

УДК 546.05+536.46

## САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИИ TiN-TiC С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ C<sub>2</sub>F<sub>4</sub> В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА АЗОТА

© Якубова А.Ф., Титова Ю.В., Амосов А.П.

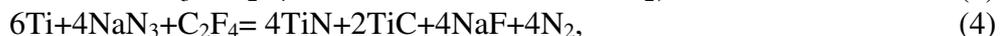
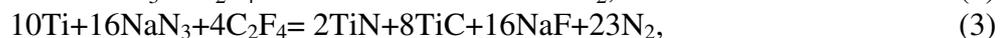
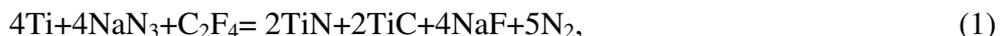
*Самарский государственный технический университет,  
г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: minekhanovaaf@mail.ru

Карбид титана (TiC) – это сверхвысокотемпературная керамика с уникальными свойствами [1]. Благодаря своей высокой твердости, высокому модулю упругости и хорошей коррозионной стойкости TiC считается подходящим материалом для изделий ядерной энергетики, деталей гиперзвуковых космических аппаратов и режущего инструмента [2; 4]. TiC также привлек большое внимание благодаря своим обширным перспективам применения. Однако сильные ковалентные связи и высокая энергия активации для самодиффузии снижают эффективность спекания керамики [2; 3; 5], что затрудняет достижение полного уплотнения керамики TiC с помощью обычных процессов спекания. Между тем внутренние характеристики слабой стойкости к термическому удару и низкой ударной вязкости ограничивают практическое применение керамики TiC в экстремальных условиях эксплуатации [6]. Однако исследование влияния добавки TiN на спекание, механические свойства и микроструктуру керамики TiC показало, что введение 5 % TiN увеличило относительную плотность TiC примерно на 1,5 % до значения 97 %, твердость по Виккерсу – до 2750 HV, прочность на изгиб – до 450 МПа [7].

Опираясь на данные [7], в этой работе исследуется возможность получения композиции TiN–TiC методом СВС–Аз с применением тетрафторэтилена в качестве источника углерода.

Для синтеза композиции TiN-TiC использовались следующие уравнения химических реакций:



В качестве исходного сырья использовались: порошок титана марки ПТМ-3 ( $\geq 99,5$  масс. %), порошок азиды натрия классификации «Ч» ( $\geq 98,71$  масс.%, 100 мкм), порошок тетрафторэтилена марки MDLV 312 ( $\geq 99,1$  масс. %, средний размер частиц 5 мкм).

Был проведен термодинамический анализ возможности синтеза целевой композиции TiN–TiC. Экспериментальные зависимости температуры и скорости горения от соотношения исходных компонентов в системе Ti–NaN<sub>3</sub>–C<sub>2</sub>F<sub>4</sub> исследовались в лабораторном реакторе СВС-Аз объемом 4,5 литра. Результаты исследования микроструктуры, энергодисперсионного и рентгенофазового анализов показали, что продукты горения всех исходных смесей состоят из частиц сферической формы размером от 100 до 500 нм.

На рисунке представлена рентгенограмма промытых продуктов горения смеси  $10\text{Ti}+4\text{NaN}_3+\text{C}_2\text{F}_4$  из которой видно, что в результате горения смеси образуются две целевые фазы TiN и TiC.

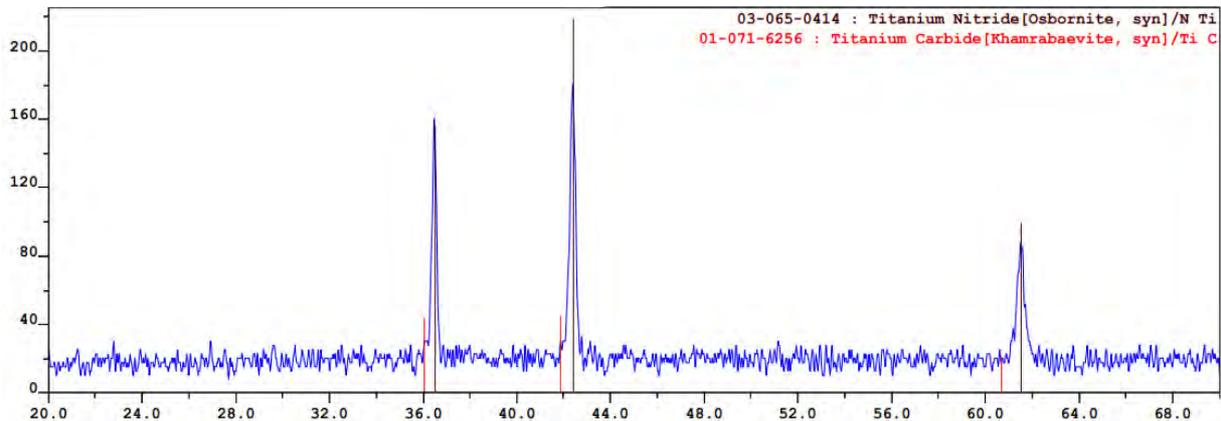


Рисунок – Рентгенограмма промытых продуктов горения смеси  $10\text{Ti}+4\text{NaN}_3+\text{C}_2\text{F}_4$

Таким образом, использование исходных смесей «Ti–NaN<sub>3</sub>–C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>» обеспечивает получение композиций керамических высокодисперсных порошков TiN–TiC методом СВС–Аз, которые отличаются от полученных ранее СВС–композиций отсутствием свободного Ti и карбонитрида титана (TiN<sub>0,5</sub>C<sub>0,5</sub>) [8].

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №FSSE-2023-0003) в рамках государственного задания Самарского государственного технического университета.*

### Библиографический список

1. Huo S., Wang Y., Yao M., Zhang Z., Chen L., Gu H., Ouyang J., Zhou Y. Novel TiC-based composites with enhanced mechanical properties // J. Eur. Ceram. Soc., 2021; 41:5466e73. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.05.008>.
2. Shahedi Asl M., Ahmadi Z., Sabahi Namini A., Babapoor A., Motallebzadeh A.. Spark plasma sintering of TiCeSiCw ceramics // Ceram Int., 2019; 45:19808e21. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.06.236>.
3. Fattahi M., Shahedi Asl M., Delbari S.A., Sabahi Namini A., Ahmadi Z., Mohammadi M. Role of nano-WC addition on microstructural, mechanical and thermal characteristics of TiCeSiCw composites // Int J Refract Metals Hard Mater, 2020; 90:105248. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105248>.
4. Chen L., Wang Y., Li Y., Zhang X., Meng Q. Microstructural evolution, mechanical and thermal properties of TiC–ZrC–Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> composites // Int. J. Refract Metals Hard Mater, 2019; 80:188e94. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2019.01.008>.
5. Li Y., Katsui H., Goto T. Phase decomposition of (Ti, Zr) (C, N) solid solutions prepared by spark plasma sintering // J. Eur. Ceram. Soc., 2019; 39:4588e94. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.06.046>.
6. Fattahi M., Mohammadzadeh A., Pazhouhanfar Y., Shaddel S., Shahedi Asl M., Sabahi Namini A. Influence of SPS temperature on the properties of TiCeSiCw composites // Ceram. Int., 2020; 46:11735e42. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.01.206>.
7. Palmero P. Nanomaterials, 2015, 5(2), 656. DOI: 10.3390/nano5020656.
8. Амосов А.П., Титова Ю.В., Минеханова А.Ф., Майдан Д.А., Шоломова А.В. Применение горения смеси порошков Ti–NaN<sub>3</sub>–NH<sub>4</sub>Cl–C для синтеза высокодисперсной композиции TiN–TiC // Proceedings of 8th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE–2022), Tomsk, Russia. P. 1272–1277. DOI: 10.56761/EFRE2022.N1–O–016405.