



## СВОЙСТВА ПОРОШКОВ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

В. И. ДЗЫКОВИЧ, инж., А. П. ЖУДРА, А. И. БЕЛЫЙ, кандидаты техн. наук  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведены результаты исследований свойств порошков с частицами карбидов вольфрама  $WC-W_2C$ , полученных по различным технологиям. Дана оценка физических характеристик указанных частиц. Выполнен химический и рентгеноструктурный анализ исследуемых порошков.

*Ключевые слова:* наплавочные порошки, карбиды вольфрама, технологии получения порошков, сферический карбид вольфрама, свойства карбидов вольфрама, износостойкие композиционные покрытия

Традиционно плавленные карбиды вольфрама  $WC+W_2C$  получают путем дробления слитков, выплавленных в печи Таммана при температуре  $3100^\circ C$ . После дробления порошок подлжет рас- севу по фракциям. Форма таких зерен преимущественно осколчатая, неправильная (рис. 1, а). В результате механического дробления в зернах появляется множество трещин, что значительно снижает их прочность [1]. Подобные недостатки имеют частицы макрокристаллических карбидов вольфрама (рис. 1, б), полученные по технологии фирмы «WOKA» [2].

Неправильная форма частиц значительно снижает сыпучесть порошка, что уменьшает его технологические возможности при нанесении высокоизносостойких композиционных покрытий, способствует (при использовании некоторых технологий) растворению зерен карбидов вольфрама и охрупчиванию матрицы сплава, и в итоге приводит к снижению износостойкости композиционного сплава в целом.

Известно, что в большинстве случаев для наплавочных порошков наиболее оптимальной является сферическая форма частиц, которая обеспечивает максимальную сыпучесть материалов и стабильную работу дозирующих устройств [3]. Одним из методов получения сферических частиц тугоплавких материалов является процесс их сфероидизации с использованием индукционно-плазменной технологии [4–7]. Основные преимущества последней заключаются в возможности сохранения химического состава получаемых частиц благодаря исключению разложения обрабатываемого материала. Технология используется преимущественно для материалов с высокой температурой плавления.

Метод сфероидизации с использованием индукционно-плазменной технологии, на наш взгляд, имеет существенный недостаток. Оплавлению подвергаются частицы (рис. 1, в), полученные дроблением слитков, выплавленных в печи сопротивления или индукционной печи. Данная технология в значительной степени зависит от квалификации операторов. Полученные слитки не всегда однородны по сечению и длине. В связи с этим после дробления и оплавления частицы сохраняют указанную неоднородность слитка, что сказывается на качестве материала.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан и успешно реализуется способ термоцентробежного распыления слитков плавных карбидов вольфрама [8, 9]. При этом способе (рис. 1, г) при термоцентробежном распылении происходит плавление вращающейся заготовки и на ее торце образуется тонкая пленка расплава, которая под влиянием центробежной силы перемещается к периферии торца по спиралеобразным кривым. Диаметр капель определяется размером пленки расплава, постоянно покрывающей торец заготовки. Толщина этой пленки обычно менее  $150...200$  мкм. При образовании

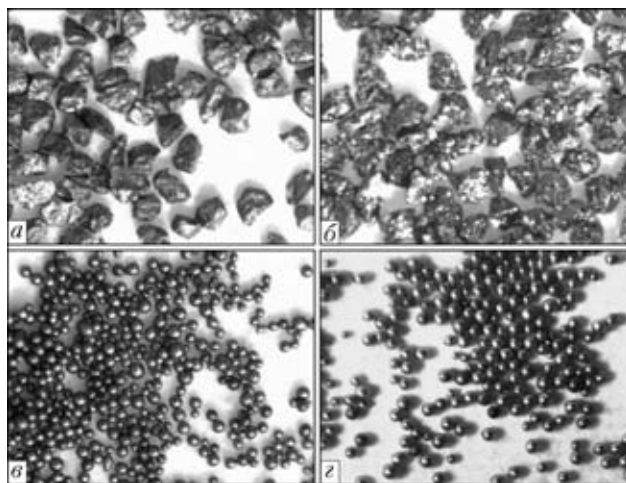


Рис. 1. Внешний вид частиц карбида вольфрама ( $\times 80$ ), полученных по различным технологиям: а — дробленый; б — макрокристаллический; в, г — соответственно сферический и распыленный



Рис. 2. Характер плавления торца стержня при термоцентробежном распылении

таких микрообъемов расплавленного металла происходит интенсивное перемешивание жидкого металла, способствующее усреднению химического состава отрывающихся частиц, что определяет их высокую однородность и стабильность стехиометрического состава. Внешний вид плавления торца стержня карбида вольфрама при термоцентробежном распылении показан на рис. 2.

С целью сопоставления свойств порошков карбидов вольфрама, получаемых по разным технологиям, измеряли микротвердость и определяли содержание углерода в них (табл. 1). Размеры частиц находились в пределах 50...150 мкм. В табл. 1 приведены значения замеров, сделанных на двадцати частицах для каждого материала. Для полноты анализа в перечень исследуемых образцов включены образцы сферических частиц, полученных способом оплавления, всех известных фирм, которые выпускают подобный материал.

Анализ результатов показывает, что наиболее стабильные значения микротвердости имеют частицы, полученные термоцентробежным распылением стержней. Широкий диапазон значений микротвердости частиц, полученных оплавлением, подтверждает сделанный выше вывод о сохранении частицами неоднородности материала, полученного при выплавке исходных слитков карбидов вольфрама.

Содержание углерода во всех образцах (кроме макрокристаллического карбида вольфрама WC, в котором содержание углерода составляет 6,0 %) находится в пределах 3,9...4,0 мас. %, что соответствует содержанию углерода в релите — эвтектической смеси, состоящей из 78...82 мас. %  $W_2C$  и 18...22 мас. % WC [10].

Для изучения особенностей структуры исследуемых образцов использовали растровый электронный микроскоп CAM SCAN 4 + LINK — система ENERGY 200 (энергодисперсионный анализатор). Анализ электронно-микроскопических изобра-

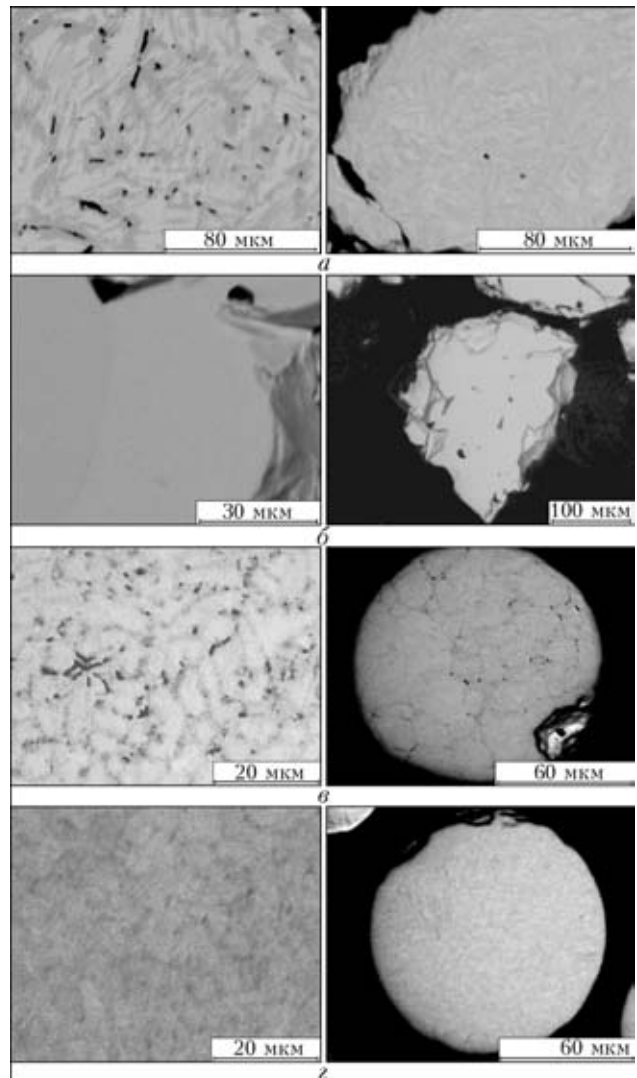


Рис. 3. Электронно-микроскопический вид частиц карбида вольфрама, полученных по различным технологиям: а — дробленый; б — макрокристаллический; в — сферический (оплавленный); з — сферический (распыленный)

жений частиц (рис. 3) показывает, что наиболее высокой однородностью структуры отличаются сферические частицы, полученные способом термоцентробежного распыления.

Выполненные исследования показывают качественное преимущество сферических частиц, полученных способом термоцентробежного распыления по сравнению с частицами макрокри-

Таблица 1. Содержание углерода и значения микротвердости частиц карбида вольфрама, полученных по различным технологиям

№ п/п	Вид частиц карбида вольфрама	C, %	HV 100
1	Дробленый	3,90	1800...2300
2	Макрокристаллический	6,00	1900...2150
3	Сферический (оплавление) 1 партия	3,90	1950...3000
4	Сферический (оплавление) 2 партия	3,90	1700...2300
5	Сферический (оплавление) 3 партия	3,90	1900...2800
6	Сферический (распыление)	4,00	2600...3300



Таблица 2. Состав фаз порошков и данные параметров решеток

Вид частиц	Фаза	Содержание фазы, мас. %	Параметры решетки, нм	
Дробленый	WC	36,20	2,9048	0, 28368
	W <sub>2</sub> C	63,80	5,1861	0,47237
	W	—	—	—
Макрокристаллический	WC	95,42	2,9063	0,28398
	W <sub>2</sub> C	4,08	5,1868	0,47163
	W	—	—	—
Сферический (оплавление) — 1 партия	WC	37,33	2,9067	0,28364
	W <sub>2</sub> C	62,67	5,1909	4,7383
	W	—	—	—
Сферический (оплавление) — 2 партия	WC	26,32	2,9056	0,28375
	W <sub>2</sub> C	69,42	5,1850	0,47286
	W	4,26	3,1645	—
Сферический (оплавление) — 3 партия	WC	31,12	2,9063	0,28370
	W <sub>2</sub> C	57,20	5,1855	0,47298
	W	11,41	3,1645	—
	C	0,27	2,4612	0,67163
Сферический (распыление)	WC	22,66	2,9056	0,28368
	W <sub>2</sub> C	77,34	5,1893	0,47333
	W	Следы	—	—

таллического карбида вольфрама и дроблеными частицами плавных карбидов, которые имеют большое количество дефектов в виде трещин и пор. Кроме того, при сравнении сферических частиц, полученных различными технологиями, отмечается наличие несферической составляющей для образцов, полученных методом сфероидизации (до 15 %), в то время как для частиц, полученных термоцентробежным распылением, это количество составляет не более 5 %.

Сравнительные характеристики частиц карбидов вольфрама, полученных различными способами, дополняются результатами рентгеноструктурных исследований образцов, выполненных по методике, описанной в работе [11]. На рис. 4, а, б приведены характерные рентгенограммы частиц карбидов вольфрама, полученных способом дробления и термоцентробежным распылением, а в табл. 2 — состав карбидной фазы и параметры решетки карбидов, полученных по всем четырем технологиям.

Необходимо отметить, что микротвердость и свойства частиц литых карбидов вольфрама WC-W<sub>2</sub>C стремятся к максимуму при соответствии каждой частицы стехиометрическому составу, представляющему собой эвтектический сплав, состоящий из 78...82 % W<sub>2</sub>C и 18...22 % WC. При

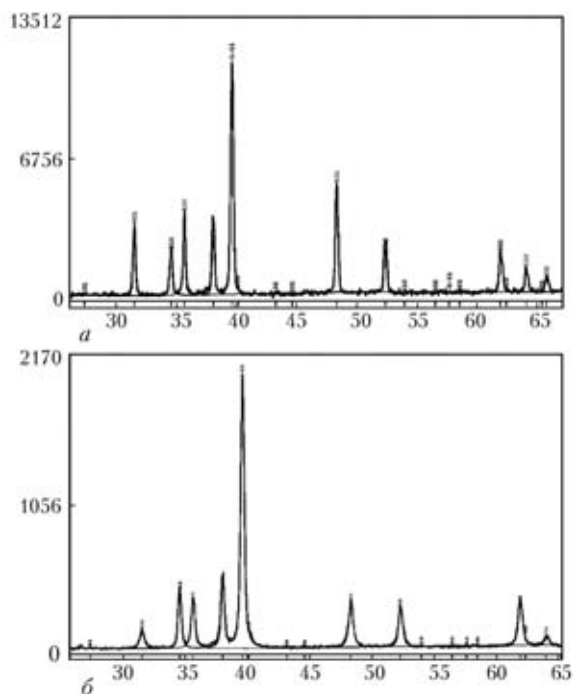


Рис. 4. Рентгенограммы частиц карбидов вольфрама, полученных по различным технологиям: а — дробленый; б — сферический (распыление)

сравнении рентгенограмм представленных образцов видно, что практически эвтектический состав имеют частицы порошка, полученного по технологии термоцентробежного распыления, разработанной в ИЭС им. Е. О. Патона. Там обнаружены две фазы W<sub>2</sub>C и WC в соотношении 77,34 и 22,66 мас. % соответственно (табл. 2, рис. 4, б).

Для сравнения сферические частицы карбидов вольфрама, полученных методом сфероидизации оплавлением, содержат линии свободного вольфрама, а также фазы свободного вольфрама и углерода (табл. 2). При этом наиболее близок к эвтектическому состав сферических частиц партии № 1 (табл. 2), однако соотношение между фазами W<sub>2</sub>C и WC нарушено и составляет 62,67 и 37,33 мас.%.

### Выводы

1. Технология плазменного термоцентробежного распыления тугоплавких материалов, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона, позволяет получать сферические частицы карбидов вольфрама, наиболее близкие по стехиометрическому составу к эвтектическому.

2. Частицы плавных карбидов вольфрама, полученных распылением, отличаются высокой микротвердостью HV 26000...33000 МПа, стабильной однородной структурой и превосходят по свойствам частицы, полученные по другим технологиям.



1. *Meerson G. A., Zelikman A. H.* Металлургия редких металлов. — М.: Металлургия, 1973. — 608 с.
2. *WOKA* carbide materials for wear protective. Welding and PTA applications: Bull.
3. *Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.* Плазменная наплавка. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 292 с.
4. *Dignard N. M., Boulos M. I.* Ceramic and metallic powder spheroidization using induction plasma technology. Plasma Technology Research Center (CRTP) // Materials of the united thermal spray conf., 15–19 Sept., 1997. — Indianapolis, IN, USA.
5. *Bourdin E., Fauchais P., Boulos M. I.* Induction plasma technology // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. — 1983. — 26(4). — P. 567–582.
6. *Pawlovski L.* The science and engineering of thermal spray coatings. — Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1995.
7. *Muns R.* Patriculate systems. — Montreal: McGill University, 1995.
8. *А. с. 1381840 СССР.* Установка центробежного распыления стержней из тугоплавких материалов / А. И. Бельй, Б. В. Данильченко, В. С. Гончаренко, В. И. Дзыкович. — 02.02.1987
9. *Пат. 20516А.* Україна. Спосіб одержання гранульованих тугоплавких матеріалів / К. А. Ющенко, О. П. Жудра, О. І. Білий, В. І. Дзикович. — 15.07.97.
10. *Самсонов Г. В., Витрянюк В. Н., Чаплыгин Ф. И.* Карбиды вольфрама. — Киев: Наук. думка, 1974. — 176 с.
11. *Дзыкович В. И.* Влияние процесса термоцентрибежного распыления на свойства сферических частиц карбидов вольфрама // Автомат. сварка. — 2009. — № 4. — С. 52–55.

Investigation results on properties of the powders containing tungsten carbide particles WC-W2C, produced by different technologies, are presented. Measurements of physical characteristics of the said particles were made. Chemical and X-ray analysis of the investigated powders was carried out.

Поступила в редакцию 10.02.2010

## МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

### «ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗВИТИЕ СВАРОЧНОЙ НАУКИ И ПРАКТИКИ»

(в рамках выставки «Сварка-2010»)

20–21 мая 2010

г. Санкт-Петербург

#### Организаторы

Национальный комитет по сваре РАН —  
**НКС РАН**  
**DVS** — Немецкий союз сварщиков  
Инженерно-технологический центр  
«Альянс сварщиков Санкт-Петербурга и  
Северо-Западного Региона» — **СПАС**

Национальное Агентство контроля сварки —  
**НАКС**  
**IIS** — Институт сварки Италии  
**ОАО «ЛЕНЭКСПО»**  
**MESSE ESSEN GmbH**

#### Тематика конференции

- Передовые сварочные технологии и родственные процессы
- Автоматизация, роботы и системы позиционирования
- Сварочное оборудование
- Сварочные материалы, сырьевые компоненты, оборудование для изготовления и контроля сварочных материалов
- Подготовка кадров, опережающее обучение
- Аттестация, сертификация и стандартизация в сварочном производстве
- Диагностика, разрушающие и неразрушающие методы контроля сварных соединений и конструкций, ресурс
- Экология и безопасность сварочного производства
- Оценка соответствия сварочного производства и деятельности различного назначения СРО

Получить информацию о конференции можно  
на сайте: <http://alians-weld.ru>.

Контакты: ЛЕНЭКСПО — тел./факс: 321 26 31