

УДК 621.762

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: alt997@yandex.ru)

А.Г. Ивахненко, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: ivakhnenko2002@mail.ru)

МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОБАЛЬТОХРОМОВЫХ ПОРОШКОВ-СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ МЕТАЛЛООТХОДОВ В ВОДЕ

Широкое использование метода электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) для переработки металл-отходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования порошков-сплавов, полученных из отходов нихрома, и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы являлось исследование морфологии и элементного состава кобальтохромовых порошков-сплавов, полученных для аддитивных технологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов сплава КХМС в воде дистиллированной.

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости – вода дистиллированная. Для получения кобальтохромовых порошков методом электроэрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. Отходы загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой, процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 28 мкФ, напряжение 110 В, частота импульсов 100 Гц.

По результатам проведенных исследований, направленных на исследование морфологии и элементного состава кобальтохромовых порошков-сплавов, полученных для аддитивных технологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов сплава КХМС в воде дистиллированной, установлено, что в порошке преобладают частицы, имеющие правильную сферическую или эллиптическую форму и на поверхности содержится значительное количество кислорода и для его использования в аддитивных технологиях требуется дополнительная химическая очистка.

Ключевые слова: кобальтохромовый сплав, электроэрозионное диспергирование, порошок, элементный состав, аддитивные технологии.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-4-21-31

Ссылка для цитирования: Агеева Е.В., Алтухов А.Ю., Ивахненко А.Г. Морфология и элементный состав кобальтохромовых порошков-сплавов, полученных для аддитивных технологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов в воде // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 4(73). С. 21-31.

Введение

Аддитивные технологии (АТ) производства изделий из материалов на основе металлов и сплавов на сегодняшний день одно из самых перспективных и активно развивающихся направлений производства. Исследовательские и прикладные работы по развитию и совершенствованию как самих АТ, так и технологий про-

изводства порошков-прекурсоров для них активно ведутся во всех развитых странах мира.

Аддитивные технологии представляют собой процесс производства изделия путем послойного сплавления/спекания порошкового материала, гранулы которого связываются между собой путём их проплавления при помощи энергетиче-

ческого источника, движущегося в каждом слое по определённой траектории в соответствии с выбранной стратегией обработки и согласно предварительно запрограммированной трёхмерной модели изделия в компьютерной среде [1]. В качестве энергетического источника для АТ производства металлических изделий, как правило, используется лазер высокой мощности или электронный луч.

Коммерческий интерес к АТ, как к «непосредственному выращиванию» готовых металлических изделий, в качестве альтернативы традиционным технологическим методам для производства товарной продукции, первоначально возник в отраслях, где производство измеряется десятками или сотнями изделий сложной формы из специальных материалов. К таким отраслям относятся: авиация, космическая индустрия и энергетическое машиностроение. Использование АТ в этих отраслях является экономически целесообразным, так как в ряде случаев АТ оказываются менее дорогостоящими, чем традиционные технологии [2].

Наряду с исследовательскими институтами, многие известные мировые компании автомобильной и авиакосмической индустрии, такие как MTU Aero Engines (Германия), Airbus Operations GmbH (Германия), The Boeing Company (США), General Motors (США) и др., активно ведут работы по получению готовых изделий из титановых, никелевых и интерметаллидных сплавов именно этими методами. Так, компания MTU Aero Engines за последние 10 лет опубликовала порядка 20 патентов по производству различных элементов ГТД методами СЛС и СЭЛС [1].

АТ обладают рядом существенных преимуществ перед стандартными мето-

дами. В первую очередь следует отметить получение детали за один цикл, отсутствие дополнительной оснастки, относительно высокие скорость и точность процесса. Разработка и внедрение АТ в производство позволили бы упростить технологическую цепочку получения ответственных деталей сложной формы, уменьшить временные, материальные и финансовые затраты [3].

На сегодняшний день существует довольно много разновидностей аддитивных технологий, которые позволяют работать с широким спектром материалов от полимеров до металлов и сплавов [4]. Наибольший интерес для наукоемких отраслей промышленности представляют АТ, позволяющие работать с металлическими материалами, в том числе с жаропрочными сплавами на основе никеля и титана.

Все АТ условно можно разделить по различным аспектам [5, 6]:

- по применяемым строительным или модельным материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т.д.);
- по методам подвода энергии для фиксации слоя построения (лазерное излучение, тепловое воздействие, облучение ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т. д.);
- по методам формирования слоя.

Среди АТ для работы с металлическими материалами можно выделить два основных типа по методу формирования слоя. Первая группа АТ в англоязычной литературе называется «Direct Deposition» и подразумевает под собой «прямое или непосредственное осаждение материала» [6], то есть подача материала осуществляется непосредственно в область подведения энергии, где в данный мо-

мент происходит построение слоя детали. Таким образом, процесс подачи материала и его сплавления осуществляются одновременно. Вторая группа технологий в англоязычной терминологии имеет название «Bed Deposition», которое подразумевает под собой наличие некоторой платформы, на которой предварительно формируют слой строительного материала. Другими словами, в отличие от технологий прямого осаждения, в данном случае подача материала и его оплавления разделены во времени: сначала происходит формирование порошкового слоя, а затем в этом слое выборочно расплавляют порошковый материал. При этом положение плоскости неизменно, а часть строительного материала остается в слое нетронутой. Таким технологиям наиболее точно соответствует термин «селективный синтез» или «селективное спекание/сплавление» [6]. В группе технологий «Bed Deposition» можно выделить две различных по энергетическому источнику технологии: селективное лазерное сплавление (СЛС) и селективное электронно-лучевое сплавление (СЭЛС) [7]. При реализации этих технологий становится возможным получение деталей с характеристиками, недоступными для других методов обработки, например, с криволинейными отверстиями или внутренними пустотами.

Для реализации производства сложнопрофильных деталей с использованием аддитивных технологий СЭЛС и СЛС необходимы исходные порошки (гранулы) правильной сферической формы и регламентированной зернистости в сравнительно узком диапазоне размеров частиц. Однако в настоящее время не существует общих требований к металлопорошковым композициям, применяемым в

АТ. В различных установках используются порошки различного фракционного состава. Одним из параметров, характеризующих порошок, является величина d_{50} – «средний диаметр частиц». Например, в машинах Phenix Systems используется порошок с $d_{50} = 10$ мкм; для машин Concept Laser дисперсность порошка лежит в пределах 25...52 мкм при $d_{50} = 26,9$ мкм; для Arcam размер частиц составляет 45 – 100 мкм, для машин SLM Solutions $d_{50} = 10 - 30$ и т.д. [8, 9].

Таким образом, Российские организации, которые приобрели дорогостоящее оборудование для АТ, попадают в зависимость от зарубежного поставщика и вынуждены закупать импортные порошковые материалы. Разные компании-производители АТ-машин предписывают работу с определенным перечнем материалов, обычно поставляемых самой этой компанией. При этом в Россию поставляются гранулы ограниченных составов, исключающих высокотемпературное применение в интересах ракетно-космической техники (РКТ).

Основным требованием к порошкам для аддитивных 3d-технологий является сферическая форма частиц. Такие частицы наиболее компактно укладываются в определенный объем и обеспечивают «текучесть» порошковой композиции в системах подачи материала с минимальным сопротивлением. Кроме того, порошок должен содержать минимальное количество растворенного газа. Микроструктура порошка должна быть однородной и мелкодисперсной (с равномерным распределением фазовых составляющих).

Исходя из особенностей методов получения сферических порошков с целью получения сферических гранул регламентированной зернистости предлагается

технология электроэрозионного диспергирования, отличающийся относительно невысокими энергетическими затратами и экологической чистотой процесса [10-16].

Главным преимуществом предложенной технологии является применение в качестве исходных материалов отходов, которые значительно дешевле чистых компонентов, используемых в традиционных технологиях. Кроме того, данная технология является порошковой, что позволяет порошки-сплавы.

Широкое использование метода ЭЭД для переработки металлоотходов в порошки с целью их повторного использования и применения в аддитивных технологиях сдерживается отсутствием в научно-технической литературе полноценных сведений по влиянию исходного состава, режимов и среды получения на свойства порошков и технологий практического применения. Поэтому для разработки технологий повторного использования порошков-сплавов, полученных из отходов нихрома, и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы являлось исследование морфологии и элементного состава кобальтохромовых порошков-сплавов, полученных для аддитивных технологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов сплава КХМС в воде дистиллированной.

Материалы и методы исследования

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы кобальтохромового сплава марки КХМС «ЦЕЛЛИТ». В качестве рабочей жидкости – вода дистиллированная. Для получения кобальтохромовых порошков методом электро-

эрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов [17]. Отходы загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью – дистиллированной водой, процесс проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 28 мкФ, напряжение 110 В, частота импульсов 100 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами произошло разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Методом растровой электронной микроскопии было проведено исследование микроструктуры порошков.

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.

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 пер-

вичных 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.

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. 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.

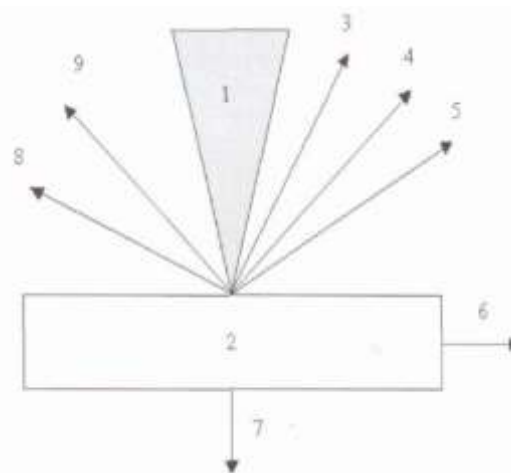


Рис. 1. Эффекты взаимодействия электронного луча с объектом: 1 - электронный луч, 2 - объект, 3 - отраженные электроны, 4 - вторичные электроны, 5 - Оже-электроны, 6 - ток поглощенных электронов, 7 - прошедшие электроны, 8 - катодолуминесцентное излучение, 9 - рентгеновское излучение

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.

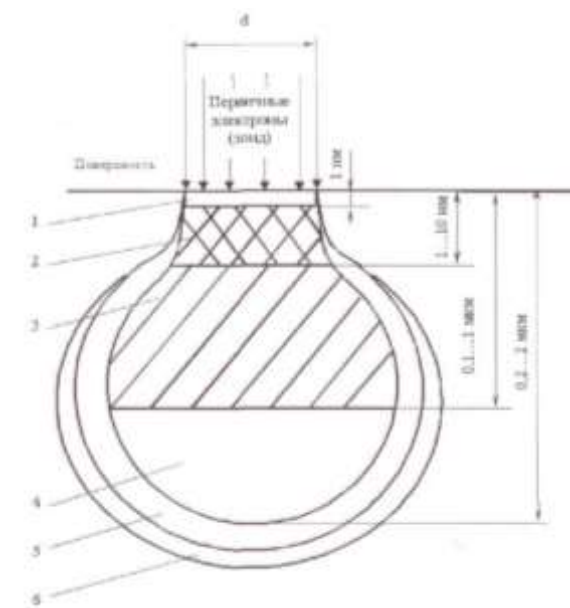


Рис. 2. Области сигналов и пространственное разрешение при облучении поверхности объекта потоком электронов (зонд). Области генерации: 1 - Оже-электронов, 2 - вторичных электронов, 3 - отраженных электронов, 4 - характеристического рентгеновского излучения, 5 - тормозного рентгеновского излучения, 6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

Качественный анализ обычно используется для определения характера распределения элементов по площади шлифа. 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. 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-рассеянных 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.

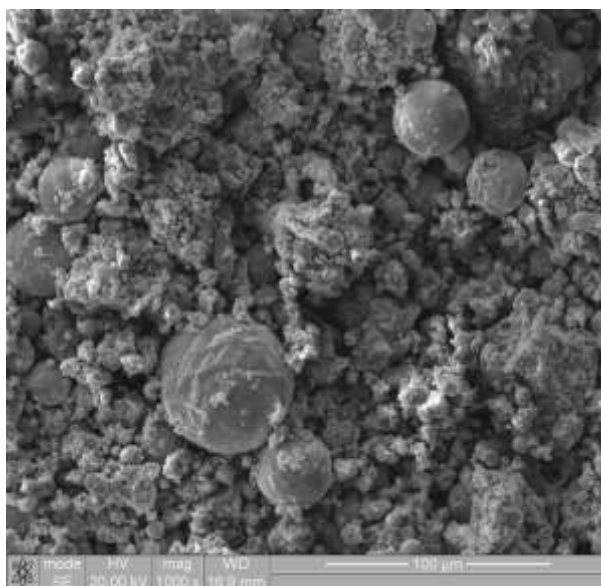
При попадании электронного пучка на образец некоторые электроны могут вылетать с поверхности образца в результате их взаимодействия с кристаллической решеткой образца. На флуоресцентном экране или ПЗС матрице обратно рассеянные электроны создают картину, которая называется картиной 9 обратного рассеяния электронов или линиями Кикучи. Дифракция обратно рассеянных электронов позволяет получать информацию о текстуре и ориентации зёрен кристаллических 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 и их обсуждение

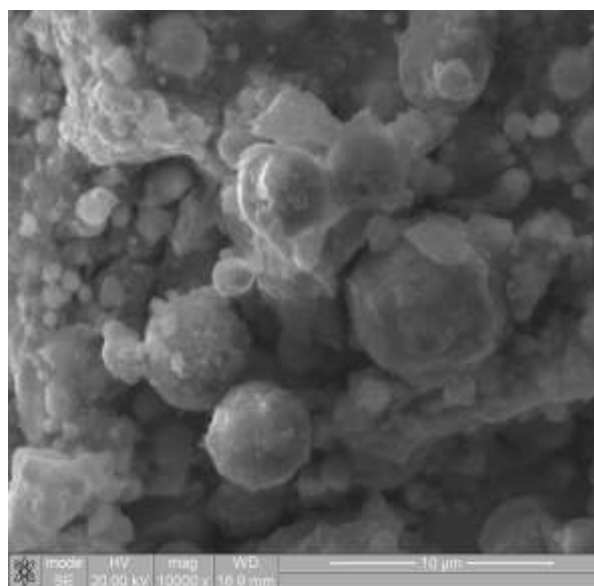
Результаты микроскопии и микроанализа порошков приведены на рисунках 3 и 4.

Экспериментально установлено, что в порошке преобладают частицы, имеющие правильную сферическую или эллиптическую форму. Они получаются

кристаллизацией расплавленного материала (жидкой фазы). Частицы, образующиеся при кристаллизации кипящего материала (паровой фазы), имеют неправильную форму, размер на порядок меньше частиц, образующихся из жидкой фазы, и обычно агломерируются друг с другом и на поверхности других частиц.



а)



б)

Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение электроэрозионного кобальтохромового порошка при увеличении со шкалой, мкм: а – 100; б – 10

Экспериментально установлено, что в кобальтохромовых порошках-сплавах, полученных для аддитивных технологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов сплава КХМС в воде дистиллированной, на поверхности содержится значительное количество кислорода.

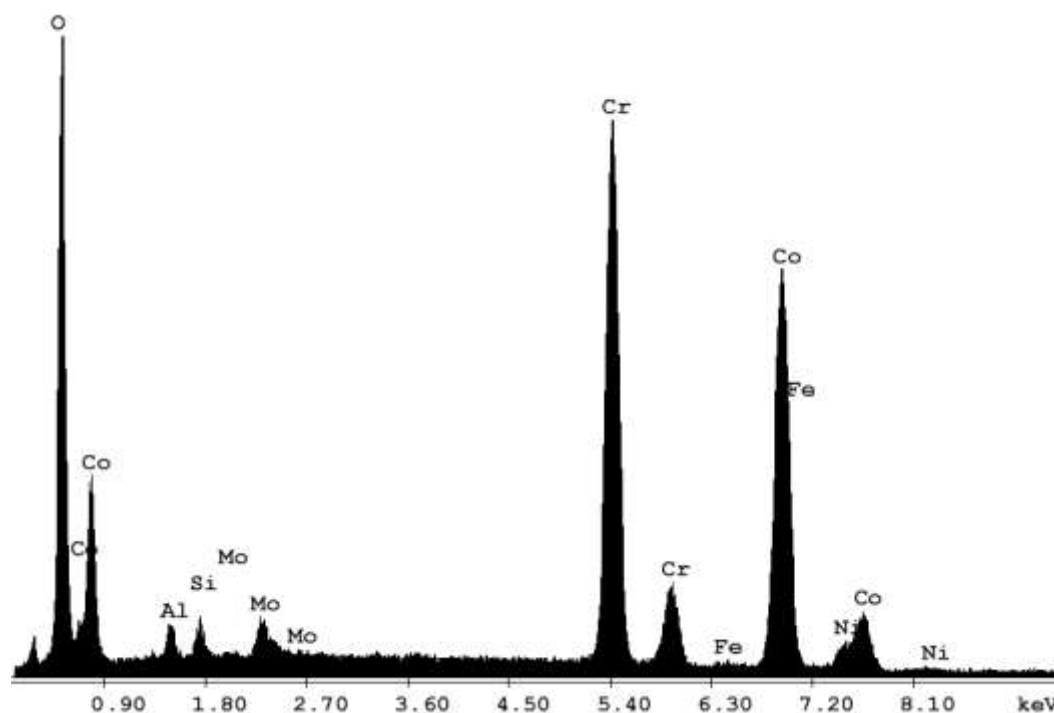
Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований, направленных на исследование морфологии и элементного состава кобальтохромовых порошков-сплавов, полученных для аддитивных тех-

нологий электроэрозионным диспергированием металлоотходов сплава КХМС в воде дистиллированной, установлено:

1. В электроэрозионном порошке преобладают частицы, имеющие правильную сферическую или эллиптическую форму, что и требуется для аддитивных технологий.

2. В электроэрозионном порошке на поверхности содержится значительное количество кислорода и для его использования в аддитивных технологиях требуется дополнительная химическая очистка.



Element	Wt %	At %
O K	16.75	40.97
AlK	1.04	1.50
SiK	0.98	1.36
MoL	2.00	0.82
CrK	30.65	23.07
FeK	0.53	0.37
CoK	44.78	29.73
NiK	3.27	2.18
Total	100.00	100.00

Рис. 4. Элементный состав поверхности электроэрозионного кобальтохромового порошка

В целом, разрабатываемые электроэрозионные металлопорошки должны быть конкурентоспособны по сравнению с существующими отечественными и зарубежными аналогами в части:

- энергетических затрат;
- экологической чистоты процесса;
- ресурсосбережения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда. Номер проекта 17-79-20336.

Список литературы

1. Логачева А.И., Сентюрина Ж.А., Логачев И.А. Сферические порошки перспективных никелевых и титановых сплавов российского производства и аддитивные технологии производства изделий ответственного назначения из них // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы. Сварка: сб. докл. 9-го Междунар. симп. Минск, 2015. Ч. 1. С. 146-152.
2. Довбыш В.М., Забеднов П.В., Зленко М.А. Аддитивные технологии и изделия из металла // Библиотечка литейщика. 2014. №8-9.
3. Логачева А.И. Аддитивные технологии для изделий РКТ: перспективы и

проблемы применения // Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества: тезисы V Международной молодежной конференции. М.: ИМЕТ РАН, 2014. С. 138-139.

4. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. – Springer Science & Business Media, 2009, 484 p.

5. Зленко М.А., Попович А.А., Мутылина И.Н. Аддитивные технологии в машиностроении. СПб., 2013. 221 с.

6. Каблов Е.Н., Оспенникова О.Г., Базылева О.А. Литейные конструкционные сплавы на основе алюминидов никеля // Двигатель. 2010. № 4. С.22-26.

7. Scheppe F., Sahm P.R., Hermann W., Paul U., Preuhs J. Nickel aluminides: a step toward industrial application. Materials Science and Engineering A, 2002, Vol. 329–331, pp. 596–601.

8. Петридис А.В., Толкушев А.А., Агеев Е.В. Состав и свойства порошков, полученных из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) // Технология металлов. 2005. № 6. С. 13-17.

9. Разработка и исследование твердосплавных изделий из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием вольфрамсодержащих отходов / Р.А. Латыпов, Г.Р. Латыпова, Е.В. Агеев, А.А. Давыдов // Международный научный журнал. 2013. № 2. С. 107-112.

10. Агеев Е.В., Агеева Е.В. Исследование химического состава порошков, полученных из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования // Современные инструментальные системы, информационные техноло-

гии и инновации: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф.: в 2 ч. / отв. редактор Е.И. Яцун. Курск, 2006. С. 146-150.

11. Разработка установки для получения порошков из токопроводящих материалов / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Р.А. Латыпов, Р.В. Бобрышев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11. № 5-2. С. 234-237.

12. Исследование производительности процесса получения порошков методом электроэрозионного диспергирования / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов, Н.А. Пивовар // Известия Юго-Западного государственного университета. 2010. № 4 (33). С. 76-82.

13. 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.

14. Использование твердосплавных электроэрозионных порошков для получения износостойких покрытий при восстановлении и упрочнении деталей машин и инструмента / Е.В. Агеев, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева, А.С. Бондарев, Е.П. Новиков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2013. № 1. С. 32-38.

15. Патент 2449859, Российская Федерация, С2, В22F9/14. Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих 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 20.05.17

UDC 621.762

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: alt997@yandex.ru)

A.G. Ivakhnenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: ivakhnenko2002@mail.ru)

MORPHOLOGY AND ELEMENTAL COMPOSITION OF COBALT-CHROMIUM POWDERS-ALLOYS PRODUCED FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES BY ELECTROEROSION DISPERSION OF METAL DISCARD IN WATER

Extensive use of electroerosion dispersion (EED) method to recycle metal discard into powders for their re-use in additive technologies is limited by a lack of complete data on the effects of the initial composition, production modes and media on the properties of produced powders and their application technologies. Hence there is a need in new re-use technologies for alloy-powder produced from nichrome scrap and in the assessment of their efficiency, which in its turn requires integrated theoretical and experimental studies.

The goal of the presented work was to investigate morphology and element composition of cobalt-chromium alloy-powders that had been produced for additive technologies by electroerosion dispersion of CCh alloy in distilled water.

Research and test material was cobalt-chromium scrap of "TSELIT" alloy grade. The working medium was distilled water. To produce cobalt-chromium powders by electroerosion dispersion an EED plant for current conducting materials. Metal scrap was charged into the reactor filled with working medium, distilled water; the process was run at the following parameters: energy discharge capacitor capacity was 28 mF, voltage 110 V pulse frequency 100 Hz.

The results of the research of the morphology and component composition of cobalt-chromium powder-alloys that had been produced for additive technologies by electroerosion dispersion of cobalt-chromium TSELIT alloy scrap in distilled water demonstrated that the majority of particles in the powder had regular sphere or oval shape, with large amount of surface oxygen, which required additional chemical treatment before use in additive technologies.

Key words: cobalt-chromium alloy, electroerosion dispersion, powder, element composition, additive technologies.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-4-21-31

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A.Yu., Ivakhnenko A.G. Morphology and Elemental Composition of Cobalt-Chromium Powders-Alloys Produced for Additive Technologies by Electroerosion Dispersion of Metal Discard in Water. Proceedings of the Southwest State University, 2017, vol. 21, no 4(73), pp. 21-31 (in Russ.).

Reference

1. Logacheva A.I., Sentjurina Zh.A., Logachev I.A. Sfericheskie poroshki perspektivnyh nikel'nykh i titanovykh splavov rossijskogo proizvodstva i additivnye tehnologii proizvodstva izdelij otvetstvennogo naznachenija iz nih. Poroshkovaja metallurgija: inzhenerija poverhnosti, novye poroshkovye kompozicionnye materialy. Svarka: sb. dokl. 9-go Mezhdunar. simp. Minsk, 2015, ch. 1, pp. 146-152.

2. Dovbysh V.M., Zabeznov P.V., Zlenko M.A. Additivnye tehnologii i izdelija

iz metalla. Bibliotekha litejshhika, 2014, no. 8-9.

3. Logacheva A.I. Additivnye tehnologii dlja izdelij RKT: perspektivy i problemy primeneniya. Funkcional'nye nanomaterialy i vysokochistye veshhestva: tezisy V Mezhdunarodnoj molodezhnoj konferencii. M.: IMET RAN, 2014, pp. 138-139.

4. Gibson I., Rosen D.W., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. – Springer Science & Business Media, 2009, 484 p.

5. Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylina I.N. Additivnye tehnologii v mashinostroenii. SPb., 2013, 221 p.
6. Kablov E.N., Ospennikova O.G., Bazyleva O.A. Litejnye konstrukcionnye splavy na osnove aljuminida nikelja. Dvigatel', 2010, no. 4, pp.22-26.
7. Scheppe F., Sahm P.R., Hermann W., Paul U., Preuhs J. Nickel aluminides: a step toward industrial application. Materials Science and Engineering A, 2002, vol. 329–331, pp. 596–601.
8. Petpidis A.V., Tolkushev A.A., Ageev E.V. Sostav i svojstva poposhkov, poluchennyh iz othodov tvepydyh splavov metodom jelektpojepozionnogo dispepgipovaniya (JeJeD). Tehnologija metallov, 2005, no. 6, pp. 13-17.
9. Razrabotka i issledovanie tverdospлавnyh izdelij iz poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovaniem vol'framsoderzhashhih othodov / R.A. Latypov, G.R. Latypova, E.V. Ageev, A.A. Davydov. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal, 2013, no. 2, pp. 107-112.
10. Ageev E.V., Ageeva E.V. Issledovanie himicheskogo sostava poroshkov, poluchennyh iz othodov tverdyh splavov metodom jelektrojerozionnogo dispergirovaniya. Sovremennye instrumental'nye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii: mater. IV Mezhdunar. nauch.-tehn. konf.: v 2 ch. / otv. redaktor E.I. Jacun. Kursk, 2006, pp. 146-150.
11. Razrabotka ustanovki dlja poluchenija poroshkov iz tokoprovodjashhih materialov / E.V. Ageev, B.A. Semenihin, R.A. Latypov, R.V. Bobryshev. Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2009, vol. 11, no. 5-2, pp. 234-237.
12. Issledovanie proizvoditel'nosti processa poluchenija poroshkov metodom jelektrojerozionnogo dispergirovaniya / E.V. Ageev, B.A. Semenihin, E.V. Ageeva, R.A. Latypov, N.A. Pivovar. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2010, no. 4 (33), pp. 76-82.
13. Provedenie rentgenospektral'nogo mikroanaliza tverdospлавnyh jelektrojerozionnyh poroshkov / E.V. Ageev, G.R. Latypova, A.A. Davydov, E.V. Ageeva. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2012, no. 5-2 (44), pp. 99-102.
14. Ispol'zovanie tverdospлавnyh jelektrojerozionnyh poroshkov dlja poluchenija iznosostojkih pokrytij pri vosstanovlenii i uprochnenii detalej mashin i instrumenta / E.V. Ageev, A.A. Davydov, E.V. Ageeva, A.S. Bondarev, E.P. Novikov. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Tehnika i tehnologii, 2013, no. 1, pp. 32-38.
15. Patent 2449859, Rossijskaja Federacija, C2, B22F9/14. Ustanovka dlja poluchenija nanodispersnyh 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 p.