

УДК 621.793.79

## *Композиційні матеріали системи $Ti - B_4C$ , отримані методом СВС*

М. О. Сисоєв, кандидат технічних наук

О. С. Терещенко

Г. П. Кисла, кандидат технічних наук

П. І. Лобода, член-кореспондент НАН України

Національний технічний університет «КПІ», Київ

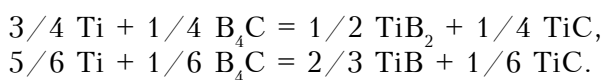
*Із суміші порошків 81,3 %  $Ti$  та 18,7 %  $B_4C$  методом СВС отримано композиційний матеріал та композитне покриття на сплаві ВТ6. Встановлено, що їх структура складається з титанової матриці та керамічних включень –  $TiB_2$ ,  $TiB$ ,  $TiC$ . Мікротвердість композиту складає 14 ГПа, а покриття – змінюється по товщині від 3 до 13 ГПа.*

Композиційні матеріали на основі титанових сплавів володіють унікальними властивостями, такими як відносно висока температура плавлення, низька щільність, високі модулі пружності, стійкість до окиснення і загоряння, високе відношення міцність/щільність, жароміцність. Область застосування цих матеріалів включає в себе: компоненти різних двигунів, реактивні сопла, елементи обшивки космічних апаратів та їх теплозахисних систем, медицина. Більшість методів отримання композиційних матеріалів на основі титану є енерговитратними. Використання технології високотемпературного синтезу, що саморозповсюджується (СВС) дозволяє одержувати матеріали з високими фізико-механічними характеристиками та знизити енерговитрати, оскільки при активації процесу вивільняється велика кількість тепла, яке витрачається на обробку матеріалу «сирця».

На сьогодні особливу увагу привертають титанові матричні композити з високомодульними включеннями на основі карбідів та боридів через їх високі температури плавлення, низьку питому вагу, гарну теплову та хімічну стабільності та високу твердість. Дані композиційні матеріали мають твердість  $18,5 \pm 1,5$  ГПа, тріщиностійкість на рівні  $5,5 - 5,8$  МПа $\cdot$ м<sup>1/2</sup>, міцність на згин  $430 - 450$  МПа та міцність на стиск  $2,52 - 2,6$  ГПа. Титанові матричні композити демонструють більш низький коефіцієнт тертя, ніж чистий титан. Відповідно, при навантаженнях  $40 - 100$  Н середні значення коефіцієнта стаціонарного тертя композиту і чистого титану проти інструментальної сталі складають приблизно  $0,270 - 0,330$  і  $0,385 - 0,395$  відповідно. Зношена поверхня чистого титану характеризується крупними пластівцями і довгими канавками при типовому режимі адгезійного зносу, в той час, як титанові матричні композити не настільки сильно зношуються і мають невеликі канавки з дрібними частинками продуктів зносу на зношеній

поверхні. TiB та TiC значно знижують пластичну деформацію поверхні чистого титану. При випробуванні композиту на згин на фрактограмах не спостерігається відділення TiB від матриці. Фрактограми чистого титану та титанових матричних композитів мають аналогічну морфологію [1 – 4].

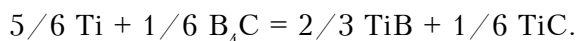
При зміні молярного співвідношення між титаном та B<sub>4</sub>C можуть бути синтезовані матеріали з різним фазовим складом при проходженні наступних хімічних реакцій:



Таким чином змінюючи відсотковий вміст вихідних компонентів можна суттєво впливати на мікроструктуру та механічні властивості композитів. Розмір часток реагентів грає важливу роль в процесі СВС. Їх зменшення приводить до збільшення швидкості горіння [5].

Метою даної роботи було дослідження процесу структуроутворення в системі Ti – B<sub>4</sub>C при взаємодії компонентів в режимі СВС, властивостей композиційного матеріалу та покриття на його основі.

Вихідними матеріалами були порошки титану та карбіду бору. Хімічний склад порошку титану представлений в таблиці. Суміш дозували таким чином, щоб в процесі отримання композиційного матеріалу проходила хімічна реакція:



Хімічний склад порошку титану

Елемент	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn
Вміст, %	98,197	0,241	1,372	0,02	0,017	0,008

Порошки змішували в титановому барабані з розмельними тілами з титану у планетарному млині. Час змішування 3 хвилини. Відсотковий склад суміші складав 81,3 % Ti та 18,7 % B<sub>4</sub>C. З отриманої суміші формували брикети та наносили покриття на сплав ВТ6, після чого проводили термічну обробку. Заготівку нагрівали електронним променем. За рахунок передачі тепла від поверхні вздовж усієї висоти вихідної заготовки формується зона СВС горіння.

Дослідження мікроструктури композиційного матеріалу, отриманого з суміші порошоків B<sub>4</sub>C та Ti, а також покриття на його основі проводили на растровому електронному мікроскопі. Встановлено, що структура композиційного матеріалу складається з матриці на основі титану та керамічних включень. Форма включень змінюється від глобулярної до голкоподібної. Останні утворюють мікроструктуру типу «корзинного плетіння» (рис. 1).

При дослідженні мікроструктури отриманого покриття (рис. 2) показано, що матеріал покриття є композитом з титановою матрицею і керамічними включеннями.

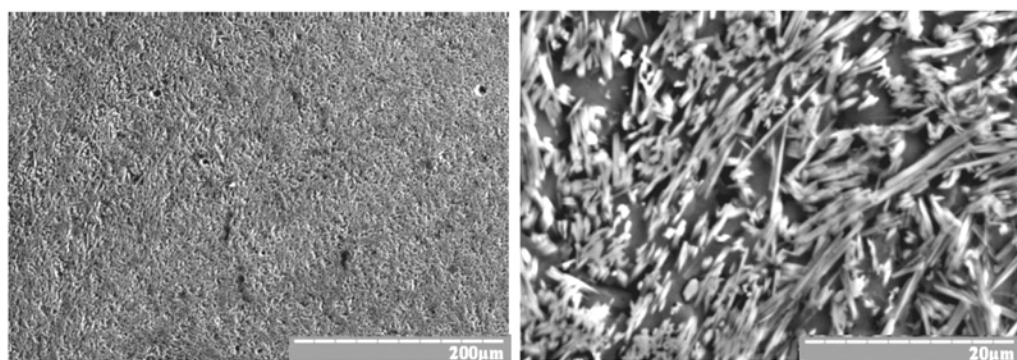


Рис. 1. Мікроструктура композиційного матеріалу, отриманого методом СВС із суміші порошків  $V_4C$  та титану.

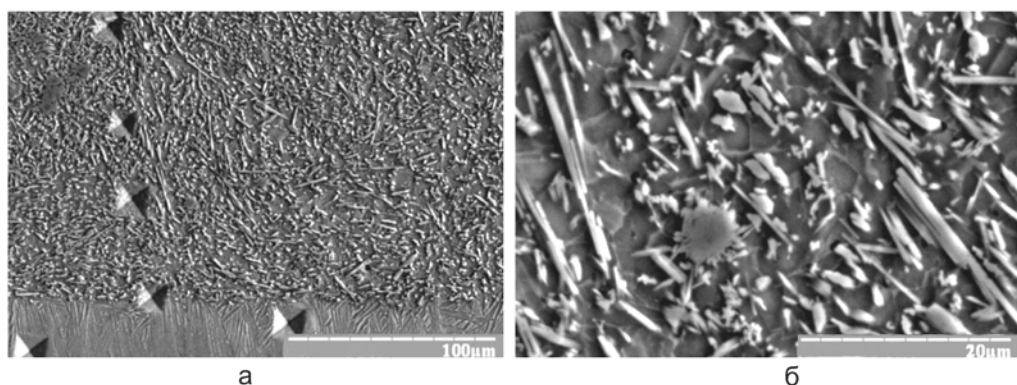


Рис. 2. Мікроструктура покриття, отриманого методом СВС на сплаві ВТ6 із суміші порошків  $V_4C$  та титану.

Пористість покриття не перевищує 5 %. В порівнянні з матеріалом кермету (рис. 1), матеріал покриття має більший вміст металевої матриці, при однаковому складі вихідної шихти, що може бути пов'язано з підживленням композиту металом основи в процесі отримання покриття. Границя розділу покриття-основа суцільна і безпориста, відбувається взаємодія основи з матеріалом покриття, тобто відбувається утворення когезійних зв'язків. Така поведінка в процесі формування покриття повинна підвищити міцність зчеплення покриття з основою. Форма керамічних включень, як і для кермету, змінюється від глобулярних до голкоподібних, але зменшується їх кількість і збільшується відстань між ними.

Дослідження фазового складу показало (рис. 3), що, як композиційний матеріал так і матеріал покриття складається з чотирьох фаз – титану,  $TiB_2$ ,  $TiB$ ,  $TiC$ . Кількісне співвідношення фаз в композиційному покритті склало:  $Ti$  – 43 %,  $TiB_2$  – 12 %,  $TiB$  – 36 %,  $TiC$  – 9 %.

При визначенні мікротвердості композиту та покриття показано, що твердість композиту складає 14 ГПа, а твердість покриття монотонно зменшується по мірі віддалення від його поверхні (13 – 2 ГПа). Така поведінка

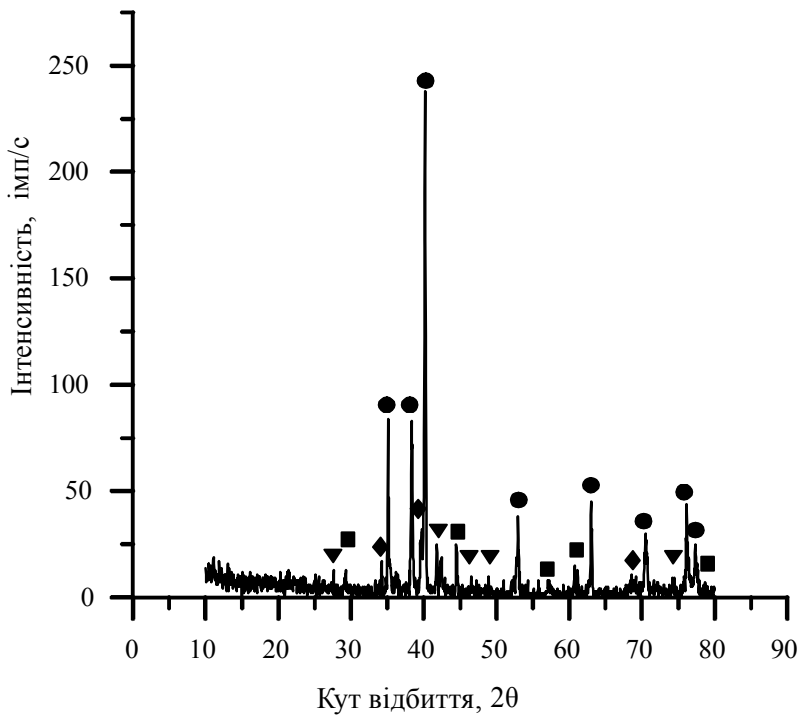


Рис. 3. Дифрактограма композиційного матеріалу, отриманого методом СВС із порошків титану та  $V_4C_3$ . ● – Ti, ◆ – TiC, ▼ – TiB, ■ –  $TiB_2$ .

мікротвердості пояснюється зміною вмісту фазових складових композиційного матеріалу по товщині покриття, оскільки відбувається підживлення сформованого в режимі СВС керамічного композиту металом основи і відповідно кількість металевої складової в приконтактній зоні більша, ніж на поверхні покриття.

Встановлено, що мікроструктура композиційного матеріалу отриманого методом СВС з суміші порошків титану та  $V_4C_3$ , складається з матриці на основі титану та керамічних включень. Форма включень змінюється від глобулярної до голкоподібної. Показано, що композиційний матеріал і покриття складаються з чотирьох фаз – титану,  $TiB_2$ , TiB, TiC. Мікротвердість композиту складає 14 ГПа, а твердість покриття монотонно зменшується по мірі віддалення від його поверхні (13 – 2 ГПа).

## Література

1. WANG Zhen-ting, ZHOU Xiao-hui, ZHAO Guo-gang. Microstructure and formation mechanism of in-situ TiC –  $TiB_2$  (Fe composite coating) // Trans. Nonferrous Met. Soc. (China). – 2008. – № 18. – P. 831 – 835.
2. Xuegang Huang, Chun Yin, Zhongmin Zhao. Microstructures and Toughening of TiC –  $TiB_2$  Ceramic Composites with Cr-Based Alloy Phase Prepared by Combustion Synthesis in High-Gravity Field // Advances in Materials Science and Engineering. – Article ID 358746. – 2015. – 6 p.

3. Zhang Xinghonga ,Zhu Chunchenga, Qu Wei. Self-propagating high temperature combustion synthesis of TiC/TiB<sub>2</sub> ceramic-matrix composites // Composites Science and Technology. – 2002. – № 62. – P. 2037 – 2041.

4. Yanli Qin, Lin Geng, Dingrui Ni. Dry sliding wear behavior of extruded titanium matrix composite reinforced by in situ TiB whisker and TiC particle // J. Mater Sci. – 2011. – № 46. – P. 4980 – 4985.

5. Mitra Akhtari Zavareh, Ahmed Aly Diao Mohammed Sarhan, Malihah Amiri Roudan. TiC – TiB<sub>2</sub> composites: A review of processing, properties and applications // International Journal of Innovative Research in Science & Engineering. – ISSN(Online) 2347-3207. – 11 p.

Одержано 16.12.15

**М. А. Сысоев, А. С. Терещенко, Г. П. Кислая, П. И. Лобода**

**Композиционные материалы системы Ti – B<sub>4</sub>C,  
полученные методом СВС**

**Резюме**

Из смеси порошков 81,3 % Ti и 18,7 % B<sub>4</sub>C методом СВС получен композиционный материал и композитное покрытие на сплаве VT6. Установлено, что их структура состоит из титановой матрицы и керамических включений – TiB<sub>2</sub>, TiB, TiC. Микротвердость композита составляет 14 ГПа, а покрытия – изменяется по толщине от 3 до 13 ГПа.

**M. A. Sysoyev, A. S. Tereschenko, G. P. Kysla, P. I. Loboda**

**The composite Ti – B<sub>4</sub>C produced by SHS**

**Summary**

From a mixture of powders of 81,3 % Ti and 18,7 % of B<sub>4</sub>C by the SHS method was obtained composite material and composite coating on the alloy VT6. It was established that their structure consists of a titanium matrix and ceramic inclusions of- TiB<sub>2</sub>, TiB, TiC. The microhardness of the composite is 14 GPa and for the coating varies across the thickness from 3 to 13 GPa.