



ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСПЫЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ КАРБИДОВ ВОЛЬФРАМА

В. И. ДЗЫКОВИЧ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние процесса термоцентробежного распыления на структуру, микротвердость и стехиометрический состав сферических гранул карбидов вольфрама. Проведен сравнительный анализ исходных материалов для распыления (слитков) и сферических частиц. Установлено, что получение гранулированных частиц WC–W₂C, имеющих наивысшую микротвердость и износостойкость, возможно только в результате повторного переплава распыляемого материала.

Ключевые слова: карбиды вольфрама, центробежное распыление, стехиометрический состав, сферические частицы, износостойкие композиционные покрытия, дифрактометрические исследования

В последние годы широкое применение получил плавный карбид вольфрама в сферических гранулах, который выгодно отличается от традиционного дробленого карбида вольфрама повышенной твердостью (до HV 3000), высокой прочностью и хорошей сыпучестью. Эти качества позволили значительно расширить возможности применения данного материала, особенно в области плазменно-порошковой и лазерной наплавки, а также получения износостойких композиционных покрытий методом пропитки.

Важнейшими характеристиками сферических частиц литых карбидов вольфрама (WC–W₂C) является их микротвердость и микроструктура. При соответствии каждой частицы стехиометрическому составу, который представляет собой эвтектический сплав, состоящий из 78...82 % W₂C и 18...22 % WC (при 3,9...4,1 % C) [1], показатели микротвердости имеют максимальные значения. Соблюдение такого соотношения является необходимым условием получения материала с целью создания композиционных покрытий, имеющих наивысшую износостойкость.

Известно, что одним из наиболее эффективных методов получения сферических частиц карбидов вольфрама является метод термоцентробежного распыления слитков, представляющих собой цилиндрические литые стержни диаметром 29...30 мм и длиной 200...250 мм. Слитки могут быть изготовлены способом выплавки в печах электросопротивления, либо с использованием печей индукционного нагрева, либо с использованием печей индукционного нагрева. Процесс распыления ведется при больших скоростях вращения слитков (4000...10000 об/мин). В качестве источника нагрева применяется энергия струи дуговой плазмы [2, 3].

Целью данной работы является изучение влияния факторов концентрированного нагрева и мгновенной кристаллизации микрообъемов жидкого расплава (капель), образующихся в процессе распыления, на изменение структуры и свойств исходных материалов (слитков).

Для проведения экспериментов были отобраны пробы исходных материалов (литых стержней), полученных методом выплавки в печах электросопротивления и индукционным способом. Соответственно проводили оценки сферических частиц, полученных методом термоцентробежного распыления из этих же слитков. Параллельно определяли содержание углерода в слитках и частицах химическим способом. Кроме того, слитки карбидов вольфрама и сферические частицы проходили тестирование на микротвердость и микроструктуру. Процесс распыления проводили на режимах, обеспечивающих гранулометрический состав сферических частиц в пределах 180...200 мкм [4]. Для усреднения результатов опытов размер партии распыляемых слитков составлял 10 штук (15...17 кг). От каждой распыленной партии для изучения отбирали две пробы сферических частиц в количестве по 100 г каждая. Для тестирования исходных материалов от каждой партии слитков отбирали пробы в количестве 100 г, которые изготавливали методом механического дробления.

Результаты химического анализа на содержание углерода и результаты тестирования на микротвердость представлены в таблице, микроструктура исследуемых образцов приведена на рис. 1.

Из данных табл. 1 видно, что при повторном переплаве содержание углерода в материале несколько снижается, однако уровень значений микротвердости сферических частиц повышается по сравнению с исходным материалом, что позволяет прогнозировать высокие служебные характеристики износостойких покрытий, полученных с применением сферических частиц (WC–W₂C).

Таблица 1. Результаты тестирования отобранных проб литых стержней и сферических частиц

№ образца	Содержание углерода, %	Значения микротвердости HV 100
<i>Литые стержни</i>		
15/03-ст.И	4,20	2317 ± 78
14/03-ст.П	4,06	2206 ± 424
6/03-ст.И	4,20	2394 ± 502
<i>Сферические частицы</i>		
15/03-сф-1	3,98	2933 ± 366
15/03-сф-2	3,98	2904 ± 303
14/03-сф-1	3,80	2821 ± 312
14/03-сф-2	3,70	2801 ± 303
6/03-сф-1	3,70	2930 ± 300
6/03-сф-2	3,80	2914 ± 254

Примечание. В обозначении образцов, отобранных из слитков, буква «И» — индукционный способ выплавки; «П» — в печи электросопротивления.

Микроструктуры исходных материалов (литых стержней) (рис. 1, *а*) отличаются незначительно, поэтому способы выплавки слитков не оказывают влияния на формирование фазовых составляющих сферических частиц при термоцентробежном распылении.

Микроструктуры сферических частиц (рис. 1, *б*) имеют более мелкодисперсную структуру. Меха-

ническая смесь двух фаз имеет более упорядоченный характер, т. е. именно при повторном переплаве происходит измельчение структурных составляющих в результате создания множества микрообъемов жидкого металла (капель), их мгновенного отрыва и моментальной кристаллизации в полете. Именно эти факторы объясняют повышение микротвердости сферических частиц WC-W₂C.

Наиболее интересные результаты получены при проведении сравнительного рентгеноструктурного анализа слитков и гранул, полученных методом термоцентробежного распыления. В качестве наиболее показательных представлены результаты оценки проб 6/03-ст-И и 6/03-сф-1.

Дифрактометрию образцов проводили с помощью дифрактометра «ДРОН-УМ-1» в монокроматическом CuK_α -излучении методом шагового сканирования (35 кВ, 35 мА; время экспозиции в точке 3...7 с, шаг 0,05°). В качестве монохроматора использовали монокристалл графита, установленный на дифрагированном пучке. Во время съемки образец вращался вокруг нормали, проведенной к плоскости покрытия. Обработку данных дифрактометрического эксперимента с расчетом коэффициента текстуры фаз осуществляли с использованием программы для полнопрофильного анализа рентгеновских спектров от смеси поликристаллических фазовых составляющих PowderCell 2.4 [5]. Текстуру описывали в рамках модели March-

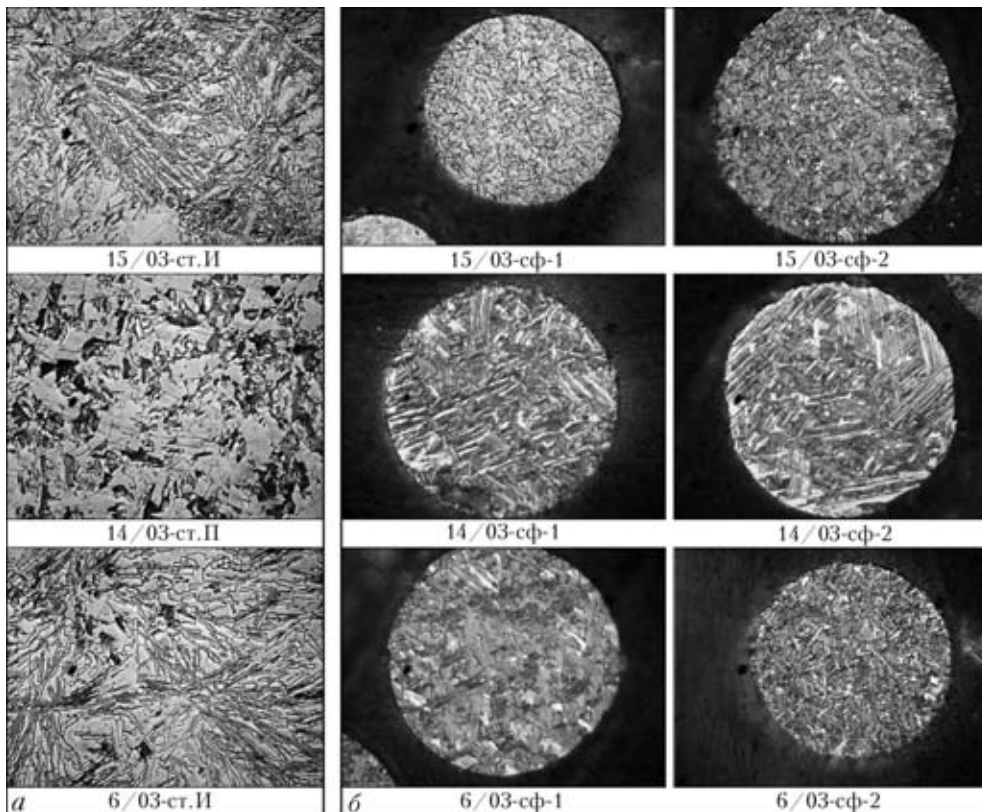


Рис. 1. Микроструктуры (×1000) литых стержней (*а*) и сферических частиц (*б*)



Таблица 2. Результаты вычислений параметров решетки

№ образца	Фазовое состояние	Содержание фазы, мас. %	Параметры решетки, нм		Ориентация решетки
			<i>a</i>	<i>c</i>	
6/03-ст.И	WC	32,07	0,29058	0,28373	0,6598
	W ₂ C	67,93	0,51850	0,47345	—
6/03-сф-1	WC	21,43	0,29078	0,28383	—
	W ₂ C	76,82	0,51909	0,47311	—
	W	1,76	0,31667	—	—

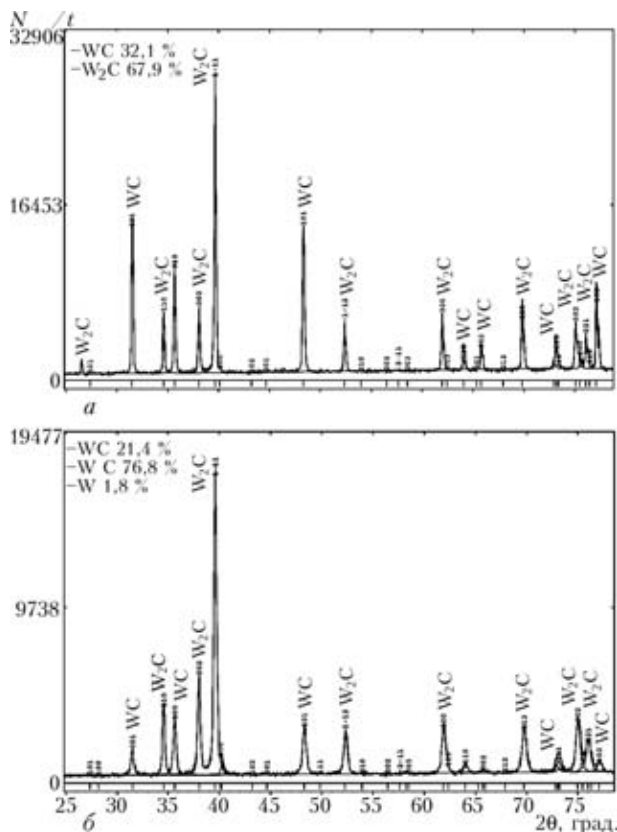


Рис. 2. Фрагмент полнопрофильного анализа дифракционной картины образца 6/03-ст.И (а) и 6/03-сф-1 (б)

Dollase, профили дифракционных максимумов аппроксимировали функцией псевдоФойгхта.

При оценке материала исходных литых стержней установлено, что соотношение между фазами WC и W₂C распределено следующим образом, мас. %: 32,1 WC и 67,9 W₂C (рис. 2, а). Это можно объяснить тем, что несмотря на технологическую стабильность процесса выплавки литых стержней возникают обстоятельства, при которых строгий контроль времени выдержки жидкого расплава в

лодочке и последующего его слива в литник бывают крайне затруднены (задымленность нагревательного элемента, невозможность визуального контроля за процессом плавления шихтовой смеси и др.). При этом возникают явные предпосылки для нарушения стехиометрического соотношения между рассматриваемыми фазами.

При дифрактометрии проб сферических частиц обнаружено, что соотношение между фазами WC и W₂C максимально стремится к эвтектическому и составляет, мас. %: 21,4 WC и 76,8 W₂C (рис. 2, б). Эти данные подтверждают предположение, что в процессе термоцентробежного распыления создаются идеальные условия (мгновенный отрыв жидкой фазы в виде малого объема (капли) и его моментальная кристаллизация) для измельчения структуры и получения эвтектической пропорции WC/W₂C = 20/80. Содержание свободного вольфрама составляет 1,8 мас. % и связано, по всей вероятности, с выделением незначительного количества вольфрама на поверхности частиц по теории, рассмотренной в работе [6].

Таким образом, качество слитков карбидов вольфрама, являющихся исходным сырьем для производства сферических частиц, практически не зависит от способа их получения. Изготовление сферических частиц карбидов вольфрама с измельченной и упорядоченной структурой, повышенной микротвердостью и приближенных к эвтектическому соотношению фаз WC/W₂C = 20/80 возможно только при условии повторного переплава литых карбидов вольфрама.

1. Самсонов Г. В., Витрянюк В. Н., Чаплыгин Ф. И. Карбиды вольфрама. — Киев: Наук. думка, 1974. — 176 с.
2. А. с. 1381840 СССР. Установка центробежного распыления стержней из тугоплавких материалов / А. И. Белый, Б. В. Данильченко, В. С. Гончаренко, В. И. Дзыкович. — Оpubл. 15.10.1987.
3. Пат. 20516А Україна. Спосіб одержання гранульованих тугоплавких матеріалів / К. А. Ющенко, О. П. Жудра, О. І. Білий, В. І. Дзыкович. — Оpubл. 15.07.1997.
4. Самсонов Г. В., Упадхай Т. Ш., Нешпор В. С. Физическое материаловедение карбидов. — Киев: Наук. думка, 1974. — 440 с.
5. ftp://ftp.bam.de/Powder_Cell/pcw23.exe.
6. Математическое моделирование процесса получения сферических гранул плавящихся карбидов вольфрама / В. И. Махненко, Е. А. Великоиваненко, А. П. Жудра и др. // Автомат. сварка. — 2004. — № 2. — С. 3–10.

The effect of the centrifugal spraying process on structure, microhardness and stoichiometric composition of spherical tungsten carbide granules was investigated. Comparative analysis of spraying raw materials (ingots) and spherical particles was conducted. It was proved that only remelting of the spraying material can provide the granulated WC-W₂C particles with the highest microhardness and wear resistance.

Поступила в редакцию 23.12.2008