

УДК 621.793.79:669.27

**ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ ДО ПОДЛОЖКИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЯ
ИЗ КУБИЧЕСКОГО КАРБИДА ВОЛЬФРАМА ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

А. Насырбаев

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: arn1@tpu.ru

**EFFECT OF THE DISTANCE TO THE SUBSTRATE ON THE FORMATION OF A COATING
FROM CUBIC TUNGSTEN CARBIDE BY THE PLASMA DYNAMIC METHOD**

A. Nassyrbayev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Sivkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: arn1@tpu.ru

Abstract. *The paper shows the possibility of obtaining coatings from cubic tungsten carbide by the plasma dynamic method. According to X-ray phase analysis, the coating consists mainly of cubic tungsten carbide (up to 97%), hexagonal modifications - W_2C and WC , also unreacted tungsten and carbon. The optimal location of the substrate relative to the cut of the graphite electrode-barrel was determined, which provides the maximum content of cubic tungsten carbide, as well as the largest deposition area, which amounted to 55÷65 mm.*

Введение. Одной из современных инженерных задач является увеличение срока службы и эксплуатационных характеристик промышленных изделий. В связи с чем широкое распространение получили технологии создания защитных покрытий, позволяющие улучшить коррозионную стойкость, износостойкость и механические свойства. Защитные покрытия нашли свое применение в различных областях производства для защиты рабочих инструментов, а также технических материалов, таких как медь, применяемой во множестве отраслях промышленности ввиду своих высоких электро- и теплопроводности, хорошей коррозионной стойкости и высокой температуры плавления. Однако использование меди в чистом виде ограничено как в нормальных, так и в высокотемпературных условиях ввиду плохих механических характеристик, таких как низкая твердость, предел прочности и ползучесть [1]. В связи с этим уделяется большое внимание повышению характеристик технических изделий из меди путем создания различных композитов, а также нанесением упрочняющих покрытий. Перспективным материалом для этих целей служит карбид вольфрама (WC), обладающий высокими значениями твердости, модуля Юнга и износостойкостью [2]. Среди фазовых модификаций карбида вольфрама выделяется кубическая фаза WC_{1-x} , обладающая повышенными механическими характеристиками [3]. Однако существующие методы получения покрытий из WC_{1-x} недостаточно эффективны.

Материалы и методы исследования. Получение покрытий из кубического карбида вольфрама WC_{1-x} производилось с использованием сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами (КМПУ). Прекурсорами выступали порошок вольфрама и углерод,

нарабатываемый в ходе электроэрозии с графитовых электродов. В рамках работы [4] по получению дисперсного WC_{1-x} было установлено, что наиболее оптимальными условиями формирования кубического карбида вольфрама в дисперсном виде (до 95 мас. %,) являются: зарядное напряжение $U = 3,0$ кВ; емкость накопителя $C = 6,0$ мФ; газовая среда – аргон (10^5 Па). С учетом полученных данных выбор оптимального расстояния от среза графитового электрода-ствола до подложки производился в этих условиях синтеза. Была произведена серия экспериментов, в ходе которой производилась оценка влияния расстояния от среза графитового электрода-ствола до подложки на фазовый состав получаемого покрытия. Все исследования выполнялись при использовании медных подложек с параметрами 50x50x4 мм.

Фазовый состав полученных покрытий исследовался методом рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре Shimadzu XRD 7000S (CuK α -излучение, счетчик-монокроматор Shimadzu CM-3121) без предварительной обработки. Идентификация фаз производилась по базе PDF4 (выпуск 2018 г.).

Результаты. В таблице 1 представлены основные энергетические параметры серии экспериментов, которые свидетельствуют о практически идентичных условиях проведения экспериментов, что позволяет исключить из оценки фазового состава получаемых покрытий влияние энергетики процесса.

Таблица 1

Исходные данные и энергетические параметры серии экспериментов по определению оптимального расстояния до подложки

№	$l_{\text{ст-под}},$ мм	Энергетические параметры экспериментов								
		Исходные пар-ры			Данные осциллографирования					
		$C,$ мФ	$U_{\text{зар}},$ кВ	$W_{\text{с}},$ кДж	$W,$ кДж	$t_{\text{имп}},$ мкс	$I_{\text{макс}},$ кА	$U_{\text{д}},$ кВ	$P_{\text{макс}},$ МВт	$P_{\text{ср}},$ МВт
1	45	6	3	27	17,93	300,0	96,4	1,2	120,5	59,8
2	55	6	3	27	18,61	310,0	97,2	1,3	126,8	60,0
3	65	6	3	27	18,71	310,0	96,4	1,3	122,7	60,4
4	75	6	3	27	18,41	310,0	96,4	1,4	133,9	59,4

В результате серии экспериментов были получены образцы покрытий, которые в последствие анализировались методами рентгеновской дифрактометрии. Данные количественного рентгенофазового анализа состава полученных покрытий приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты количественного рентгенофазового анализа покрытий, полученных в экспериментах с различным расстоянием от среза ускорителя до подложки

№	$l_{\text{ст-под}},$ мм	Исходные пар-ры			C/W	Состав покрытия по XRD, %				
		W	C	Σ		WC_{1-x}	C	W	W_2C	WC
1	45	0,506	0,012	0,518	0,36	84,10	0,65	5,40	9,38	0,47
2	55	0,507	0,014	0,521	0,42	96,97	0,75	0,84	1,03	0,41
3	65	0,507	0,012	0,519	0,36	90,09	2,09	2,61	4,79	0,42
4	75	0,507	0,015	0,522	0,45	63,98	0,49	6,75	28,35	0,42

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что наиболее приемлемые покрытия с позиции максимального выхода фазы кубического карбида вольфрама получены в экспериментах с расстоянием от ускорителя до подложки $l_{\text{ст-под}} = 55$ мм и $l_{\text{ст-под}} = 65$ мм. Данные материалы характеризуются высокой

чистотой выхода фазы WC_{1-x} (более 90 мас. %) и минимальным содержанием примесных гексагональных фаз карбида вольфрама. Удаление подложки на расстояния свыше 75 мм от среза ускорительного канала приводит к изменению параметров распыления и формированию большего количества гексагональных фаз. Покрытие, полученное на меньшей длине, характеризуется достаточно высоким содержанием кубической фазы карбида вольфрама, однако анализ внешнего вида (рисунок 1) полученных образцов медных подложек свидетельствует о наличии наплава в центральной части, вызванного высокоинтенсивным воздействием плазменного потока с большей скоростью. Покрытия, синтезированные при $l_{ст-под} = 65$ мм, выглядят более равномерными и качественными с позиции получения как можно большей площади напыления без прогаров и наплавов.

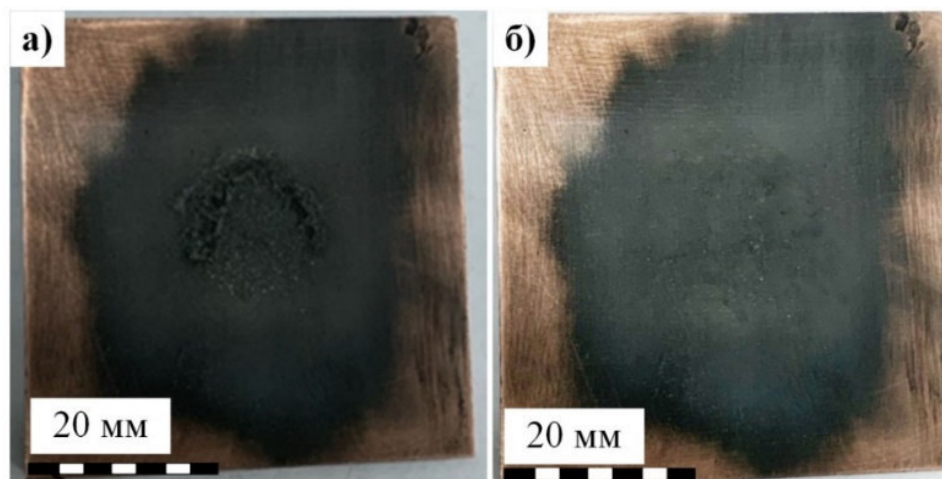


Рис. 1. Образцы медных подложек с покрытием из кубического карбида вольфрама, полученные при $l_{ст-под} = 45$ мм (а) и $l_{ст-под} = 65$ мм (б)

Заключение. В работе показана возможность получения покрытий кубического карбида вольфрама плазмодинамическим методом. Согласно рентгенофазовому анализу покрытие состоит преимущественно из кубического карбида вольфрама (до 97 %), гексагональных модификаций – W_2C и WC , также непрореагировавшего вольфрама и углерода. По результатам проведенной серии экспериментов определено оптимальное местоположение подложки относительно среза графитового электрода-ствола, обеспечивающее максимальное содержание WC_{1-x} , а также наибольшую площадь напыления, которое составило 55÷65 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akbarpour M.R., Alipour S. Wear and friction properties of spark plasma sintered SiC/Cu nanocomposites // *Ceramics International*. – 2017. – V. 43, – №. 16. – P. 13364–13370.
2. Liu K. et al. CBN tool wear in ductile cutting of tungsten carbide // *Wear*. – 2003. – V. 255. – №. 7-12. – P. 1344-1351.
3. Fuchs K. et al. Reactive and non-reactive high rate sputter deposition of tungsten carbide // *Thin Solid Films*. – 1987. – V. 151. – №. 3. – P. 383-395.
4. Pak A. et al. Synthesis of ultrafine cubic tungsten carbide in a discharge plasma jet // *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. – 2015. – V. 48. – P. 51-55.