

## ОСОБЕННОСТИ ВАКУУМНОГО СПЕКАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ TiC-МЕ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВС

*А.Д. Макан<sup>1</sup>, А.М. Мырзахан<sup>1</sup>*

Научный руководитель: доцент, к. т. н. Е.Н. Коростелева<sup>1,2</sup>; к. т. н. В.В. Коржова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки ИФПМ СО РАН  
E-mail: sema9454@gmail.com

В последнее время все больший практический интерес вызывает целый ряд технологических процессов, при реализации которых требуются многокомпонентные дисперсные расходные материалы. Такими материалами могут быть как традиционные наплавочные порошковые смеси для электронно-лучевой и лазерной наплавки, так и формирования объемных изделий с использованием МИМ-технологий и 3D-печати. Ряд исследований [1–3] показал, что поведение порошковой системы при термическом воздействии существенно зависит от того, в каком виде введены в порошковую композицию ее составные компоненты: в виде простых элементарных порошков или в виде их соединений. С практической точки зрения особый интерес представляют порошковые композиции на основе карбида титана и металлической матрицы. Исследования наплавочных материалов из простой смеси порошков промышленного карбида титана и металлической связки типа быстрорежущей стали Р6М5 и т.п., широко известны [4], но глубокого анализа поведения при нагреве синтезированных порошков с участием тех же компонентов, только в связанном состоянии, пока еще недостаточно. В связи с этим исследования особенностей вакуумного спекания порошковых смесей на основе карбида титана с металлической связкой, полученных с помощью СВС, является актуальными. Для исследований использовали СВС-порошки, которые по соотношению компонентов соответствовали следующим составам, об.%: TiC-60% Ti, где в качестве металлической связки выступает избыточный титан; TiC-50% ПГ-С27 (высокохромистый чугун); TiC-50% Р6М5 (быстрорежущая сталь) и TiC-40% ПРН77 (сплав на основе никеля ПР-Н77Х15СЗР2). Содержание металлической связки определялось максимально возможной объемной долей инертного в тепловом отношении металлического компонента, позволяющего инициировать и реализовать СВС-процесс в шихте из исходных элементарных порошков титана, углерода (сажи) и выбранного металлического связующего. Полученные после синтеза брикеты дробились и рассеивались по фракциям. Для анализа вакуумного спекания полученных композиционных порошков отбирали наиболее мелкую фракцию, не превышающую 50 мкм. Спрессованные с использованием пластификатора (раствор каучука в бензине) с остаточной пористостью не более 45% цилиндрические образцы диаметром и высотой 10 мм спекали в вакуумной печи типа СНВ при температуре 1350 °С с выдержкой 3 часа.

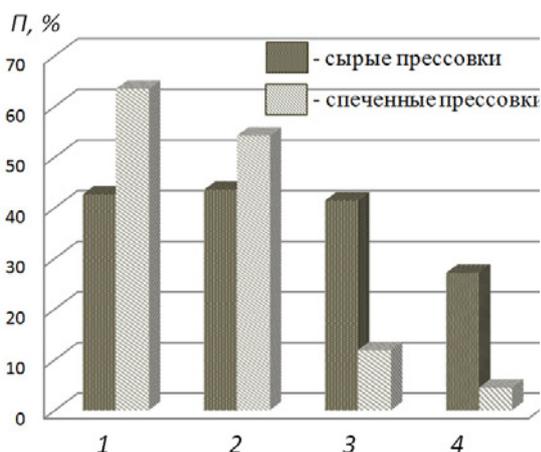


Рис. 1. Изменение пористости после вакуумного спекания при  $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  прессовок из синтезированных порошков: 1 – TiC-40% ПРН77; 2 – TiC-50% Р6М5; 3 – TiC-50% ПГ-С27 и 4 – TiC-60% Ti; а – пористость до и б – после спекания

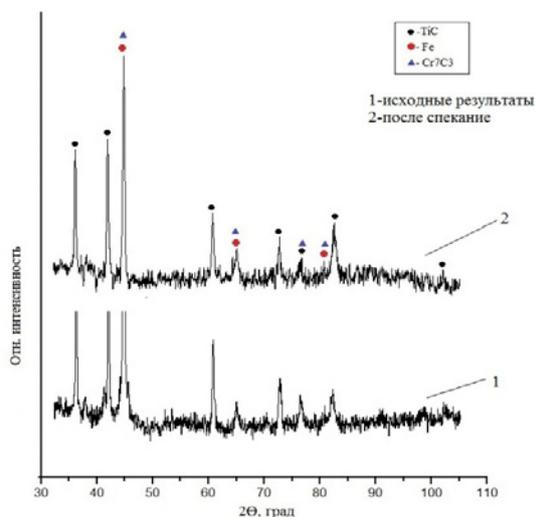


Рис. 2. Рентгенограммы исходных и спеченных синтезированных порошков TiC-50% Р6М5 (1 – исходные синтезированные порошки; 2 – спеченные прессовки из этих порошков)

На рисунке 1 показано, что разный тип металлической связки по-разному влияет на процессы уплотнения при спекании синтезированных порошков. Видно, что избыточное содержание титана в качестве металлической связки в синтезированном порошке TiC-60% Ti при спекании приводит к значительной усадке прессовок. Их

исходная пористость снижается с 28 до 4% (рис. 1, 4). Синтезированные композиционные порошки с чугуновой связкой также демонстрируют снижение пористости до 11% (рис. 1, 3). Обратную картину имеют результаты спекания порошковых композиций с никелевой и стальной матрицей. В отличие от предыдущих составов, в данном случае отсутствует не только уплотнение прессовок при спекании, но и наблюдается их заметный объемный рост (рис. 1, 1 и 2). В данном случае можно было бы предположить, что причиной такого поведения прессовок TiC-50% P6M5 и TiC-40% ПРН77 являются сопутствующие спеканию диффузионные процессы с возможным изменением фазового состава спеченных прессовок. Но проведенный предварительный рентгеновский анализ (рис.2) не выявил заметных отклонений от фазового состава исходных синтезированных порошков (рис. 2, 1).



Рис. 3. Микроструктура спеченных при  $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  прессовок из синтезированных порошков:  
а – TiC-50% ПГ-С27; б – TiC-50% P6M5

Аналогичное поведение следовало бы ожидать от прессовок на основе TiC-50% ПГ-С27, где также в металлической связке содержится существенный объем твердых фаз на основе хрома, тем не менее, эти прессовки демонстрируют хорошую спекаемость (рис. 3, а). Вероятнее всего, в составах с высокохромистой чугуновой связкой при выбранных температурах спекания ( $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) образуется заметное количество исчезающей жидкой фазы, которая помогает усаживаться прессовкам. Для других составов (TiC-40% ПРН77 и TiC-50% P6M5) если и существует вероятность ее появления, то объем и время существования незначительны и могут быть достаточны лишь для усиления процесса гомогенизации синтезированных порошков. Чтобы ответить на эти вопросы, необходимы дополнительные исследования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-48-700381)*

#### Список литературы

1. Прибытков Г.А., Андреева И.А., Коржова В.В. Объемные изменения и формирование структуры при твердофазном спекании порошковых смесей Ti-TiAl<sub>3</sub>// Порошковая металлургия. – 2008. – № 11/12. – С. 79–86.
2. Коростелева Е.Н., Прибытков Г.А., Стрельницкий В.Е. и др. Объемные изменения и эволюция структуры при нагреве порошковых прессовок «титан – карбид титана»// Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57, № 9/3. – С. 102–107.
3. Pribytkov G.A., Vagner M.I., Korjova V.V. et al. Sintering of powder compositions titanium – silicon and titanium – titanium silicide // Powder metallurgy. – 2013. – Vol. 11–12. – P. 3–12.
4. Кульков С.Н., Гнюсов С.Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2006. – 240 с.