями во вторичных и отраженных электронах, в характеристическом рентгеновском излучении (интересующих элементов состава) тех же участков образца.

Результаты микроскопии и микроанализа спеченных образцов с ЭИП приведены на рисунках 3, 4.

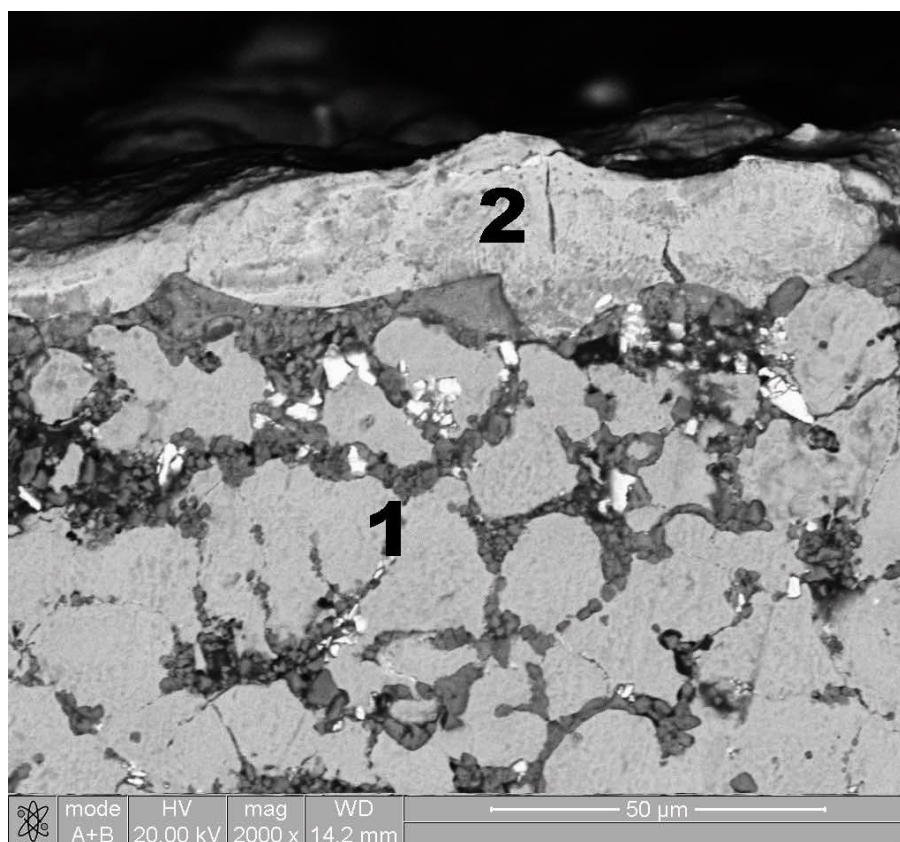
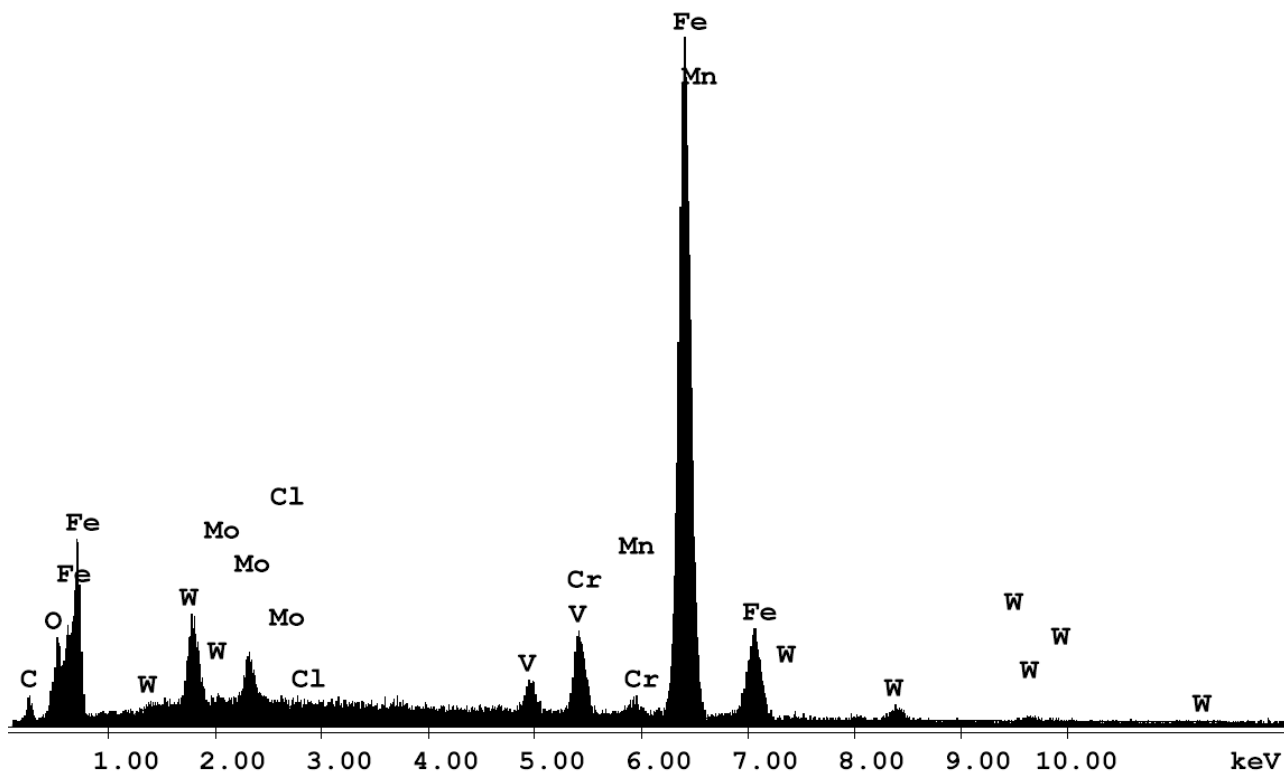


Рис. 3. Микроскопия поперечного шлифа спеченного образца из электроэрозионного материала с ЭИП с точками проведения РСМА

FS : 2925 Lsec : 50

17-Feb-2016 15:07:45



EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : User c:\edax32\eds\genuser.sec

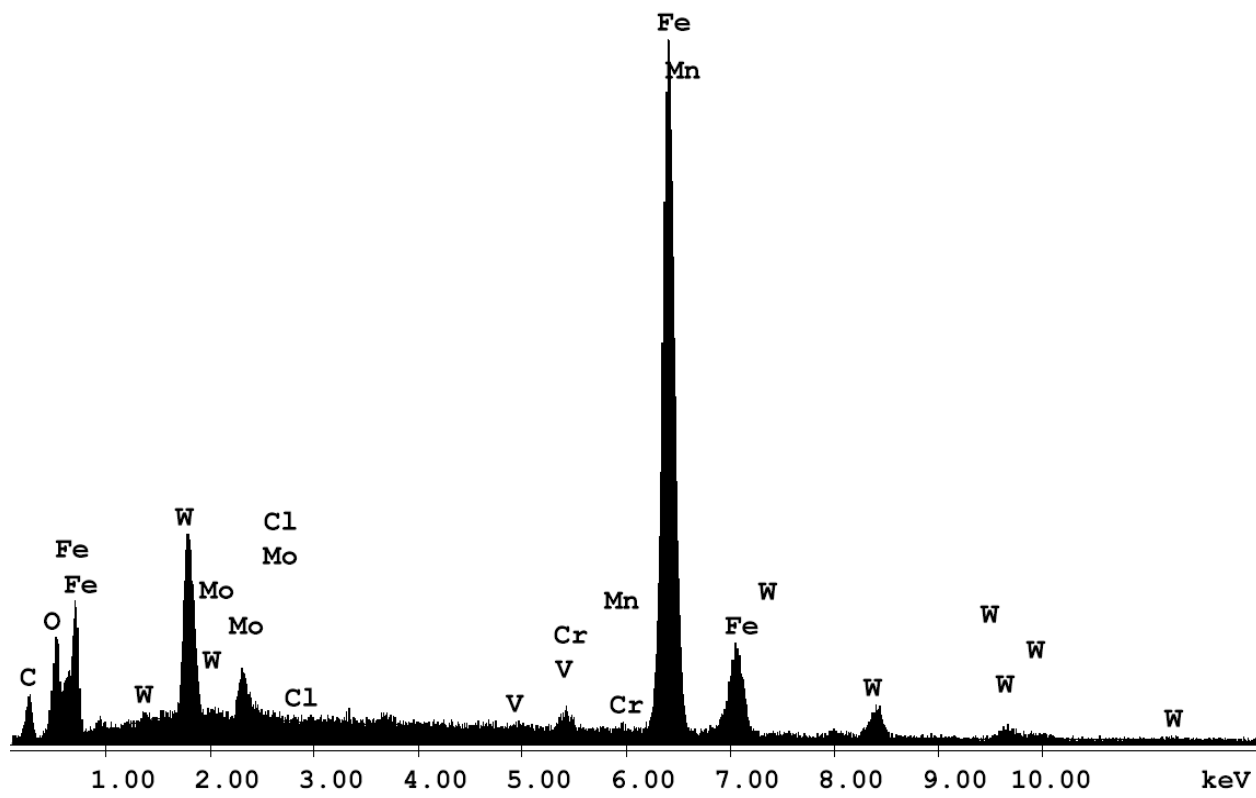
Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	4.02	15.90	0.0087	1.1848	0.1821	1.0004
O K	3.94	11.69	0.0142	1.1643	0.3093	1.0028
MoL	4.04	2.00	0.0284	0.9008	0.7803	1.0008
ClK	0.24	0.33	0.0019	1.0705	0.7281	1.0068
V K	1.89	1.77	0.0198	0.9778	0.9622	1.1100
CrK	5.06	4.62	0.0573	0.9970	0.9748	1.1653
MnK	0.73	0.63	0.0071	0.9802	0.9806	1.0038
FeK	71.49	60.84	0.7042	1.0000	0.9799	1.0053
W L	8.59	2.22	0.0650	0.7752	0.9763	1.0000
Total	100.00	100.00				

a)

Рис. 4. Элементный состав спеченного образца с ЭИП: а – электроискрового покрытия;
б – материала образца (окончание см. на с. 12)

FS : 3224 Lsec : 56

17-Feb-2016 15:09:21



EDAX ZAF Quantification (Standardless)

Element Normalized

SEC Table : User c:\edax32\eds\genuser.sec

Element	Wt %	At %	K-Ratio	Z	A	F
C K	6.99	26.29	0.0154	1.1873	0.1852	1.0003
O K	4.63	13.06	0.0156	1.1667	0.2880	1.0025
MoL	3.84	1.81	0.0256	0.9056	0.7348	1.0002
ClK	0.18	0.23	0.0014	1.0756	0.6911	1.0051
V K	0.38	0.34	0.0039	0.9813	0.9481	1.0961
CrK	1.23	1.07	0.0136	1.0009	0.9635	1.1459
MnK	0.36	0.30	0.0035	0.9845	0.9742	1.0077
FeK	65.12	52.66	0.6490	1.0049	0.9807	1.0112
W L	17.26	4.24	0.1325	0.7812	0.9822	1.0000
Total	100.00	100.00				

б)

Рис. 4. Окончание (начало см. на с. 11)

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что основными элементами в электроискровом покрытии являются железо, молибден и вольфрам, а в подложке – только железо и молибден.

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 наукоёмкую продукцию, соответствующую мировому уровню.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (договор № 31 16-38-60064\15 от 02.12.2015 г.).

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Оценка эффективности применения твердосплавных порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов, при восстановлении и упрочнении деталей композиционными гальваническими покрытиями / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 9. С. 14-16.
4. Проведение рентгеноспектрального микроанализа твердосплавных электроэрозионных порошков / Е.В. Агеев, Г.Р. Латыпова, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 5-2 (44). С. 99-102.
5. Латыпов Р.А., Агеев Е.В., Давыдов А.А. Восстановление и упрочнение деталей машин и инструмента с использованием порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2013. № 12. С. 23-28.
6. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латыпов Р.А. Исследование влияния электрических параметров установки на процесс порошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5-2. С. 238-240.
7. Агеев Е.В., Латыпов Р.А., Угримов А.С. Металлургические особенности получения твердосплавных порошков электроэрозионным диспергированием сплава Ti5K6 в бутаноле // Электрометаллургия. 2016. № 4. С. 28-31.
8. 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.
9. Электроискровая обработка металлов - универсальный способ восстановления изношенных деталей / Ф.Х. Бурмукулов, В.П. Лялякин, И.А. Пушкин, С.Н. Фролов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2001. № 4. С. 23-28.
10. 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.
11. Пат. 2449859, Российская Федерация, С2, В22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токо-

проводящих материалов / Агеев Е.В.; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет.

№ 2010104316/02; заяв. 08.02.2010; опубл. 10.05.2012. 4 с.

Поступила в редакцию 27.02.17

UDC 621.762.27

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

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

S. S. Gulidin, Postgraduate, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: gulidin_ss@mail.ru)

A. S. Pereverzev, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: chaser-93@yandex.ru)

ELEMENT COMPOSITION COMPARISON OF ELECTRIC-SPARK COATINGS AND ELECTROSPARKSINTERED MATERIAL

One of the promising methods of powder obtaining practically from any conductive material, including hard alloy, characterized by relatively low energy costs and cleanliness of the process, is method electroerosion dispersion (EED). Currently there is no full information on initial composition, regimes and environment impact on the properties of disperse systems and recommendations on the effective technologies providing their sintering and hardening in the scientific and technical literature. Thus this prevents from the use of this method. For sintered parts hardening, it is helpful to use electric spark machining (ESM). ESM is technologically flexible, cheap and it helps to obtain coverings with a wide range of properties. However, in many cases the properties of electrospark coatings depend both on the composition, structure and properties of the electrode material, and on the properties of the substrate material. Complex theoretical and experimental studies are required to develop a complex technology for the production of disperse systems using electroerosion dispersion method and their hardening by electric spark machining, characterised by good stress-related properties and performance. The purpose of this work is to research the elemental composition of electrospark coatings and electroerosion sintered substrates made of high-speed steel.

When the experiments were set up, a metal powder was obtained from the waste of high-speed steel grade P6M5 when using a device for electroerosion dispersion of conductive materials. The resulting electroerosion powder consisted of particles of a spherical and elliptical shape measuring from 25 nm to 50 μm . The average particle size of the powder was 19.72 μm , and the specific surface area was 16725.95 $\text{cm}^2 / \text{cm}^3$. The electro-erosion powder was pressed by a hydrostatic method using an EPSI press. The powder was poured into a rubber hermetical mold then it was placed in a hydrostat working chamber where there was a liquid pressure of 300 MPa created by means of a high-lift pump. Для спекания порошкового электроэрозионного материала использовали вакуумную печь Nabertherm VHT 8/22 GR. Sintering was held in a vacuum at a temperature of 1050 °C for 2 hours. Electrospark coatings on sintered sample material made from electroerosion high-speed steel were produced using VK8 electrodes and UR-121 machine. Using EDAX energy-dispersive X-ray analyzer, built into QUANTA 200 3D scanning electron microscope, spectra of characteristic X-ray radiation were obtained at various points on the surface of the sample and along the cross-section. Based on the conducted studies it was established that the main elements in the electrospark coating are iron, molybdenum and tungsten, and sintering was held in a vacuum at a temperature of 1050 °C for 2 hours. Electrospark coatings on sintered sample material made from electroerosion high-speed steel were produced using VK8 electrodes and UR-121 machine. Using EDAX energy-dispersive X-ray analyzer, built into QUANTA 200 3D scanning electron microscope, spectra of characteristic X-ray radiation were obtained at various points on the surface of the sample and along the cross-section. Based on the conducted studies it was established that the main elements in the electrospark coating are iron, molybdenum and tungsten, and in the substrate only iron and molybdenum. the substrate only iron and molybdenum. Based on the conducted studies it was established that the main elements in the electrospark coating are iron, molybdenum and tungsten, and the main elements in the substrate are only iron and molybdenum.

Key words: high-speed steel P6M5 waste, electroerosion dispersion, powder, pressing, sintering, elemental composition.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-2-6-15

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A. Yu., Gulidin S. S., Pereverzev A. S. Element Composition Comparison of Electric-Spark Coatings and Electrosparksintered Material, Proceeding of Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 2(71), pp. 6-15 (in Russ.).

Reference

1. Ageev E.V., Latypov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashhih othodov // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Cvetnaja metallurgija. 2014. № 5. S. 50-53.
2. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanostrukturnykh poroshkov na osnove sistemy WC-Co i ustrojstvo dlja ego osushhestvleniya // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. 2010. № 5. S. 39-42.
3. Ocenka jeffektivnosti primeneniya tverdosplavnykh poroshkov, poluchennykh jelektrojerozionnym dispergirovaniem othodov tverdyykh splavov, pri vosstanovlenii i uprochnenii detalej kompozicionnymi gal'vanicheskimi pokrytijami / E.V. Ageev, B.A. Semehin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. 2011. № 9. S. 14-16.
4. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdosplavnykh jelektrojerozionnykh poroshkov / E.V. Ageev, G.R. Latypova, A.A. Davydov, E.V. Ageeva // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. 2012. № 5-2 (44). S. 99-102.
5. Latypov R.A., Ageev E.V., Davydov A.A. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej mashin i instrumenta s ispol'zovaniem poroshkov, poluchennykh jelektrojerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashhih othodov // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2013. № 12. S. 23-28.
6. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Issledovanie vlijanija jelektricheskikh parametrov ustanovki na process poroshkoobrazovaniya pri jelektrojerozionnom dispergirovanii othodov tverdogo splava // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2009. T. 11. № 5-2. S. 238-240.
7. Ageev E.V., Latypov R.A., Ugrimov A.S. Metallurgicheskie osobennosti polucheniya tverdosplavnykh poroshkov jelektrojerozionnym dispergirovaniem splava T15K6 v butanole // Jelektrometallurgija. 2016. № 4. S. 28-31.
8. Ivanov V.I., Kislov S.V., Lezin P.P. Jelektroiskrovaja obrabotka metallicheskih poverhnostej v mehanizirovannom rezhime: jelektrod-instrumenty // Trudy GOSNITI. 2013. T. 111. № 2. S. 71-76.
9. Jelektroiskrovaja obrabotka metallov - universal'nyj sposob vosstanovleniya iznoshennykh detalej / F.H. Burumkulov, V.P. Ljaljakin, I.A. Pushkin, S.N. Frolov // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2001. № 4. S. 23-28.
10. K voprosu polucheniya v jelektroiskrovyykh pokrytijah amorfnykh i nanokristallicheskih struktur / A.V. Kolomejchenko, I.S. Kuznecov, A.Ju. Rodichev, T.G. Penjashki // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. 2015. № 5. S. 33-36.
11. Pat. 2449859, Rossijskaja Federacija, C2, B22F9/14. Ustanovka dlja polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodjashhih materialov / Ageev E.V.; zajavitel' i patentoobladatel' Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. № 2010104316/02; zajav. 08.02.2010; opubl. 10.05.2012. 4 s.