

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)

М.А. Зубарев, студент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: koy747@gmail.ru)

СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЧАСТИЦ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВОГО ПОРОШКА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЯХ

Актуальной проблемой в настоящее время является переработка отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов в порошки. В зависимости от метода получения порошков их размеры могут колебаться в больших пределах, начиная от долей микрон до сотен и даже тысяч микрон. Одним из перспективных методов получения порошков из любого токопроводящего материала является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). Метод ЭЭД отличается невысокими энергетическими затратами, экологической чистотой процесса и хорошей управляемостью. При электроэрозионном диспергировании происходит изменение состава, свойств и структуры конечного материала в сравнении с составом, свойствами и структурой исходного материала.

Целью настоящей работы являлось исследование состояния поверхности частиц порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов твердого сплава марки ВК8 в керосине осветительном. С целью переработки отходов ВК8 в порошок с высоким содержанием наночастиц, была использована установка ЭЭД. При этом в качестве рабочей жидкости использовали керосин осветительный. Параметры установки следующие: напряжение на электродах – 190...210В; емкость разрядных конденсаторов – 55 мкФ; частота следования импульсов – 90...110 Гц. Форму и морфологию частиц порошков, полученных методом ЭЭД из отходов твердого сплава марки ВК8 в керосине осветительном, изучали на растровом (сканирующем) электронном микроскопе «QUANTA 600 FEG». Установлено, что порошок, полученный методом ЭЭД из отходов твердых сплавов марки ВК8, состоит из частиц правильной сферической формы (или эллиптической), неправильной формы (агломератов) и осколочной формы.

Ключевые слова: отходы твердого сплава марки ВК8, электроэрозионное диспергирование, порошок, форма и морфология частиц порошка.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-1-69-75

Ссылка для цитирования: Состояние поверхности частиц электроэрозионного вольфрамокобальтового порошка, используемого в износостойких покрытиях / Е.В. Агеева, А.Ю. Алтухов, С.С. Гулидин, М.А. Зубарев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 1(70). С. 69–75.

Введение

Актуальной проблемой в настоящее время является переработка отходов вольфрамсодержащих твердых сплавов в порошки [1–15].

В зависимости от метода получения порошков их размеры могут колебаться в больших пределах, начиная от долей микрон до сотен и даже тысяч микрон.

Одним из перспективных методов получения порошков из любого токопроводящего материала является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД). Метод ЭЭД отличается невысокими энергетическими затратами, экологической чистотой процесса и хорошей управляемостью [6–16].

При электроэрозионном диспергировании происходит изменение состава,

свойств и структуры конечного материала в сравнении с составом, свойствами и структурой исходного материала.

Целью настоящей работы являлось исследование состояния поверхности частиц порошка, полученного электроэрозивным диспергированием отходов твердого сплава марки ВК8 в керосине осветительном.

С целью переработки отходов ВК8 в порошок с высоким содержанием наночастиц была использована установка ЭЭД [16]. При этом в качестве рабочей жидкости использовали керосин осветительный. Параметры установки следующие: напряжение на электродах – 190...210В; емкость разрядных конденсаторов – 55 мкФ; частота следования импульсов – 90...110 Гц.

Форму и морфологию частиц порошков, полученных методом ЭЭД из отходов твердого сплава марки ВК8 в керосине осветительном, изучали на растровом (сканирующем) электронном микроскопе «QUANTA 600 FEG» (рис. 1). При помощи растровой электронной микро-

скопии возможно проводить непосредственный анализ частиц порошка с достаточно высоким разрешением. В растровом электронном микроскопе достигается большая глубина фокуса, что позволяет наблюдать объемное изображение изучаемой структуры.

QUANTA 600 FEG (производитель FEI (Голландия)) – электронно-ионный сканирующий микроскоп с электронно-лучевой колонной, оснащенной вольфрамовым катодом, ускоряющее напряжение от 200 эВ до 30 кВ, разрешение (при оптимальном WD) 3,5 нм при 35 кВ; 3,5 нм при 30 кВ в режиме естественной среды; < 15 нм при 1 кВ в режиме низкого вакуума. Ионная колонна Magnum с галлиевым жидкометаллическим источником ионов, ускоряющее напряжение от 5 кВ до 30 кВ, разрешение 20 нм. Система оснащена 5-и осевым моторизованным столиком 50x50x25 мм, газовыми инъекционными системами для напыления проводников и диэлектриков, а также для травления образцов.



Рис. 1. Растровый электронный микроскоп «QUANTA 600 FEG»

Микроскоп позволяет получать изображения различных объектов с увеличением, превышающим 100000 крат, с большим числом элементов разложения (пикселей). Он предназначен для выполнения различных исследований с минимальными затратами времени на препарирование объектов, обеспечивая их наблюдение с исключительной глубиной резкости.

QUANTA 600 FEG позволяют работать с разнообразными типами образцов

(в том числе непроводящими, загрязненными, влажными образцами и образцами, способными к газовой выделению при вакуумировании).

При помощи растровой электронной микроскопии имеется возможность непосредственного анализа частиц порошка с достаточно высоким разрешением. В растровом электронном микроскопе достигается большая глубина фокуса, что позволяет наблюдать объемное изображение изучаемой структуры (рис. 2).

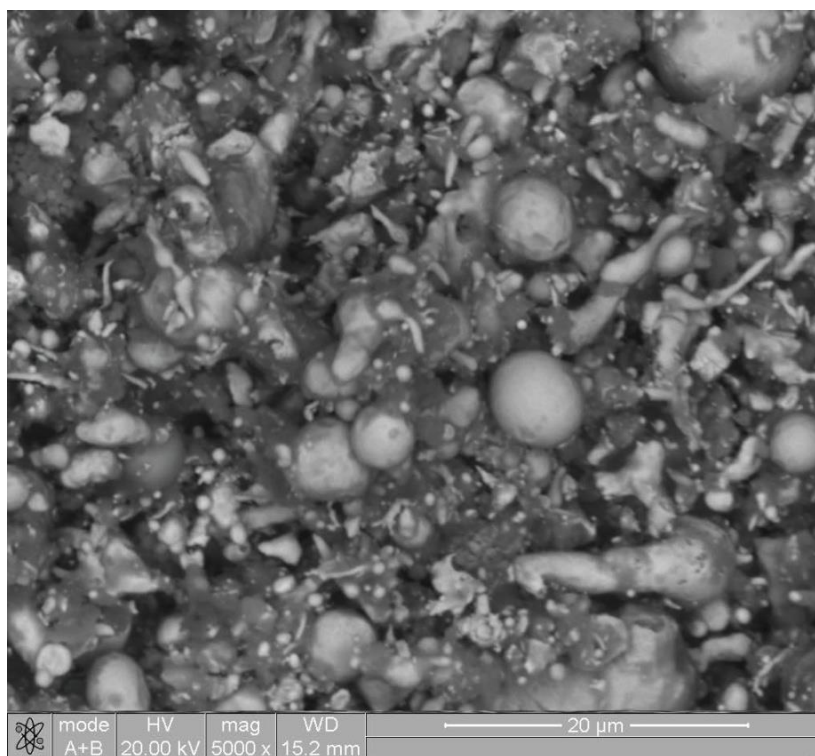


Рис. 2. Снимок с РЭМ частиц порошка ВК8, полученного ЭЭД

Форма частиц порошка обусловлена тем, в каком виде материал выбрасывается из лунки в процессе ЭЭД. Обычно в порошке преобладают частицы, полученные кристаллизацией расплавленного материала (жидкая фаза). Они имеют правильную сферическую или эллиптическую форму.

Частицы, образующиеся при кристаллизации кипящего материала (паро-

вая фаза), имеют, как правило, неправильную форму, размер на порядок меньше частиц, образующихся из жидкой фазы, и обычно агломерируются друг с другом и на поверхности других частиц. В процессе ЭЭД такие частицы наиболее подвержены химическим и фазовым изменениям. К.К. Намиток из анализа исследований пришел к выводу, что паровая фаза образуется при большой мощно-

сти теплового воздействия и процесс ее эрозии протекает взрывообразно. Это критическое значение будет разным для разных материалов, но близким к 10^{12} Вт/м². Используя уравнение температурного поля, описывающее тепловые процессы на поверхности анода при воздействии на него канала искрового разряда, авторы смогли установить, что увеличение длительности импульса приводит к увеличению диаметра канала разряда, что, в свою очередь, приводит к уменьшению плотности мощности теплового воздействия. Из этого следует, что чем меньше диаметр канала разряда, тем больше количество паровой фазы.

Частицы, выбрасываемые из лунки в твердом состоянии (твердая фаза), образуются под действием ударных волн канала разряда и под действием термических напряжений, а также частицы твердой фазы образуются при хрупком изломе острых граней и краев диспергируемого материала при его перемешивании во время процесса ЭЭД. Такие частицы, как правило, имеют неправильную осколочную форму, иногда с оплавленными гранями и краями. При диспергировании пластичного материала обычно вообще не обнаруживается частиц, полученных хрупким разрушением. Хрупкое разрушение твердого сплава при ЭЭД, по мнению авторов, начинает происходить только при повышении энергии импульса свыше 0,15–0,25 Дж. Но доля частиц в порошке, образовавшаяся в результате хрупкого излома при перемешивании, всегда присутствует.

Таким образом, порошок, полученный методом ЭЭД из отходов твердых сплавов марки ВК8, состоит из частиц правильной сферической формы (или эл-

липтической), неправильной формы (конгломератов) и осколочной формы.

При ЭЭД частицы порошка, выбрасываемые из канала разряда в жидком состоянии в РЖ, быстро кристаллизуются и закаляются, поэтому и имеют сферическую или эллиптическую форму. После выхода из зоны разряда частицы порошка весьма часто сталкиваются между собой. Если в момент столкновения кристаллизация была полностью завершена, то на частицах остаются характерные следы от ударов и сетчатая поверхность.

Если имеется значительная разница температур столкнувшихся частиц, то происходит их слипание с образованием непрочных границ. Как правило, такое происходит при столкновении крупных частиц, образовавшихся из жидкой фазы, с мелкими частицами, образовавшимися из паровой фазы. Если нет существенной разницы температур частиц при столкновении, то могут образовываться конгломераты неправильных форм.

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

Список литературы

1. Эффективное введение наночастиц карбида вольфрама в твердый сплав / Л.Г. Хвостанцев, Г.В. Боровский, В.В. Бражкин, Л.А. Лайцан, В.Г. Боровский // Российские нанотехнологии. – 2013. – Т. 8. – № 9-10. – С. 78-81.
2. Хертель Н. Твердый сплав - стойкость к износу и коррозии // Черные металлы. – 2012. – № 2. – С. 50-51.
3. Жигалов А.Н., Маслов А.Р., Шатуров Г.Ф. Повышение эффективности фрезерования путем совершенствования структуры режущих твердых сплавов // Вестник машиностроения. – 2015. – № 8. – С. 20-23.

4. Богодухов С.И., Козик Е.С., Сви-денко Е.В. Влияние химико-термической обработки на износостойкость спеченных твердых сплавов // Упрочняющие техно-логии и покрытия. – 2016. – № 3 (135). – С. 21-25.

5. Богодухов С.И., Козик Е.С., Сви-денко Е.В. Влияние термической обра-ботки на прочность и износостойкость сплава Т15К6 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – Т. 82. – № 11. – С. 27-31.

6. Агеев Е.В., Латыпов Р.А. Получе-ние и исследование заготовок твердого сплава из порошков, полученных элект-роэрозионным диспергированием воль-фрамсодержащих отходов // Известия высших учебных заведений. Цветная ме-таллургия. – 2014. – № 5. – С. 50-53.

7. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Ла-тыпов Р.А. Метод получения нанострук-турных порошков на основе системы WC-CO и устройство для его осуществле-ния // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2010. – № 5. – С. 39-42.

8. Оценка эффективности примене-ния твердосплавных порошков, получен-ных электроэрозионным диспергирова-нием отходов твердых сплавов, при вос-становлении и упрочнении деталей ком-позиционными гальваническими покры-тиями / Е.В. Агеев, Б.А. Семенихин, Е.В. Агеева, Р.А. Латыпов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 9. – С. 14-16.

9. Проведение рентгеноспектрально-го микроанализа твердосплавных элект-роэрозионных порошков / Е.В. Агеев, Г.Р. Латыпова, А.А. Давыдов, Е.В. Агеева // Известия Юго-Западного государствен-ного университета. – 2012. – № 5-2 (44). – С. 99-102.

10. Латыпов Р.А., Агеев Е.В., Давы-дов А.А. Восстановление и упрочнение

деталей машин и инструмента с исполь-зованием порошков, полученных элект-роэрозионным диспергированием воль-фрамсодержащих отходов // Ремонт. Вос-становление. Модернизация. – 2013. – № 12. – С. 23-28.

11. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Латы-пов Р.А. Исследование влияния электриче-ских параметров установки на процесс по-рошкообразования при электроэрозионном диспергировании отходов твердого сплава // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11. – № 5-2. – С. 238-240.

12. Агеев Е.В., Семенихин Б.А., Ла-тыпов Р.А. Исследование микротвердо-сти порошков, полученных электроэро-зионным диспергированием твердого сплава // Вестник Федерального государ-ственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроин-женерный университет им. В.П. Горячки-на». – 2011. – № 1 (46). – С. 78-80.

13. Агеев Е.В., Латыпов Р.А., Угримов А.С. Металлургические особенности полу-чения твердосплавных порошков элект-роэрозионным диспергированием сплава Т15К6 в бутаноле // Электротехнология. – 2016. – № 4. – С. 28-31.

14. Свойства твердого сплава ВК6, полученного из свс-порошка карбида вольфрама / В.С. Панов, Ж.В. Еремеева, Е.В. Агеев, Е.Л. Нарбаев, Ю.Ю. Каплан-ский // Известия Юго-Западного государ-ственного университета. – 2015. – № 3 (60). – С. 32-35.

15. Электроэрозионные порошки микро- и нанометрических фракций для производства твердых сплавов / Р.А. Ла-тыпов, Е.В. Агеева, О.В. Кругляков, Г.Р. Латыпова // Электротехнология. – 2016. – № 1. – С. 16-20.

16. Пат. 2449859, Российская Феде-рация, С2, В22F9/14. Установка для по-

лучения 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 20.12.16

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)

M. A. Zubarev, Student, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: koy747@gmail.ru)

THE CONDITION OF ELECTROEROSIVE TUNGSTEN COBALT POWDER PARTICLES SURFACE USED FOR WEAR RESISTANT COVERINGS

Tungsten-containing hard alloy wastes recycling into powder is considered to be essential nowadays. They can be parts of microns up to thousands of microns depending on powder production methods. The method of electroerosive dispersion is one of the most promising methods of powder production using any conductive. The method of electroerosive dispersion is characterized by low energy consumption, environmental soundness and controllability. In the process of electroerosive dispersion final material composition, properties and structure change in comparison to basic material.

The aim of the article is to research powder particles surface obtained by the method of electroerosive dispersion of tungsten cobalt hard alloy wastes (BK8) in mineral colza oil. In order to recycle BK8 wastes into the powder with a high content of nanoparticles we used electroerosive dispersion system. Mineral colza oil was used as hydraulic fluid. The system parameters: electrode voltage - 190...210 V; energy discharge capacitor – 55 mF; repetition rate - 90...110 Hz. The shape and morphology of the particles obtained by electroerosive dispersion method using BK8 wastes in mineral colza oil were studied using scanning electron microscope «QUANTA 600 FEG». It has been observed that this powder consists of regular spherical (ellipsoid) shape particles, irregular shape particles and shrapnel shape particles.

Key words: tungsten cobalt hard alloy wastes (BK8), electroerosive dispersion, powder, shape and morphology powder particles.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-1-69-75

For citation: Ageeva E.V., Altukhov A. Yu., Gulidin S. S., Zubarev M. A. The Condition of Electroerosive Tungsten Cobalt Powder Particles Surface Used for Wear Resistant Coverings, Proceeding of Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 1(70), pp. 69-75 (in Russ).

Reference

1. Jeффективnoe vvedenie nanochastic karbida vol'frama v tverdyj splav / L.G. Hvosancev, G.V. Borovskij, V.V. Brazhkin, L.A. Lajcan, V.G. Borovskij // Rossijskie nanotehnologii. – 2013. – Т. 8. – № 9-10. – S. 78-81.

2. Hertel' N. Tverdyj splav - stojkost' k iznosu i korrozii // Chernye metally. – 2012. – № 2. – S. 50-51.

3. Zhigalov A.N., Maslov A.R., Shatur-ov G.F. Povyshenie jeффекtivnosti frezero-vanija putem sovershenstvovanija struktury rezhushhij tverdyh splavov // Vestnik mashinostroenija. – 2015. – № 8. – S. 20-23.

4. Bogoduhov S.I., Kozik E.S., Svidenko E.V. Vlijanie himiko-termicheskoj obrabotki na iznosostojkost' spechennyh tverdyh splavov // Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija. – 2016. – № 3 (135). – S. 21-25.

5. Bogoduhov S.I., Kozik E.S., Svidenko E.V. Vlijanie termicheskoj obra-botki na prochnost' i iznosostojkost' splava T15K6 // Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov. – 2016. – T. 82. – № 11. – S. 27-31.

6. Ageev E.V., Latypov R.A. Poluchenie i issledovanie zagotovok tverdogo splava iz poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem vol'framso derzhashhij othodov // Izvestija vysshijh uchebnyh zavedenij. Cvetnaja metallurgija. – 2014. – № 5. – S. 50-53.

7. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Metod polucheniya nanostrukturnykh poroshkov na osnove sistemy WC-CO i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2010. – № 5. – S. 39-42.

8. Ocenka jeffektivnosti primeni-nija tverdosplavnykh poroshkov, poluchennyh jelektrojerozionnym dispergirovanijem othodov tverdykh 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.

9. Provedenie rentgenospektral'no-go 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. 099-102.

10. Latypov R.A., Ageev E.V., Davydov A.A. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej mashin i instrumenta s ispol'zovanijem poroshkov, poluchennykh jelektrojerozionnym dispergirovanijem vol'framso derzhashhij othodov // Remont. Vosstanovlenie. Modernizacija. – 2013. – № 12. – S. 23-28.

11. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Issledovanie vlijaniya jelektrich-

eskih 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.

12. Ageev E.V., Semehin B.A., Latypov R.A. Issledovanie mikrotverdosti poroshkov, poluchennykh jelektrojerozionnym dispergirovanijem tverdogo splava // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V.P. Gorjachkina». – 2011. – № 1 (46). – S. 78-80.

13. Ageev E.V., Latypov R.A., Ugri-mov A.S. Metallurgicheskie osobennosti polucheniya tverdosplavnykh poroshkov jelektrojerozionnym dispergirovanijem splava T15K6 v butanole // Jelektrometallurgija. – 2016. – № 4. – S. 28-31.

14. Svoystva tverdogo splava VK6, poluchennogo iz svs-poroshka karbida vol'frama / V.S. Panov, Zh.V. Eremeeva, E.V. Ageev, E.L. Narbaev, Ju.Ju. Kaplanskij // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2015. – № 3 (60). – S. 32-35.

15. Jelektrojerozionnye poroshki mikro- i nanometricheskijh frakcij dlja proizvodstva tverdykh splavov / R.A. Latypov, E.V. Ageeva, O.V. Krugljakov, G.R. Latypova // Jelektrometallurgija. – 2016. – № 1. – S. 16-20.

16. Patent 2449859, Rossijskaja Federacija, C2, B22F9/14. Ustanovka dlja polucheniya nanodispersnykh poroshkov iz tokoprovodjashhijh materialov / Ageev E.V.; zajavitel' i patentoobladatel' Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet. – № 2010104316/02; zajav. 08.02.2010; opubl. 10.05.2012. – 4 s.