УДК 669.275

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-7-242-15-20

*Е. В. Агеев, Н. М. Хорьякова, К. В. Садова***МОРФОЛОГИЯ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОРОШКА ПСЕВДОСПЛАВА ВНЖ-95, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ В КЕРОСИНЕ*****ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», Курск**

e-mail: ageev_ev@mail.ru, natali030119891@yandex.ru

Псевдосплавы ВНЖ применяют для изготовления деталей цилиндров, втулок, сложнофигурных заготовок с криволинейными поверхностями: роторов гироскопов, инерционных масс, эрозионностойких электродов, воронок для кумулятивных зарядов, биологической защиты от гамма-излучения. Вторичная переработка вольфрамовых псевдосплавов ВНЖ является актуальным и необходимым ввиду дефицита вольфрама.

Перспективным методом переработки отходов в высокодисперсные порошки является выбранный нами метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД).

Цель работы – исследование морфологии и элементного состава порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного электроэрозионным диспергированием в керосине.

С целью переработки отходов сплава W-Ni-Fe в порошок использовали отходы в виде стружки из стержня псевдосплава ВНЖ-95 (Ni – 3,2-3,7; Fe – 1,5-2,0; W – остальное). В качестве рабочей жидкости – керосин. Процесс ЭЭД осуществляли на установке для получения порошков из токопроводящих материалов (патент на изобретение РФ № 2449859). Процесс проводили при напряжении на электродах 100...110В, емкости разрядных конденсаторов 50 мкФ и частоте следования импульсов 120...130 Гц.

Исследование микроструктуры образцов (по поперечному шлифу) проведено с помощью электронно-ионного сканирующего микроскопа «Quanta 200 3D». Порошок, полученный методом ЭЭД отходов сплава ВНЖ-95 в керосине, состоит из частиц правильной сферической формы (или эллиптической) и неправильной формы (конгломератов).

Микроанализ частиц электроэрозионного порошка псевдосплава ВНЖ-95 проведен с помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «Quanta 200 3D». В результате изучения элементного состава порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного ЭЭД в керосине, установлено, что основными элементами являются вольфрам, никель, железо, углерод и кислород.

Ключевые слова: псевдосплавы ВНЖ, вольфрамсодержащие отходы, электроэрозионное диспергирование, морфология, элементный состав.

*E. V. Ageev, N. M. Khorjakova, K. V. Sadova***MORPHOLOGY AND ELEMENT COMPOSITION POWDER ALLOY POWDER VNZH-95, OBTAINED BY ELECTROEROSION DISPERSION IN KEROSENE****Southwest State University, Kursk**

Residence permits pseudo-alloys are used for the manufacture of cylinder parts, bushings, complex-shaped blanks with curved surfaces: gyroscope rotors, inertial masses, erosion-resistant electrodes, funnel for cumulative charges, biological protection from gamma radiation. Recycling of tungsten pseudo-alloys residence permit is relevant and necessary due to the shortage of tungsten.

A promising method of processing waste into fine powders is the method of electroerosive dispersion (EED) that we have chosen.

The purpose of the work is to study the morphology and elemental composition of the powder of the VNZh-95 pseudo-alloy obtained by electroerosive dispersion in kerosene.

In order to process the waste of the W-Ni-Fe alloy into powder, we used waste in the form of chips from the core of the VNZh-95 pseudo-alloy (Ni–3.2-3.7, Fe–1.5-2.0, W–the rest). Kerosene is used as a working fluid. The EED process was carried out on the installation for obtaining powders from conductive materials (patent for the invention of the Russian Federation No. 2449859). The process was carried out at a voltage on the electrodes of 100 ... 110 V, the capacitance of the discharge capacitors 50 μ F and a pulse repetition rate of 120 ... 130 Hz.

The microstructure of the samples (along the transverse section) was studied using a Quanta 200 3D electron-ion scanning microscope. The powder obtained by the EED method for waste of VNZh-95 alloy in kerosene consists of particles of regular spherical shape (or elliptical) and irregular shape (conglomerates).

Microanalysis of particles of electroerosive powder of pseudo-alloy VNZh-95 was carried out using an EDAX energy-dispersive x-ray analyzer built into the Quanta 200 3D scanning electron microscope. As a result of studying the elemental composition of the VNZh-95 pseudo-alloy powder obtained by EED in kerosene, it was found that the main elements are tungsten, nickel, iron, carbon and oxygen.

Keywords: residence permit pseudo-alloys, tungsten-containing wastes, electroerosive dispersion, morphology, elemental composition.

Вольфрамовые псевдосплавы W-Ni-Fe (ВНЖ) успешно применяются при изготовлении деталей авиационных двигателей, нитей накаливания, в электровакуумных приборах. Наличие высокой плотности позволяет использовать псевдосплавы ВНЖ для создания противовесов, пуль, артиллерийских снарядов, сверхскоростных роторов и т. д. [1].

Анализ работ в области вольфрамсодержащих сплавов показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии и вторичной переработки вольфрама. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения вольфрама. В отечественной и зарубежной промышленности применяют несколько методов переработки отходов вольфрамсодержащих сплавов, которые в большинстве своем характеризуются крупнотоннажностью, энергоемкостью, большими производственными площадями, малой производительностью, а также экологическими проблемами [2–4].

Одним из перспективных методов переработки отходов в высокодисперсные порошки является выбранный нами метод электроэрозийного диспергирования (ЭЭД), отличающийся простотой конструкции оборудования, отсут-

ствием стоков и выбросов, низкой удельной энергоемкостью процесса и компактностью технологического оборудования [2–4].

Целью работы является исследование морфологии и элементного состава порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного электроэрозийным диспергированием в керосине.

Для выполнения намеченных исследований использовали отходы в виде стружки из стержня псевдосплава ВНЖ-95 (Ni – 3,2–3,7; Fe – 1,5–2,0; W – остальное). В качестве рабочей жидкости – керосин. С целью переработки отходов сплава W-Ni-Fe в порошок использовали установку для получения порошков из токопроводящих материалов (патент на изобретение РФ № 2449859) [5]. Процесс проводили при напряжении на электродах 100...110 В, емкости разрядных конденсаторов 50 мкФ и частоте следования импульсов 120...130 Гц.

Исследование микроструктуры образцов (по поперечному шлифу) проведено с помощью электронно-ионного сканирующего микроскопа «Quanta 200 3D». Результаты исследования микроскопии частиц порошка псевдосплава ВНЖ-95 (керосин), полученные с помощью растрового электронного микроскопа «Quanta 200 3D», представлены на рис. 1.

x200

x500

x1000

x2500

x500

x1000

x2500

x5000

x10000

x200

x200

x1000

Рис. 1. Морфология порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного ЭЭД в керосине («Quanta 200 3D», BSE – режим обратно-рассеянных электронов)

Из анализа микроструктуры видно, что порошок, полученный методом ЭЭД отходов сплава ВНЖ-95 в керосине, состоит из частиц правильной сферической формы (или эллиптической) и неправильной формы (конгломератов). Частицы, выбрасываемые из канала разряда в жидком состоянии в рабочую жидкость в процессе электроэрозионного диспергирования, имеют сферическую или эллиптическую форму вследствие быстрой кристаллизации и закалки. Частицы, образующиеся из паровой фазы при кристаллизации кипящего материала, имеют

неправильную форму, гораздо меньший размер, чем частицы, образующиеся из жидкой фазы. Они обычно агломерируются друг с другом и на поверхности других частиц [6–11].

Результаты исследования микроанализа частиц электроэрозионного порошка псевдосплава ВНЖ-95 (керосин), полученные с помощью энерго-дисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенного в растровый электронный микроскоп «Quanta 200 3D», представлены на рис. 2 и в таблице ниже.

а

Точки проведения рентгеноспектрального микроанализа

б

Рис. 2. Рентгеноспектральный микроанализ порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного ЭЭД в керосине (см. также с. 19)

Рис. 2. Окончание

**Усредненный элементный состав порошка
псевдосплава ВНЖ-95, полученного ЭЭД в керосине**

Точка	Элемент	Вес, %
1	W	94,98
	Ni	3,34
	Fe	1,53
	C	0,15
	O	0,10
	Итого	100
2	W	94,95
	Ni	3,30
	Fe	1,47
	C	0,16
	O	0,12
	Итого	100

На спектре каждому химическому элементу соответствует пик определенной высоты. По точкам 1-2 был проведен элементный анализ по безэталонному методу. В результате изучения элементного состава порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного ЭЭД в керосине, установлено, что основными элементами являются вольфрам, никель, железо, углерод и кислород.

Сопоставив элементный состав полученного электроэрозионного порошка ВНЖ-95 с составом отходов, выяснили, что электроэрозионный по-

рошок ВНЖ-95 соответствует по составу отходам псевдосплава ВНЖ-95, использованным в процессе ЭЭД. При этом электроэрозионный порошок ВНЖ-95 получен из отходов с низким расходом электроэнергии, без использования больших количеств химических веществ, что делает данный способ конкурентоспособным.

Проведенные исследования позволяют осуществить постепенный переход к передовым производственным технологиям и материалам посредством применения прогрессивной, экологически чистой, малотоннажной и безотходной технологии электроэрозионного диспергирования при получении новых порошковых материалов из отходов (стружки) сплава ВНЖ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поварова, К. Б. Тяжелые вольфрамовые сплавы на основе нанопорошков / К. Б. Поварова, М. И. Алымов, А. А. Дроздов // Вопросы материаловедения. – 2008. – № 2(54). – С. 94–99.
2. Байрамов, Р. К. Получение высокодисперсных порошков металлов и их соединений электроискровым диспергированием металлов : моногр. / Р. К. Байрамов. – М.: Издательский дом МИСиС, 2012. – 80 с.
3. Твердые сплавы, полученные из электроэрозионных порошков: монография / Е. В. Агеева, О. В. Кругляков, Н. М. Хорьякова, Е. В. Агеев. – Курск : Университетская книга, 2015. – 164 с.
4. Агеев, Е. В. Исследование и практическое применение порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов вольфрамосодержащих твердых сплавов : дис. ... д-ра тех. наук: 05.16.09 / Агеев Евгений Викторович. – М., 2012. – 250 с.

5. Пат. 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.: ил.

6. Агеева, Е. В. Исследование формы и морфологии электроэрозионных медных порошков, полученных из отходов / Е. В. Агеева, Н. М. Хорьякова, Е. В. Агеев // Вестник машиностроения. – 2014. – № 8. – С. 73–75.

7. Хорьякова, Н. М. Разработка ресурсосберегающего способа получения порошковой меди электроэрозионным диспергированием : дис. ... канд. тех. наук: 05.16.09 / Хорьякова Наталья Михайловна. – Брянск, 2018. – 231 с.

8. Состав, структура и свойства медного электроэрозионного порошка, полученного в среде керосина / Е. В. Агеева, Н. М. Хорьякова, С. В. Пикалов, Е. В. Агеев // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2015. – № 4. – С. 4–8.

9. Исследования гранулометрического и элементного состава электроэрозионного медно-углеродного порошка, полученного в керосине / Н. М. Хорьякова, Е. В. Агеева, Е. В. Агеев, И. В. Егельский, Д. А. Чумак-Жунь // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. – 2015. – № 4 (17). – С. 18.24.

10. Хорьякова, Н. М. Морфология и элементный состав медного порошка, полученного методом электроэрозионного диспергирования / Н. М. Хорьякова, В. С. Малюхов // Современный материалы, техника и технология : мат-лы 3-й Междунар. науч.-практич. конф. В 3 т. – Курск : ЮЗГУ, 2013. – Т. 1. – С. 388–390.

11. Хорьякова, Н. М. Применение медных порошков и зависимость их свойств от размеров частиц / Н. М. Хорьякова, В. С. Малюхов // Перспективное развитие науки, техники и технологии : сб. докл. III Междунар. науч.-практич. конф. В 3 т. – Курск : ЮЗГУ, 2013. – Т. 3. – С. 258–362.