

УДК 621.762.27

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГОТОВОК ТВЕРДОГО СПЛАВА ИЗ ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫМ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ ВОЛЬФРАМСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

© 2014 г. **Е.В. Агеев, Р.А. Латыпов**

Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск  
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Статья поступила в редакцию 14.01.14 г, подписана в печать 21.05.14 г.

Представлены результаты исследования заготовок твердого сплава (ТС) из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием (ЭЭД) вольфрамсодержащих отходов сплавов марки Т15К6. Для изготовления ТС-порошка из отходов использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов. В качестве рабочих жидкостей в ее реакторе применяли дистиллированную воду и керосин осветительный. Процесс диспергирования проводили при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 35 мкФ, напряжение 200–220 В, частота следования импульсов 30 Гц. Экспериментально установлено, что ТС-заготовки в результате холодного изостатического прессования при давлении 300 МПа и последующего спекания в вакууме при температуре 1500 °С в течение 2 ч порошков, полученных из отходов методом ЭЭД, имеют в сравнении с промышленным твердым сплавом марки Т15К6 большую пористость (в 4,22–9,92 раза), меньший размер зерна (в 1,5–3,0 раза), более высокую плотность (на 5 %), более низкий предел прочности при сжатии (в 1,2–3,2 раза) и большую микротвердость (в 1,2 раза).

**Ключевые слова:** отходы твердого сплава, электроэрозионное диспергирование, получение порошков, заготовки твердого сплава.

There were presented results of research of billet of hard alloy (HA) from powders, obtaining by electro spark dispersion (ESD) of tungsten-contained waste of alloy trade mark T15K6. For manufacturing of HA-powder from waste was used plant for ESD conductive materials. As working liquid in its reactor was used distilled water and lighting kerosene. Process of dispersion was conducted at the following parameters: energy discharge capacity capacitance 35 μF, voltage 200–220 V, pulse recurrence frequency 30 Hz. Experiments proved that HA-billet as result of cold isostatic pressing at pressure 300 MPa and subsequent sintering at vacuum at temperature 1500 °C during 2 hours of powders, obtaining from waste by means of ESD, have in comparison with industrial hard alloy of trade mark T156K more porosity (by 4,22–9,22 times), less grain sizes (by 1,5–3,0 times), more high density (by 5 %), less crushing stress (by 1,2–3,2 times) and more micro hardness (by 1,2 times).

**Key words:** waste of hard alloy, electro spark dispersion, powder production, hard alloy billets.

### ВВЕДЕНИЕ

Спеченные твердые сплавы (ТС) обладают рядом весьма ценных свойств, благодаря которым они эффективно применяются во многих областях техники. Однако задачи переработки их отходов и дальнейшего использования до конца не решены. Неоднократные попытки вывести дорогостоящий вольфрам из состава ТС успехом не завершились, поскольку другие тугоплавкие соединения не обес-

печивают столь высоких прочностных характеристик. Поэтому проблема переработки ТС-отходов в настоящее время весьма актуальна [1–7].

Одним из наиболее перспективных методов переработки практически любого токопроводящего материала, в том числе и ТС, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [8–11], отличающийся относительно невысокими энерге-

**Агеев Е.В.** – докт. техн. наук, доцент, рук-ль науч.-образ. центра «Порошковая металлургия и функциональные покрытия» ЮЗГУ (305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94). E-mail: ageev\_ev@mail.ru.

**Латыпов Р.А.** – докт. техн. наук, проф., зав. кафедрой технологий и оборудования металлургических производств МГМУ (МАМИ) (111127, г. Москва, ул. Лефортовский вал, 26). Тел.: (495) 267-58-10. E-mail: latipov46@mail.ru.

тическими затратами и экологической чистотой. Процесс ЭЭД представляет собой разрушение токопроводящего материала в результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами и (или) частицами сплава (электрическая эрозия материала). В зоне разряда под действием высоких температур происходят нагрев, расплавление и частичное испарение материала. В жидком и парообразном состояниях он выбрасывается в рабочую жидкость и застывает в ней с образованием отдельных частиц.

Для разработки технологии создания ТС из порошков, полученных из вольфрамсодержащих отходов электроэрозионным диспергированием, и оценки эффективности их использования требуется проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований. Это позволит решить проблему утилизации и дальнейшего применения отходов ТС и снизить себестоимость производства конечного продукта.

Целью настоящей работы являлось получение и изучение заготовок твердого сплава из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов ТС в дистиллированной воде и осветительном керосине.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения твердосплавного порошка методом электроэрозионного диспергирования использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов, разработанную авторами [11, 12]. Отходы ТС марки Т15К6 загружали в реактор, заполненный рабочей жидкостью — дистиллированной водой или керосином осветительным, и осуществляли процесс при следующих электрических параметрах: емкость разрядных конденсаторов 35 мкФ, напряжение 200—220 В, частота следования импульсов 30 Гц. В результате локального воздействия кратковременных электрических разрядов между электродами происходило разрушение материала отходов с образованием дисперсных частиц порошка.

Поставленные задачи решали с помощью современных методов испытаний и исследований:

— изостатическое прессование порошка проводили на прессе «EPSI» при давлении 300 МПа, а спекание — в высокотемпературной печи «Nabertherm» в вакууме в течение 2 ч при температуре 1500 °С;

— для механической обработки спеченных заготовок использовали автоматический высокоточный

настоольный отрезной станок «Accutom-5» и шлифовально-полировальный станок «LaboPol-5»;

— рентгеноспектральный микроанализ выполняли на электронно-ионном сканирующем (раствором) микроскопе с полевой эмиссией электронов «QUANTA 600 FEG» и энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы «EDAX»;

— микротвердость определяли с помощью прибора для испытания по микроВиккерсу «Instron 402 MVD», плотность — на гелиевом пиктометре «Micromeritics AccuPic II 1340», предел прочности при сжатии — на универсальной напольной электро-механической испытательной машине «Instron 300 LX-B1-C3-J1C»;

— для металлографических исследований (при оценке микроструктуры, пористости, размера зерна) применяли оптический инвертированный микроскоп «OLYMPUS GX51», оснащенный системой автоматизированного анализа изображений «SIMAGIS Photolab».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе экспериментальных исследований установлено, что характеристики заготовок твердого сплава, изготовленных холодным изостатическим прессованием (300 МПа) с последующим спеканием в вакууме (1500 °С, 2 ч) порошка, полученного методом ЭЭД из ТС-отходов Т15К6, зависят от состава и свойств исходной шихты.

Результаты изучения пористости ТС-изделий представлены в табл. 1.

Отмечена более высокая (в 4,22—9,92 раза) пористость заготовок ТС, изготовленных из порошков отходов Т15К6 с использованием ЭЭД, по сравнению с ТС-изделиями из стандартного порошка по стандартной технологии, что, несомненно, отразит-

Таблица 1  
Пористость заготовок твердого сплава, полученных из различных порошков

Порошок	Число полей зрения	Площадь анализа, мкм	Пористость, %
Полученный:			
в воде	5	317356,4	9,92
в керосине	5	317225,8	4,22
Стандартный	—	—	до 1

Таблица 2  
Сравнение размеров зерен заготовок твердого сплава, полученных из различных порошков

Порошок	Количество измерений	Длина, мкм		
		минимальная	максимальная	средняя
Полученный:				
в воде	26	0,17	2,92	1,26
в керосине	26	0,11	1,53	0,94
Стандартный	—	—	—	1,5–3,0

ся на их механических свойствах (прочность при поперечном изгибе, ударная вязкость, предел усталости). С увеличением пористости они снижаются, что объясняется концентрацией напряжений в порах, являющихся местами зарождения и распространения трещин при нагружении.

Данные о размерах зерна заготовок твердого сплава приведены в табл. 2.

Видно, что у заготовок ТС из порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов Т15К6, по сравнению с ТС-изделиями из стандартного порошка по стандартной технологии, размер зерна в 1,5–3,0 раза мельче. С уменьшением размера зерен карбида вольфрама возрастает твердость сплава, а прочность понижается.

При изучении плотности заготовок твердого сплава установлено (табл. 3), что после прессования и спекания ЭДД-порошка из отходов сплавов

Таблица 3  
Плотность заготовок твердого сплава, г/см<sup>3</sup>

Порошок	ТС после прессования	ТС после спекания
Полученный:		
в воде	7,8	11,2
в керосине	8,16	12,05
Стандартный	—	11,5

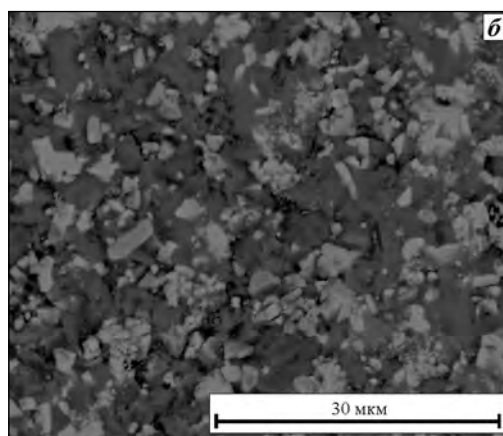
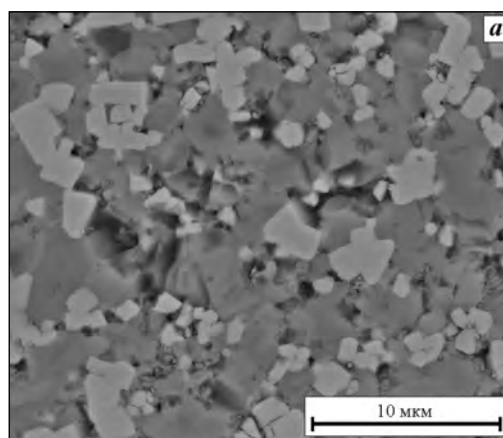
Таблица 4  
Предел прочности при сжатии ( $\sigma_{сж}$ ) и микротвердости ( $HV$ ) заготовок твердого сплава, полученных из разных порошков

Порошок	$\sigma_{сж}$ , МПа	$HV$ , МПа
Полученный:		
в воде	188,46287	292,91
в керосине	470,36894	542,45
Стандартный	600	470,44

Т15К6 в керосине ТС-изделие имеет бóльшую (на 5 %) плотность, чем при использовании стандартного порошка по стандартной технологии.

Результаты исследования предела прочности при сжатии и микротвердости (при нагрузке 30 Н) заготовок твердого сплава представлены в табл. 4.

Предел прочности твердосплавных изделий, изготовленных из ЭДД-порошков, был меньше в 1,2–3,2 раза, чем в случае применения стандартного по-



Микроструктура ТС-заготовок, изготовленных из ТС-порошка, полученного электроэрозионным диспергированием в дистиллированной воде (а) и керосине осветительном (б)

рошка и стандартной технологии. Такая прочность недостаточна для резания металлов и бурения горных пород, но вполне пригодна для обработки дерева.

Вместе с тем наблюдалась бóльшая (в 1,2 раза) микротвердость заготовок ТС после прессования и спекания порошка, полученного ЭЭД-методом из отходов твердых сплавов Т15К6 в керосине осветительном, по сравнению с образцами из стандартного порошка по стандартной технологии, что связано с меньшей зернистостью первых.

Микроструктура заготовок твердого сплава, изготовленных холодным изостатическим прессованием и спеканием в вакууме порошка, полученного электроэрозионным диспергированием отходов Т15К6, показана на рисунке.

Можно отметить, что использование в ЭДД-установке в качестве рабочей жидкости керосина осветительного способствует получению в ТС-заготовках меньшего размера зерна, чем в случае применения воды дистиллированной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были исследованы свойства заготовок твердого сплава, изготовленных холодным изостатическим прессованием (300 МПа) с последующим спеканием в вакууме (1500 °С, 2 ч) порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов твердых сплавов марки Т15К6 в дистиллированной воде и керосине осветительном.

Экспериментально установлено, что ТС-изделия из ЭЭД-порошков имеют в сравнении с промышленным твердым сплавом марки Т15К6 следующие

преимущества: более высокая пористость (в 4,22—9,92 раза), плотность (на 5 %) и микротвердость (в 1,2 раза), более мелкое (в 1,5—3,0 раза) зерно и меньший предел прочности при сжатии (в 1,2—3,2 раза).

*Работа выполнена по теме гранта  
Президента Российской Федерации  
№ МД-1123.2014.8.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Liu F.T., Song S.X., Yang J.R. // Trans. Nonferr. Met. Soc. China. 2004. Т. 14 (Suppl.). P. 482.
2. Azarova E.V., Levashov E.A., Ralchenko V.G. // Metallurgist. 2010. Vol. 54, № 7-8. P. 523.
3. Kirsanov S.V., Babaev A.S. // Russ. Eng. Res. 2013. Vol. 33, № 3. P. 170.
4. Oskolkova T.N., Budovskikh E.A. // Metal Sci. Heat Treat. 2013. Vol. 55, № 1-2. P. 96.
5. Ivanov V.V., Pryazhnikova A.A. // Russ. Eng. Res. 2013. Vol. 33, № 1. P. 46.
6. Uglov V.V., Kuleshov A.K., Remnev G.E. // Russ. J. Non-Ferr. Metals. 2013. Vol. 54, № 4. P. 349.
7. Valentov A.V., Konovodov V.V., Agafonova E.V. // Appl. Mech. Mater. 2013. Т. 379. P. 28.
8. Агеев Е.В. // Упроч. технологии и покрытия. 2011. № 6. С. 8.
9. Латыпов Р.А. // Междунар. науч. журн. 2013. № 5. С. 80.
10. Агеев Е.В. // Технол. металлов. 2012. №. 9. С. 36.
11. Ageeva E.V. // J. Nano. Electron. Phys. 2013. Vol. 5, № 4. P. 04038-1.
12. Пат. 2449859 (РФ). Установка для получения нанодисперсных порошков из токопроводящих материалов / Е.В. Агеев. 2012.