

УДК 621.762

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТУ Ti-TiB-TiC

*Биба Є.Г., Лобода П.І.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»*

*Встановлено, що формування титан-матричного композиту залежить не лише від розміру та кількості фазових складових, що формуються в результаті дифузійної взаємодії, а й від концентрації вихідних компонентів, температури та часу. Методами оптичної мікроскопії, рентгенофазового та рентгеноструктурного аналізів встановлено, що отриманий композит являє собою матрицю з титану пронизану голкоподібними включеннями бориду титану та дрібними дендритними включеннями карбіду титану. Встановлено що при швидкісному електронно-променевому спіканні вдалося отримати композит з вищими механічними характеристиками ніж при радіаційному. Комплексні дослідження закономірностей формування структури сплаву титан-матричного композиту Ti-TiB-TiC залежно від кількості добавок карбіду бору у вихідну суміш та методу спікання, можуть бути ефективно використані для виготовлення титанових сплавів замість промислових сплавів авіаційної техніки.*

*Ключові слова:* гідрид титану, карбід бору, твердість, титан-матричний композит.

**Вступ.** В теперішній час в Україні існує гостра необхідність у розробці та виробництві великої гама надміцних та надтвердих матеріалів. В сучасному матеріалознавстві особливо цікавими є боридо- та карбідомісткі керамічні матеріали, унікальні фізико-механічні властивості яких вже зараз обумовлюють застосування їх у багатьох галузях машинобудування. Так, велика мікротвердість дає змогу використовувати ці матеріали для обробки та різання металів та гірських порід; високі значення модулів Юнга, порівняно мала густина та деякі особливості руйнування роблять можливим створення елементів керамічної броні; високі температури плавлення, жаро- та корозійностійкість зумовлюють можливість їхнього використання для роботи в екстремальних умовах [1].

Але кераміка крихка і маломіцна, що не дозволяє виготовляти конструкційні елементи з малою площею поперечного перетину. Підвищення міцності таких матеріалів може досягатися за рахунок введення в них пластичної фази, за рахунок збільшення ефективної енергії руйнування шляхом подрібнення зерна, створенням внутрішніх стискаючих напружень на шляху пересування тріщини, армування волокнами, тощо. Із всіх відомих методів зміцнення крихких керамічних матеріалів, тільки армування керамічними волокнами дає змогу значно підвищити міцність та в'язкість руйнування, при збереженні рівня твердості та жорсткості.

Використання карбіду бору [2, 3] як легуючу добавку до титан-матричного композиту дає змогу отримати матеріал складу Ti-TiB-TiC за рахунок армування і одночасної реакції  $B_4C$  з Ti при нагріванні. Механічні характеристики такого матеріалу вищі, аніж в титан-матричного композиту, легованого TiB. Різні методи отримання цього композиту, або подальшої термообробки, дозволяють підвищити ці показники. Такий композит буде мати покращені значення міцності, ударної в'язкості та міцності на згин при підвищеній твердості [4].

**Метою даної роботи** є вивчення закономірностей формування структури титан-матричного композиту Ti-TiB-TiC залежно від кількості добавок карбіду бору у вихідну суміш та методу спікання.

**Виклад основного матеріалу.** В якості вихідного матеріалу застосовували порошок гідриду титана з середнім розміром 7 мкм і порошок карбіду бору з середнім розміром 2 мкм. Для отримання ТМК Ti-TiB-TiC були приготовані суміші порошків  $TiH_2$  з додаванням 2,8, 5,6 та 10,9 об %  $B_4C$ . Формування циліндричних пресовок розміром  $10 \times 10$  мм проводили у сталевій розбірній пресформі. Термообробка пресовок складалася з двох послідовних стадій: дегідровання і спікання. Спікання дегідрованих пресовок

проходило при температурі 1300 °С, з часом витримки 5 хвилин в електронно-променевої установці «ЭЛА-6» та 1 година у вакуумній печі СНВЛ 1.3.1/16М1. Пористість зразків після термообробки визначали методом гідростатичного зважування та кількісного металографічного аналізу. Дослідження мікроструктури отриманих ТМК проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа РЕМ 106И, укомплектованого енергодисперсійним рентгенівським (EDX) мікроаналізатором для встановлення хімічного (елементного) складу. Для встановлення фазового складу сплавів з різним вмістом бору використовували рентгенівський дифрактометр Rigaku Ultima IV з мідним (Cu K $\alpha$ ) випромінюванням ( $\lambda=0,15418$  нм). Вимірювання твердості спечених пресовок проводили за методом Роквелла.

Зі збільшенням вмісту зміцнюючої фази, загальна пористість матеріалу збільшується, що пов'язано зі зменшенням ефективного коефіцієнта дифузії. Пористість зразків, отриманих при радіаційному і електронно-променевому спіканні, майже однакова і для складів 2,8 і 5,6 об. % В<sub>4</sub>С у вихідній суміші становить 8 і 10 % відповідно, проте при вмісті карбіду бору 10,9 об. % при радіаційному спіканні пористість збільшується до 15,5 % при електронно-променевому лишається на рівні 12 %. Залишкова пористість порошкових титанових сплавів обумовлена як незавершеністю процесів ущільнення при спіканні, так і фазовими й структурними перетвореннями, що призводять до додаткового утворення пор (розпухання) попередньо спресованих пресовок при нагріванні, а також недостатнім часом витримки. За даними металографічних досліджень, спечені зразки являють собою матрицю з титану (т. 1 рис.1) пронизану голкоподібними включеннями бориду титану (т. 2 рис. 1) та дрібними включеннями карбіду титану (т. 3 рис. 1), що підтверджується дифрактометричними дослідженнями.

На рисунку 3 зображені мікроструктури зразків, отриманих спіканням суміші гідриду титану та карбіду бору (2,8, 5,6 та 10,9 об. %) у вакуумній печі. Зі збільшенням кількості карбіду бору у вихідній суміші (2,8, 5,6 об. %), збільшується кількість армуючої фази, розміри зерен карбіду і бориду титану майже однакові, проте при збільшенні В<sub>4</sub>С у вихідній суміші спостерігаються залишки непрореагуваного карбіду бору. І при вмістах 10,9 об.% В<sub>4</sub>С їх частка становить порядку 50 %.

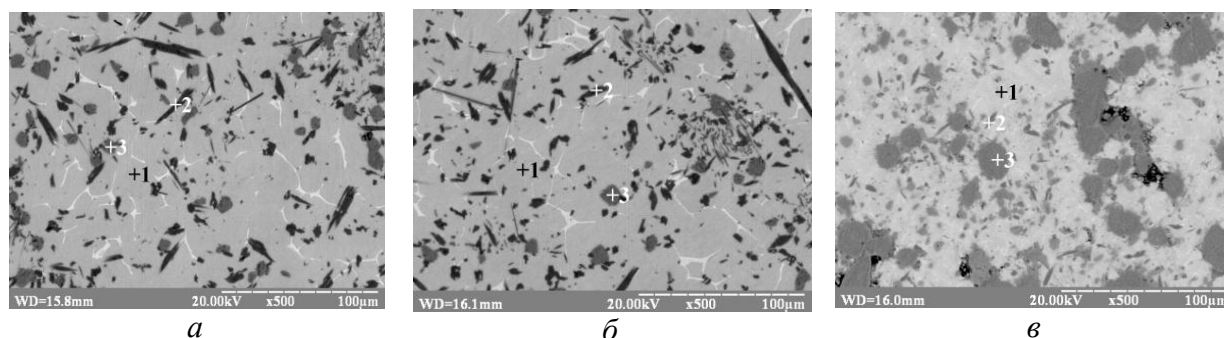


Рис. 1 – Мікроструктури пресовок з суміші TiH<sub>2</sub>+B<sub>4</sub>C після радіаційного спікання:  
а – Ti + 2,8 % B<sub>4</sub>C; б – Ti + 5,6 % B<sub>4</sub>C; в – Ti + 10,9 % B<sub>4</sub>C

На рисунку 2 зображені мікроструктури зразків, отриманих спіканням суміші гідриду титану та карбіду бору (2,8, 5,6 та 10,9 об. %) електронним променем. Структура даного сплаву також являє собою матрицю з титану із голкоподібними включеннями бориду титану та дрібними включеннями карбіду титану. При даному методі спікання реакція між В<sub>4</sub>С та TiH<sub>2</sub> проходить не повною мірою за рахунок малого часу спікання, і на мікроструктурах чітко видно частинки карбіду бору (рис. 2 а, б), які почали дифундувати в об'єм зразка і набули дендритоподібної форми. При вмісті 10,9 об. % карбіду бору у вихідній суміші спостерігається більш повне проходження реакції і утворення дрібнозернистої структури, адже при швидкісному нагріванні та температурах вищих за 1000 °С реалізується реакційна взаємодія, що протікає в режимі самогоріння з виділення великої кількості тепла.

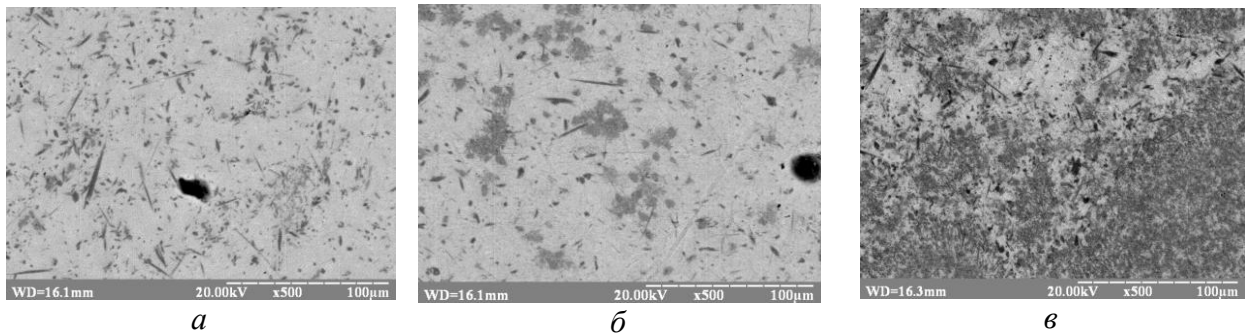


Рис. 2 – Мікроструктури пресовок з суміші  $TiH_2+B_4C$  після електронно-променевого спікання:  
 а –  $Ti + 2,8 \% B_4C$ ; б –  $Ti + 5,6 \% B_4C$ ; в –  $Ti + 10,9 \% B_4C$

Графічні залежності мікротвердості по Віккерсу та твердості по Роквеллу, залежно від вмісту зміцнюючої фази, представлені на рис. 3.

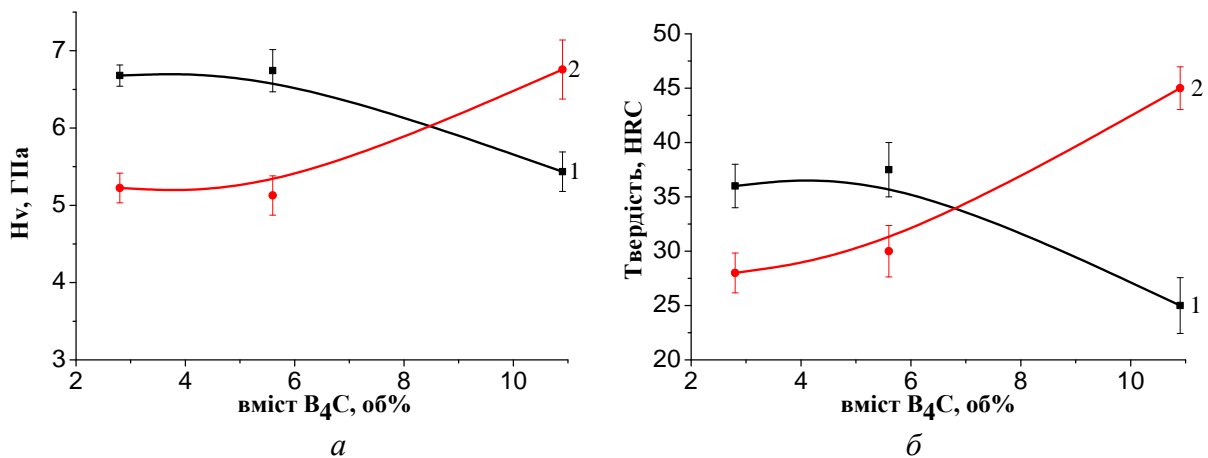


Рис. 3 – Залежність мікротвердості а та твердості по Роквеллу б зразків від вмісту  $B_4C$  у вихідній суміші: 1 – радіаційне спікання; 2 – електронно-променеве спікання

Залежність мікротвердості від вмісту карбіду бору у вихідній суміші, при електропроменевому спіканні має зростаючий характер (рис. 3а). Це пов'язано з тим, що при більшому вмісті  $B_4C$  більша його кількість встигає продифундувати і прореагувати, утворивши більше твердих включень. Для зразків спечених у вакуумній печі,  $B_4C$  в більшій мірі прореагував і утворив фази  $TiB$  і  $TiC$ , але при вмісті 10,9 об. % кількість карбіду бору, який не продифундував, набагато вища ніж при електронно-променевому.

Для оцінки загальної твердості композиту, проводилося дослідження твердості по Роквеллу (рис. 3б) від вмісту зміцнюючої фази. Дані залежності по твердості титан-матричного композиту корелюють із залежностями по мікротвердості, що, в першу чергу, пов'язано зі структурною складовою, а також вищими значеннями пористості зразка з вмістом карбіду бору 10,9 об. % у вихідній суміші при радіаційному спіканні.

**Висновки.** Враховуючи те, що розмір та кількість фазових складових композиту, що формується в результаті дифузійної взаємодії залежить від концентрації вихідних компонентів, температури та часу, встановлено що при швидкісному електронно-променевому спіканні вдалося отримати композит з вищими механічними характеристиками ніж при радіаційному. Відповідно при найбільшому вмісті  $B_4C$  у вихідній суміші при радіаційному спіканні за рахунок уповільнення загального коефіцієнта дифузії отриманий композит характеризується високою пористістю і значною кількістю частинок  $B_4C$ , які не встигли прореагувати, на відміну від електронно-променевого спікання, при якому утворилася дрібнозерниста структура з нижчою пористістю, на формування якої має значний вплив температурний градієнт, величина якого по об'єму пресовки на 100–200 градусів більше, в порівнянні з радіаційним спіканням.

Використання карбіду бору, як легуючого елементу, дає можливість виготовити надлегкий титановий сплав, що може бути цікавим для аерокосмічної промисловості та суднобудування замість деяких промислових сплавів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кислый П. С. Керметы / П. С. Кислый. – К. : Наук. думка, 1985. – 71 с.
2. Кислый П. С. Карбид бора / П. С. Кислый, М. А. Кузенкова, Н. И. Боднарук и др. – К. : Наук. думка, 1988. – 216 с.
3. Karandikar P. G. A review of ceramics for armor applications / P. G. Karandikar, G. Evans, S. Wong et al. // Advanced in Ceramic Armor IV. Ceramic Engineering and Science Proceed84ings. – Hoboken, New Jersey, USA, John Wiley and Sons, Inc. – 2009. – Vol. 29, No. 6. – 242 p.
4. Abdul Jimoh. In Situ Synthesis of Titanium Matrix Composite (Ti-TiB-TiC) through Sintering of TiH<sub>2</sub>-B<sub>4</sub>C/ Iakovos Sigalas, Mathias Hermann // Materials Sciences and Applications. – 2012. – Vol. 3. –p. 30-35.

#### **Биба Е.Г., Лобода П.И.** ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТА Ti-TiB-TiC

*Установлено, что формирование титан матричного композита зависит не только от размера и количество фазовых составляющих, формирующихся в результате диффузного взаимодействия, но и от концентрации исходных компонентов, температуры и времени. Методами оптической микроскопии, рентгенофазового и рентгеноструктурного анализов установлено, что полученный композит представляет собой матрицу из титана пронизанную игловидными включениями борида титана и мелкими дендритными включениями карбида титана. Установлено, что при скоростном электронно-лучевом спекании удалось получить композит с высшими механическими характеристиками чем при радиационном. Комплексные исследования закономерностей формирования структуры сплава титан-матричного композита Ti-TiB-TiC, в зависимости от количества добавок карбида бора в исходную смесь и метода спекания, могут быть эффективно использованы для изготовления титановых сплавов взамен промышленных сплавов авиационной техники.*

**Ключевые слова:** гидрид титана, карбид бора, твердость, титан-матричный композит.

#### **Byba Ie.G, Loboda P.I.** THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON STRUCTURE FORMATION AND PROPERTIES OF COMPOSITE TI-TIB-TIC

*It was established that the formation of titanium matrix composite depends not only on the size and number of phase components formed by diffusion interaction, but also on the concentration of initial components, temperature and time. Using optical microscopy and methods of X-ray diffraction and X-ray analyzes, it was estimated that the resulting composite is titanium matrix pierced with titanium boride needle inclusions and small dendroid inclusions of titanium carbide. It was established that under high-speed electron beam sintering it is possible to obtain a composite with higher mechanical properties than under radiation sintering. Complex investigation of patterns of titanium matrix composite Ti-TiB-TiC structure formation depending on the amount of boron carbide additive to the starting mixture and sintering method can be effectively used for manufacturing titanium alloys in return of some industrial alloys in aviation industry.*

**Keywords:** titanium hydride, boron carbide, hardness, titanium matrix composite.

© Биба Е.Г., Лобода П.И.

Статтю прийнято  
до редакції 7.10.14.