УДК 621.761.27

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-7-254-32-35

*Е. В. Агеев, Н. М. Хорьякова, Е. П. Новиков, М. С. Королев***ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТОСТИ СПЛАВА ВНЖ,
СПЕЧЕННОГО ИЗ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ В ВОДЕ*****Юго-Западный государственный университет**

e-mail: ageev_ev@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований пористости псевдосплава ВНЖ, спеченного из электроэрозионных порошков, полученных в воде дистиллированной. Показано, что использование метода искрового плазменного спекания для получения изделий из порошка, произведенного электродиспергированием псевдосплава ВНЖ 95, позволит обеспечить пористость спеченных образцов порядка 0,43 % при средней микротвердости образцов 349 HV_{0,2}.

Ключевые слова: тяжелые вольфрамовые псевдосплавы, электроэрозионное диспергирование, порошок, искровое плазменное спекание, спеченное изделие, пористость, микротвердость.

*E. V. Ageev, N. M. Horakova, E. P. Novikov, M. S. Korolev***INVESTIGATION OF THE POROSITY OF THE VJ ALLOY SINTERED
FROM ELECTROEROSIVE POWDERS OBTAINED IN WATER****South-West State University**

The results of experimental studies of the porosity of the pseudosplav sintered from electroerosive powders obtained in distilled water are presented. It is shown that the use of the spark plasma sintering method for the production of products from the powder obtained by electrodispersion of the pseudoalloy VNJ 95 will ensure the porosity of the sintered samples of the order of 0.43% with an average micro-porosity of the samples of 349 HV_{0,2}.

Keywords: heavy tungsten pseudo-alloys, electroerosive dispersion, powder, spark plasma sintering, sintered product, porosity, microhardness.

Анализ работ в области псевдосплавов ВНЖ показывает, что большинство из них связано с вопросом экономии и вторичной переработки вольфрама и никеля. Этот вопрос имеет весьма актуальное значение в связи с дефицитом, дороговизной и непрерывным расширением областей применения этих легирующих компонентов. 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 [1–6].

Одним из перспективных методов переработки отходов в высокодисперсные порошки является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД), отличающийся простотой конструкции оборудования, отсутствием стоков и выбросов, низкой удельной энергоемкостью процесса и компактностью технологического оборудования [7–10]. Однако свойства сплавов,

полученных на основе измельченных электрической эрозией отходов псевдосплава ВНЖ, практически не изучены.

Целью работы является проведение экспериментальных исследований пористости спеченного псевдосплава ВНЖ из электроэрозионных порошков, полученных в воде дистиллированной.

**Материалы и методы проведения
исследований**

Для выполнения намеченных исследований выбраны отходы сплава ВНЖ 95 в виде стружки. В качестве рабочей жидкости была выбрана вода дистиллированная. Для диспергирования отходов сплава (стружки) ВНЖ использовали установку, защищенную патентом РФ № 2449859. Режимы диспергирования были следующие: частота следования импульсов 100 Гц; напряжение 100 В; емкость разрядных конденсаторов 24 мкФ. В результате электродиспергирования сплава ВНЖ 95 были получены частицы порошка (рис. 1).

Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение частиц порошка псевдосплава ВНЖ 95, полученного в воде

Консолидация полученных электроэрозийных порошков проведена методом искрового плазменного спекания (ИПС) с использованием системы искрового плазменного спекания SPS 25-10 (ThermalTechnology, США).

Образцы спеченного сплава получали из частиц, диспергированных в керосине, при температуре $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, давлении $P = 40\text{ МПа}$

и времени выдержки $t = 10\text{ мин}$. Исходный материал размещали в матрице из графита, помещаемой под пресс в вакуумной камере. Электроды, интегрированные в механическую часть прессы, подводят электрический ток к матрице и создают искровые разряды между спекаемыми частицами материала, обеспечивая интенсивное взаимодействие.

Поверхность полученного спеченного образца псевдосплава 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.

Результаты исследования рентгеноструктурного (фазового) состава спеченных образцов сплава ВНЖ из диспергированных электроэрозией частиц в воде дистиллированной на дифрактометре Rigaku Ultima IV представлены на рис. 2.

Рис. 2. Дифрактограмма псевдосплава ВНЖ

Отмечено, что диспергирование электроэрозией сплава ВНЖ 95 в воде дистиллированной способствует образованию фаз W, Ni, Fe, и FeNi_3 .

Пористость определяли с помощью оптического инвертированного микроскопа Olympus GX51 с программным обеспечением для количественного анализа изображения. Подготовленные образцы не имели следов шлифования, полирования или выкрашивания структурных составляющих. Программное обеспечение

«SIAMS Photolab», которым оснащен микроскоп, разработано с учетом специфики применения методов цифровой микроскопии и анализа изображений для металлографического анализа соединений.

Испытания микротвердости образцов по поперечному шлифу проводили с помощью автоматической системы анализа микротвердости DM-8 по методу микро-Виккерса при нагрузке на индентор 20 г по десяти отпечаткам со свободным выбором места укола в соответствии

с ГОСТ 9450-76 «Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников». Время нагружения индентора составило 15 с.

Результаты исследований

Результаты исследования пористости образцов металлографическим методом приведены в табл. 1 и на рис. 3.

В результате исследования пористости спеченных образцов металлографическим методом было установлено, что ее величина составляет порядка 0,43 %.

a

Пористость тяжелых вольфрамовых псевдосплавов, спеченных из диспергированных электроэрозией частиц в воде дистиллированной

Исследуемый параметр	Значение параметра
Площадь анализа, мкм ²	5694026,8
Пористость, %	0,43
Минимальный размер поры, мкм	0,2
Максимальный размер поры, мкм	2,9
Средний размер поры, мкм	0,43

б

Рис. 3. Результаты исследования пористости:
a – микроструктура поперечного шлифа образца; *б* – гистограмма распределения пор по размеру

Результаты измерений микротвердости спеченных образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Микротвердость тяжелых вольфрамовых псевдосплавов, спеченных из диспергированных электроэрозией частиц в воде дистиллированной

Номер отпечатка	Значение микротвердости, HV _{0,2}
1	325
2	398
3	251
4	430
5	322
6	395
7	382
8	337
9	325
10	402

Экспериментально установлено, что микротвердость спеченных образцов, полученных методом искрового плазменного спекания из диспергированных электроэрозией частиц сплава ВНЖ 95 в воде дистиллированной, составляет 349 HV_{0,2}.

Выводы

1. На основании проведенных экспериментальных исследований пористости спеченных изделий из электроэрозионного порошкового материала ВНЖ, полученного в воде дистиллированной, показана высокая эффективность применения технологии искрового плазменного спекания, которая обеспечит при малой продолжительности рабочего цикла получение изделий с высокими физико-механическими свойствами.

2. Отмечено, что пористость спеченных образцов составляет порядка 0,43 % при средней микротвердости 349 HV_{0,2}.

3. Проведенные исследования позволят разработать технологические рекомендации по

дальнейшему применению спеченных изделий из электроэрозионного порошкового материала ВНЖ, полученного в воде дистиллированной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электрохимическое окисление тяжелого вольфрамо-содержащего сплава типа ВНЖ и его компонентов в аммиачно-щелочных электролитах / О. Г. Кузнецова, А. М. Левин, М. А. Севостьянов, О. И. Цыбин, А. О. Больших // *Металлы*. 2019. № 3. С. 26–30.
2. Динамическая прочность тяжелого сплава ВНЖ-90, полученного методом электроимпульсного плазменного спекания / А. М. Брагов, В. Н. Чувильдеев, Н. В. Мелехин, А. Р. Филиппов, А. Ю. Константинов, Н. В. Сахаров // *Физическая мезомеханика*. 2018. Т. 21. № 2. С. 96–102.
3. Особенности диффузионной сварки вольфрамового сплава ВНЖ 95 / А. В. Люшинский, В. И. Малинов, Н. И. Качалин, Г. В. Баранов // *Сварочное производство*. 2008. № 8. С. 26–28.
4. Откольное разрушение сплава ВНЖ-90 при его нагружении ударными волнами / И. Р. Трунин, И. А. Терешкина, А. М. Подурец, В. Г. Симаков, М. И. Ткаченко, В. А. Брагунец, А. Н. Баландина, Е. Е. Шестаков // *Прикладная механика и техническая физика*. 2019. Т. 60. № 5 (357). С. 194–201.
5. Исследование процессов спекания нано- и ультрадисперсных механоактивированных порошков системы W-Ni-Fe и получение сверхпрочных тяжелых вольфрамовых сплавов / В. Н. Чувильдеев, А. В. Нохрин, Г. В. Баранов, М. С. Болдин, А. В. Москвичева, Н. В. Сахаров, Д. Н. Котков, Ю. Г. Лопатин, В. Ю. Белов, Ю. В. Благовещенский, Н. А. Козлова, Д. А. Коничев, Н. В. Исаева // *Металлы*. 2014. № 2. С. 51–66.
6. Морфология и элементный состав порошка псевдосплава ВНЖ-95, полученного электроэрозионным диспергированием в керосине / Е. В. Агеев, Н. М. Хорьякова, К. В. Садова // *Известия ВолгГТУ : научный журнал* № 7 (242) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2020. – С. 15–20.
7. Ageev E. V., Latypov R. A. Fabrication and investigation of carbide billets from powders prepared by electroerosive dispersion of tungsten-containing wastes // *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2014. Т. 55. No. 6. С. 577–580.
8. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Elemental composition of the powder particles produced by electric discharge dispersion of the wastes of a VK8 hard alloy // *Russian metallurgy (Metally)*. 2017. Т. 2017. № 12. С. 1083–1085.
9. Latypov R. A., Latypova G. R., Ageev E. V., Altukhov A. Y., Ageeva E. V. Properties of the coatings fabricated by plasma-jet hard-facing by dispersed mechanical engineering wastes // *Russian metallurgy (Metally)*. 2018. Т. 2018. № 6. С. 573–575.
10. Пат. 2449859, Российская Федерация, C2, B22F9/14. 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.