

**ПОЛУЧЕНИЕ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИТОВ «TiC-Ti» МЕТОДОМ СВС ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
В АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Креницын М.Г., Прибытков Г.А., Коростелева Е.Н.  
Научный руководитель: Коростелева Е.Н., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: krinmax@gmail.com

**PREPARATION OF POWDER COMPOSITES «TiC-Ti» BY SHS FOR ADDITIVE TECHNOLOGIES**

Krinitcyn M.G., Pribytkov G.A., Korosteleva E.N.  
Scientific Supervisor: Dr. Korosteleva E.N.  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenina str., 30, 634050  
E-mail: krinmax@gmail.com

*Abstract: In the present work the structure and phase composition of Ti-TiC powder composites with different contents of titanium ligament obtained by self-propagating high-temperature synthesis was investigated. The structure was studied by X-ray analysis and scanning electron microscopy.*

**Введение**

Проблема порошков металлов и сплавов, пригодных для использования в аддитивных технологиях, в частности в прямом лазерном спекании металлических порошков (DMLS) является в настоящее время ключевой, в особенности для Российской промышленности. Собственные производства товарных металлических порошковых материалов, адаптированных для применения в аддитивных технологиях, в России отсутствуют. Товарные порошки зарубежных фирм практически недоступны из-за высокой стоимости. По мере расширения номенклатуры деталей, производимых по технологиям селективного лазерного спекания (SLS) неизбежным является расширение номенклатуры порошков.

Помимо использования в 3D-печати, с помощью таких порошков можно наносить износостойкие покрытия на различные материалы. Износостойкие покрытия на титановые сплавы представляют большой практический интерес, так как титан и его сплавы обладают низкой износостойкостью из-за склонности к схватыванию в контактных парах практически со всеми металлическими материалами [1]. Для получения качественных износостойких покрытий на титан и его сплавы широко используется порошковая наплавка, причем состав порошковой присадки подбирают таким образом, чтобы получить композиционное покрытие, имеющее структуру матричного композита с дисперсными включениями частиц тугоплавких соединений (карбидов, боридов, силицидов) в титановой матрице. Особый интерес в качестве твердой и тугоплавкой упрочняющей фазы в металломатричных композитах на основе титана представляет карбид титана. Для получения наплавленных композиционных покрытий «TiC-Ti» обычно используются механические смеси порошков титана, карбида титана и графита в различных сочетаниях [2-7]. При этом, используя для наплавки композиционных порошков «TiC – титановая связка» с заранее заданными характеристиками структуры, становится возможным контроль морфологии, дисперсности и объемной доли карбидных включений структуры наплавленного покрытия. В настоящей работе исследована морфология и фазовый состав композиционных порошков, полученных самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в порошковых смесях титан – углерод.

**Материалы и методики.**

Композиционный порошок с расчетным содержанием связки от 30 до 60 об% был получен послойным горением на воздухе прессовок из не подвергнутой предварительной механоактивации (МА) порошковой смеси титана ТПП-8 и сажи П-803. Горение инициировали нагревом поджигающей таблетки молибденовой спирали. Сразу после прохождения фронта горения, полученный спек СВС продукта

охлаждали в воде. Фактическое содержание связки в СВС продуктах оказалось значительно меньше расчетного из-за образования нестехиометрического карбида титана. Механическая активация реакционной смеси из титана ПТОМ-2 и сажи ПМ-15 проводилась в планетарной шаровой мельнице АГО – 2 с водяным охлаждением [8]. Объем каждого из двух стальных барабанов мельницы 160 см<sup>3</sup>. Диаметр шаров 8 мм, масса шаров в каждом барабане 200 грамм, масса образца 10 г. Центробежное ускорение шаров 400 м с<sup>-2</sup> (40 g). Для предотвращения окисления во время МА барабаны с образцами заполнялись аргоном. После МА образцы выгружались из барабанов в боксе с аргоновой атмосферой.

Структурный анализ СВС-спеков и наплавленных покрытий проводили на оборудовании Центра коллективного пользования ИФПМ СО РАН (дифрактометр ДРОН-7, растровый электронный микроскоп LEO EVO 50).

### Результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ продуктов синтеза обнаружил дефицит свободного (не связанного в карбиде) титана. На рентгенограммах композитов TiC+Ti с расчетным содержанием титановой связки 30 и 40 об% (в предположении образования карбида эквимолярного состава) отражения титана отсутствуют вообще, а на остальных их интегральная интенсивность значительно меньше ожидаемой. Рассчитанный по рентгенограммам параметр решетки карбида титана оказался значительно меньше справочного значения  $a = 0,4327$  нм. Это может быть следствием образования при синтезе нестехиометрического карбида TiC<sub>x</sub>. Согласно равновесной диаграмме титан – углерод [7] содержание углерода в карбиде титана в области гомогенности меняется в широких пределах (от  $x=1$  до  $x=0,5$ ). Образование нестехиометрического карбида приводит к уменьшению содержания связки в СВС композиционных порошках (результаты оценки приведены в табл. 1)

Таблица 1

Расчетное содержание титановой связки в СВС композитах Ti + TiC<sub>x</sub> при разных значениях x

№ смеси	Состав реакционной смеси, масс.%		Расчетное содержание Ti связки в СВС композитах, об.%	
	Ti	C	Ti + TiC	Ti + TiC <sub>0,5</sub>
1	85,66	14,34	30	0
2	87,58	12,42	40	0
3	89,56	10,44	50	6,4
4	91,58	8,42	60	24,1

Морфология синтезированных порошков приведена на рисунке 1. Видим, что СВС продукт, синтезированный из реакционной смеси № 1 (табл. 1) состоит из отдельных, относительно крупных зерен карбида и их сростков. В продукте, синтезированном из смеси №2 карбидные зерна визуальнo мельче, чем у предыдущего, а в двух других образцах с промежуточным содержанием титана (№ 3 и 4) сплошность карбидного каркаса нарушается включениями несвязанного титана.

После выделения из всех полученных порошков фракции размером 50-150 мкм, такие порошки могут быть непосредственно использованы для нанесения защитных покрытий или применены в 3D-печати методом DMLS.

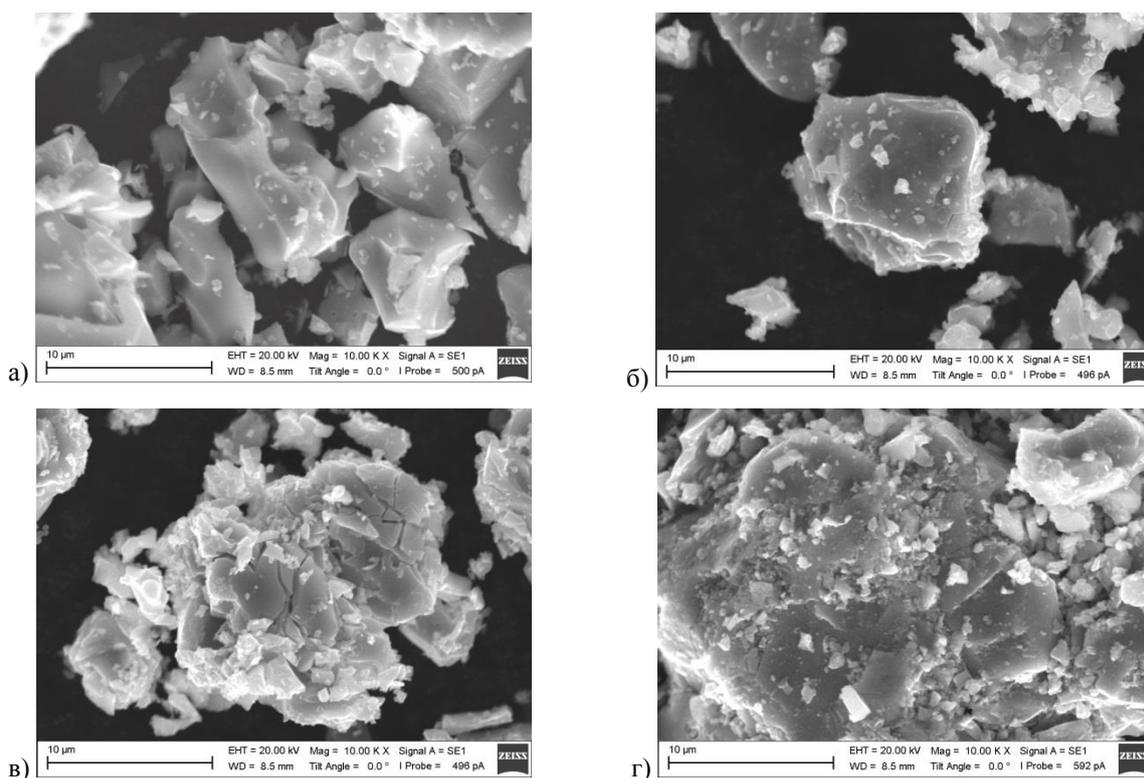


Рис. 1. Морфология и дисперсность карбидной фазы в СВС композитах  $TiC+Ti$  с различным расчетным (в предположении образования стехиометрического карбида) и фактическим (значение в скобках) объемным содержанием титановой связки: а) 30% (0%); б) 40% (0%); в) 50% (6,5%); г) 60% (24,6%);

#### Выводы

С использованием технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в порошковых реакционных смесях титана и углерода получены композиционные порошки «карбид титана – титан», структуру которых (морфология и дисперсность карбидной фазы и объемная доля титановой связки) можно целенаправленно регулировать в широких пределах. Полученные порошки могут быть использованы в аддитивных технологиях или для нанесения защитных покрытий методом электронно-лучевой наплавки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Zwickler Ulrich. Titan und Titanlegierungen. – Springer-Verlag, 1974. – 717 p.
2. Hamedy M.J., Torkamany M.J., Sabbaghzadeh J.. Effect of pulsed laser parameters on in-situ TiC synthesis in laser surface treatment // Optics and lasers in engineering. – 2011. – vol. 49. – P. 557–563.
3. Zhang Ke-min, Zou Jian-xin, Li Jun, Yu Zhi-shui, Wang Hui-ping. Surface modification of TC4 alloy by laser cladding with TiC+Ti powders // Trans. Nonfer. Met. Soc. China. – 2010. – vol. 20. – P. 2192-2197.
4. Bataev I.A., Bataev A.A., Golkovski M.G., Krivizhenko D.S., Losinskaya A.A., Lenivtseva O.G. Structure of surface layers obtained by atmospheric electron beam cladding of graphite-titanium powder mixture on to titanium surface // Applied Surface Science. – 2013. – vol. 284. – P. 472-481.
5. Weiping Liu, DuPont J.N. Fabrication of functionally graded TiC/Ti composites by Laser Engineering Net Shaping // Scripta Materialia. – 2003. – vol. 48. – iss. 9, pp 1337-1342.
6. В.Е.Панин, С.И.Белюк, В.Г.Дураков, Г.А.Прибытков, Н.Г. Ремпе. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. – 2000. – №2. – С. 34–38.
7. Коростелева Е.Н., Прибытков Г.А., Стрельницкий В.Е., Криницын М.Г. и др. Объемные изменения и эволюция структуры при нагреве порошковых прессовок «титан - карбид титана» // Известия ВУЗов. Физика. – 2014. – Т. 57. – №9-3. – С. 103–107.
8. А.с. №975068 (СССР). Аввакумов Е.Г., Поткин А.Р., Самарин О.И.. Планетарная мельница. Бюллетень изобретений, 1982. №43.