

**СИНТЕЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗЫ Ti_3SiC_2 ,
СОДЕРЖАЩЕЙ БОРИДЫ**

Н.И. Каракчиева¹

Научный руководитель: ст.н.с., канд. тех. наук О.К. Лепакова², д-р физ.-мат. наук,
зав.лаб. Н.И. Афанасьев²

¹ Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

² ТНЦ СО РАН, Отдел структурной макрокинетики, Томск, 634021, пр. Академический, 10/4, Россия
E-mail: kosovanatalia@yandex.ru

**THE SYNTHESIS OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON MAX-PHASE Ti_3SiC_2 CONTAINING
BORIDES**

N.I. Karakchieva¹

Scientific Supervisor: Ph.D O.K. Lepakova², Prof., Dr. N.I. Afanasiev²

¹ National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin avenue 36, 634050

² Tomsk Scientific Center SB RAS, Tomsk, 634021, Pr. Akademichesky 10/4, Russia
E-mail: kosovanatalia@yandex.ru

Abstract. *Researched microstructure, phase composition and heat resistance of materials based on Ti_3SiC_2 nanolaminate obtained by self-propagating high-temperature synthesis with partial replacement of carbon atoms in Ti_3SiC_2 crystal lattice by atoms of boron. Studies have shown that titanium diboride is found in foods with a boron content of 0,2 and 0,5 mol.%. Test on heat resistance (temperature 800 °C and aging 30 hours) showed that the investigated work materials based on Ti_3SiC_2 compounds are characterized by high heat resistance in comparison with titanium carbide.*

Материалы на основе соединения Ti_3SiC_2 с наноламинатной структурой сочетают в себе свойства керамики и металлов, характеризуются высокими значениями модулей упругости (326 ГПа) и сдвига (135 ГПа), значительными вязкостью разрушения ($7\div 12$ МПа \cdot м^{0,5}), прочностью, трещиностойкостью, термостойкостью, химической стойкостью и низкой плотностью (4,52 г/см³). [1–11].

В работе [12] на основе неэмпирического метода функционала электронной плотности показано влияние примесей азота, кислорода и бора на параметры решётки, локальные искажения, стабильность и электронную структуру силикокарбида Ti_3SiC_2 . Однако указанные выше примеси могут оказывать влияние на фазовый состав, структуру и физико-механические свойства синтезируемых материалов.

Целью настоящего исследования являлось изучение фазового состава, микроструктуры и жаростойкости композитов на основе Ti_3SiC_2 , полученных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) при частичной замене атомов углерода в кристаллической решётке Ti_3SiC_2 атомами бора.

В работе были изучены продукты СВ-синтеза составов 3Ti-1,2Si-2C, 3Ti-1,2Si-(1,9C + 0,1B), 3Ti-1,2Si-(1,8C + 0,2B), 3Ti-1,2Si-(1,5C + 0,5B).

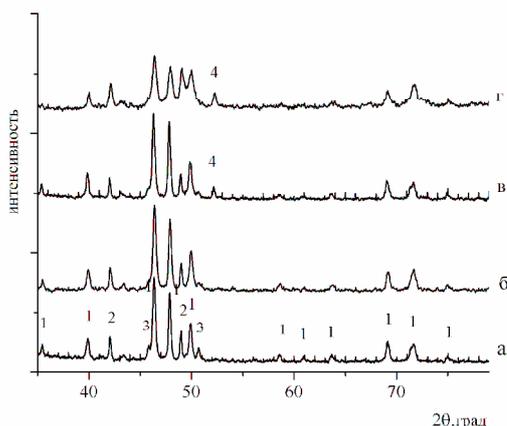


Рис. 1. Дифрактограммы СВ-синтезированных продуктов составов: а – $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-2\text{C}$, б – $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-(1,9\text{C} + 0,1\text{B})$, в – $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-(1,8\text{C} + 0,2\text{B})$, г – $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-(1,5\text{C} + 0,5\text{B})$. 1- Ti_3SiC_2 , 2- TiC , 3- TiSi_2 , 4- TiB_2

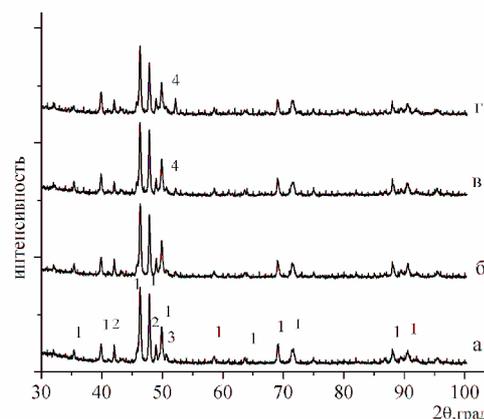


Рис. 2. Дифрактограммы образцов с различным содержанием бора, подвергнутых окислению при температуре 800°C в течение 30 часов. 1- Ti_3SiC_2 , 2- TiC , 3- TiSi_2 , 4- TiB_2

Как следует из анализа дифрактограмм, диборид титана идентифицируется только в продуктах с содержанием бора 0,2 и 0,5 мол.%. Образцы системы $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-2(\text{C},\text{B})$, полученные методом СВС с различным содержанием бора в исходной шихте, были испытаны на жаростойкость. Жаростойкость оценивали по привесу окисленных на воздухе образцов в электропечи на основании ГОСТ 6130-71. Исследования проводили при температуре 800°C , продолжительность выдержки составляла 30 часов. Привес образцов определяли на аналитических весах с точностью 10^{-4} г. (таблице 1). В таблице для сравнения приведены данные по жаростойкости для карбида титана, легированного хромом.

Таблица 1

Окисление СВС - композита состава $3\text{Ti}-1,2\text{Si}-2(\text{C},\text{B})$

Содержание бора в исходной шихте, % мол.	Привес ($\Delta m/s$), г/м ²
0	23
0,1	31
0,2	24
0,5	21
$\text{TiC}-5,1\%\text{Cr}$	144*

*- по данным [13].

Как видно из таблицы, привес для изученных образцов составил 20–30 г/м². Однако, по данным рентгенофазового анализа (рис. 2) в образцах, подвергнутых окислению на воздухе, никаких оксидов не обнаружено. Возможно, привес связан с незначительным окислением наружных поверхностей образцов.

Сравнение с данными по окислению карбида титана, легированного хромом (табл. 1), показало, что все исследованные в работе образцы обладают более высокой жаростойкостью.

Проведённые исследования показали, что пористые СВС-композиционные материалы на основе наноламината $Ti_3Si(C,B)_2$ вплоть до температуры 800 °С обладают хорошей жаростойкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Faber L., Barsoum M.W., Zavaliangos A., El - Raghy T. Dislocations and Stacking Faults in Ti_3SiC_2 // J. Am Ceram. Soc. – 1998. – № 6. – P. 1677–1681.
2. Faber L., Barsoum M.W., Zavaliangos A., El - Raghy T. Dislocations and Stacking Faults in Ti_3SiC_2 // J. Am Ceram. Soc. – 1998. – № 6. – P. 1677–1681.
3. Barsoum M.W. The $Mn+1AX_n$ phases: A new class of solids. Thermodynamically Stable nanolaminates // Prog. Solid St. Chem. – 2000. – № 28. – P. 201–281.
4. Barsoum M.W., El-Raghy T., Radovic M. Ti_3SiC_2 : a layered machinable ductile carbide. // Interceram. – 2000. – V. 49. – № 4. – P. 226–233.
5. Li J.F, Pan W., Sato F., Watanabe R. Mechanical properties of polycrystalline Ti_3SiC_2 at ambient and elevated temperatures. // Acta Materialia. – 2001. – № 49. – P. 937–945.
6. Sun Z.M., Murugaiah A., Zhen T., Zhou A., Barsoum M.W. Microstructure and mechanical properties of porous Ti_3SiC_2 // Acta Materialia. – 2005. – № 53. – P. 4359–4366.
7. Горбань В.Ф., Винокуров В.Б., Григорьев О.Н. и др. Микро- и макроиндетирование титанокремнистого карбида Ti_3SiC_2 // Порошковая металлургия. – 2005. – № 3/4. – С. 93–105.
8. Бродниковский Н.П., Бурка М.П., Вербилло Д.Г. и др. Структура и механические свойства пористого титанокремнистого карбида Ti_3SiC_2 // Порошковая металлургия. – 2003. – № 7/8. – С. 109–120.
9. Фирстов С.А., Печковский Э.П., Иванова И.И. и др. Влияние состава и пористости спечённых титановых наноламинатов на механические свойства при высоких температурах. // Проблемы прочности. – 2006. – № 6. – С.79–94.
10. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Иванова И.И. и др. Механические свойства пористых наноламинатов-композитов Ti_3SiC_2/TiC , Ti_3AlC_2/TiC , Ti_4AlN_3/TiN в интервале температур 20–1300 °С // Порошковая металлургия. – 2010. – № 7/8. – С.56–68.
11. Бродниковский Н.П., Головаш А.В., Григорьев О.Н. и др. Механическое поведение титанокремнистого карбида Ti_3SiC_2 в зависимости от структурного состояния и условий деформирования. // Металлофизика. Новейшие технологии. – 2003. – Т.23. – № 9. – С.1179–1200.
12. Barsoum M.W. and El-Raghy T. The MAX Phases: Unique New Carbide and Nitride Materials. // American Scientist. – 2001. – V.89. – № 4. – P.334–343.
13. Медведева Н.И. Влияние примесей бора, азота, кислорода на электронную структуру и деформационное поведение Ti_3SiC_2 // ФТТ. – Т.55. – Вып.3. С.500–503.
14. Манакова О.С. Структура и свойства дисперсионно-твердеющего материала Ti-Nb-C со связкой / О.С. Манакова, В.В. Курбаткина, Е.А. Левашов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия –2015.– №1. – С. 12–18.