

УДК 621.762.242

## САМОРАСПРОСТРАНЯЮЩИЙСЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СИНТЕЗ ПОРОШКОВОЙ НИТРИДНО-КАРБИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ AlN-TiC С ПРИМЕНЕНИЕМ АЗИДА НАТРИЯ И ГАЛОИДНОЙ СОЛИ AlF<sub>3</sub>

© Белова Г.С., Уварова И.А., Титова Ю.В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Российская Федерация

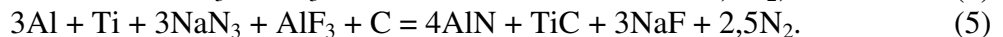
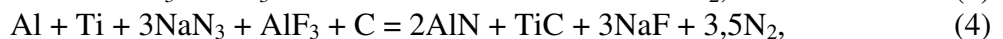
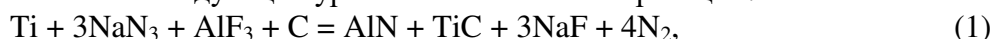
e-mail.ru: galya.belova.94@mail.ru

Материалы из карбида титана (TiC) обладают коррозионной стойкостью, низким коэффициентом трения по металлам, высокой термической и химической стабильностью, высокой теплопроводностью и электропроводностью ( $30 \cdot 10^6$  Ом·см), температура плавления составляет  $\sim 3260$  °С и твердость  $\sim 30$  ГПа [1]. Благодаря таким свойства TiC широко используется при обработке материалов и режущих инструментов. Чистый TiC обладает некоторыми недостатками, а именно низкой вязкостью разрушения и термостойкостью, которые ограничивают его применение. Производство соединений TiC, особенно монолитной формы, является сложной задачей, а при высоких температурах спекания может привести к увеличению роста зерна. Проведено много исследований влияния различных добавок на измельчение микроструктуры материалов TiC с целью улучшения механических свойств, особенно прочности [2]. Среди частых добавок применяют различные углеродсодержащие фазы. Было изучено влияние введения 5 мас. % трех аллотропных форм углерода, т. е. алмаза, графена и графита, на свойства керамики из TiC [3]. С другой стороны, в систему TiC также вводили различные нитриды в качестве добавок. В работе добавили 5 мас.% TiN к TiC, сообщив о незначительном увеличении относительной плотности спеченной керамики. Добились выдающихся результатов [4] при добавлении AlN в матрицу TiC по сравнению с другими нитридами. В результате такой добавки повышается спекаемость TiC, что позволяет получить плотный образец, а также повышается прочность TiC на изгиб на  $\sim 36$  %.

Синтез обеих целевых фаз непосредственно в объеме композиционного порошка (in-situ) из недорогих реагентов, а не заранее с последующим механическим смешиванием (ex-situ) дорогих нанопорошков позволяет достичь высокой однородности смеси синтезированных недорогих высокодисперсных нитридно-карбидных композиций [5].

Целью настоящей работы было проведение исследования с применением количественного рентгенофазового анализа, эффективности использования активирующей добавки другой галоидной соли – фторида алюминия (AlF<sub>3</sub>) – для получения методом азидного СВС высокодисперсной композиции порошков AlN-TiC с различным соотношением этих фаз.

Для синтеза целевых композиций AlN-TiC с мольным соотношением фаз от 1:4 до 4:1 были использованы следующие уравнения химических реакций:



Сжигание смеси исходных реагентов (шихты) с насыпной относительной плотностью 0,4 в кальковом стаканчике диаметром 30 мм и высотой 45 мм, обернутом углетканью, проводилось в лабораторном реакторе СВС-Аз объемом 4,5 литра с двумя термопарами при давлении азота 4 МПа. С помощью манометра определялось изменение давления в реакторе в ходе процесса горения. Полученный продукт синтеза взвешивался и сравнивался с теоретическим выходом по реакциям (1)–(5). Продукт горения отмывался водой от водорастворимых примесей, при этом определялся кислотно-щелочной баланс (рН) промывной воды, который свидетельствовал о наличии свободного натрия в продукте горения и о полноте прохождения химической реакции.

Продукты горения шихты реакций (1)–(5) состоят преимущественно из ультрадисперсных частиц равноосной формы с размером 200–500 нм. Результаты РФА показывают образование четырех фаз: целевых фаз нитрида алюминия (AlN) и карбида титана (TiC), а также побочных фаз оксидов титана и алюминия (TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и криолита (Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>), суммарное содержание которых не превышает 7,5 %.

Таким образом, при горении порошковых смесей азиды натрия, галоидной соли AlF<sub>3</sub>, титана, алюминия и технического углерода (сажи) в атмосфере азота можно синтезировать высокодисперсную композицию керамических порошков AlN-TiC различного состава.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-29-00680.*

### **Библиографический список**

1. Yim D., Sathiyamoorthi P., Hong S.-J., Kim H.S. Fabrication and mechanical properties of TiC reinforced CoCrFeMnNi high-entropy alloy composite by water atomization and spark plasma sintering // J. Alloys Compd. 781, 2019, pp. 389–396.
2. Magnus C., Kwamman T., Rainforth W.M. Dry sliding friction and wear behaviour of TiC-based ceramics and consequent effect of the evolution of grain buckling on wear mechanism // Wear., 2019, pp. 54–67.
3. Nguyen T.P., Pazhouhanfar Y., Delbari S.A., Van Le Q., Shaddel S., Pazhouhanfar M., SabahiNamini A., Shokouhimehr M., ShahediAsl M. Characterization of spark plasma sintered TiC ceramics reinforced with graphenenano-platelets // Ceram. Int., 2020.
4. Fattahi M., Pazhouhanfar Y., Delbari S.A., Shaddel S., SabahiNamini A., ShahediAsl M. Strengthening of novel TiC–AlN ceramic with in-situ synthesized Ti<sub>3</sub>Al inter-metallic compound // Ceram. Int., 2020.
5. Амосов А.П., Белова Г.С., Титова Ю.В., Майдан Д.А. Синтез высокодисперсной порошковой керамической композиции Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>–SiC при горении компонентов в системе Si–C–NaN<sub>3</sub>–NH<sub>4</sub>F // Журнал неорганической химии. 2022. Т. 67, № 2. С. 1–9.