

arc melting, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2016, vol. 36, no. 4, pp. 959-966.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2015.11.044>

2. M. I. Upatov, E. R. Abdullaieva, V. V. Bolbut, Yu. I. Bogomol. Structure and Properties of Directionally Solidified Alloy of  $B_4C-TaB_2-SiC$  System, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 2020, vol. 42, no. 12, pp. 1701-1713.

DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.12.1701>

3. M. Upatov, Y.M. Koval, I. Bogomol. Microstructure of  $B_4C-TaB_2-SiC$  ternary eutectic composites, HighMathTech 2019, Kyiv, Ukraine, 28-30 octobere 2019: Book of Abstracts – Kyiv, 2019, pp. 75.

4. M. Upatov, J. Vleugel, Y. Koval, V. Bolbut, I. Bogomol, Microstructure and mechanical properties of  $B_4C-NbB_2-SiC$  ternary eutectic composites by a crucible-free zone melting method, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2021, vol. 41, no. 2, pp. 1189-1196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.09.049>

**Упатов М.І., Єфіменко М.Ю., Богомол Ю.І.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

**МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНОГО  
КОМПОЗИТУ СИСТЕМИ  $B_4C-TaB_2-SiC$**

**E-mail: [nikitaupatov@gmail.com](mailto:nikitaupatov@gmail.com)**

Спрямовано закристалізовані евтектичні композити на основі карбіду бору привертають увагу завдяки високій міцності, тріщиностійкості, а також повзучості. Навіть при високих температурах дані матеріали зберігають свої властивості [1]. Таким чином, композити системи  $B_4C-MeB_2-SiC$  являються перспективними та цікавими для дослідження конструкційними матеріалами. Основною метою даної роботи є отримання евтектичного композиту системи  $B_4C-TaB_2-SiC$  та дослідження його фізико-механічних властивостей.

Було приготовлено порошкові суміші складу  $B_4C-8TaB_2-40SiC$  (мол. %). Одержання зразків відбувалось за допомогою методу безтигельного зонного плавлення неспечених порошкових пресовок [2]. Мікроструктура композитів досліджувалась за допомогою сканувального електронного мікроскопа «SELMІ PEM 106И».

Мікромеханічні властивості досліджувалися за допомогою мікротвердоміра MHV-1000 при навантаженні – 9,81 Н. Тріщиностійкість оцінювалась за методикою індентування і розраховувалась за допомогою рівняння Анстіса [3].

Теплове розширення досліджуваних композитів проводилось за допомогою дилатометра DIL 402C/7. Нагрівання проводилось в інтервалі температур 20 – 1650 °С зі швидкістю 5 град/хв протягом 10 годин. Вимірювання проводилось у захисній атмосфері аргону.

Структура композиту  $V_4C-8TaB_2-40SiC$  являє собою рівномірно розподілену по всьому об'єму зразка трифазну евтектику  $V_4C-TaB_2-SiC$ , однаково як для поперечного так і для повздовжнього напрямку. Трифазна евтектика має ламелярну або пластинчасту структуру.

Отриманні результати твердості за Віккерсом та тріщиностійкості для евтектичного композиту  $V_4C-8TaB_2-40SiC$  показали, що незважаючи на наявність анізотропії структури для повздовжнього та поперечного напрямків, твердість знаходиться в межах 33-34 ГПа. Дані значення твердості цілком узгоджуються зі значеннями твердості, отриманими для евтектичних ділянок системи  $V_4C-TaB_2-SiC$  [4].

Тріщиностійкість евтектичного композиту  $V_4C-8TaB_2-40SiC$  знаходиться в межах  $3,9 \pm 0,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ , що достатньо близько зі значеннями тріщиностійкості для евтектичних композитів  $V_4C-20ZrB_2-40SiC$  ( $4,2 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ) [5] та  $V_4C-8,1TiB_2-40,7SiC$  ( $4 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ) [6]. Низьке значення тріщиностійкості пояснюється тим, що тріщини легко поширюються у великих (до 6 мкм) однофазних прошарках карбіду бору та карбіду кремнію, у яких значення тріщиностійкості невелике  $V_4C$  –  $3,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  [7] та  $SiC$  –  $3,5-4,1 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$  [8].

Температурна залежність відносного видовження для композита  $V_4C-8TaB_2-40SiC$  являє собою лінійну залежність зміни розмірів зразка з підвищенням температури. Розрахований коефіцієнт термічного розширення за температур 22 – 1200 °С, знаходиться в межах  $7,72 - 8,79 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . Потрібно зазначити, що при 842 °С спостерігається різка зміна відносного видовження.

Були визначені значення твердості за Віккерсом (33-34 ГПа), тріщиностійкості ( $3,9 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ) та досліджений коефіцієнт термічного розширення в температурному інтервалі 22 – 1600 °С, який становить  $7,72 - 8,79 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .

Література:

1. Y. Waku, N. Nakagawa, T. Wakamoto, H. Ohtsubo, K. Shimizu, and Y. Kohtoku, *Nature*, 389: 49 (1997).
2. I. Bogomol, T. Nishimura, O. Vasylykiv, Y. Sakka, P. Loboda. Microstructure and high-temperature strength of  $B_4C$ - $TiB_2$  composite prepared by a crucibleless zone melting method, *J. Alloys Compd.*, 2009, vol. 485, nos. 1-2, pp. 677-681. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.06.044>
3. G.R. Anstis P. Chantikul B.R. Lawn D.B. Marshall. A Critical Evaluation of Indentation Techniques for Measuring Fracture Toughness: I, Direct Crack Measurements, *J. Am. Ceram. Soc.*, 1981, vol. 64, no. 9, pp. 533-538. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1981.tb10320.x>
4. M. I. Upatov, E. R. Abdullaieva, V. V. Bolbut, Yu. I. Bogomol. Structure and Properties of Directionally Solidified Alloy of  $B_4C$ - $TaB_2$ - $SiC$  System, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 2020, vol. 42, no. 12, pp. 1701-1713. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.12.1701>
5. R. Tu, N. Li, Q. Z. Li, S. Zhang, T. Goto & L. M. Zhang. Preparation of  $B_4C$ - $ZrB_2$ - $SiC$  ternary eutectic composites by arc melting and their properties, *Mater. Res. Innovations*, 2015, vol. 19, no. 10, pp. 26-29. DOI: <https://doi.org/10.1179/1432891715Z.0000000002079>
6. W. Li, R. Tu, T. Goto. Preparation of directionally solidified  $B_4C$ - $TiB_2$ - $SiC$  ternary eutectic composites by a floating zone method and their properties, *Mater. Trans.*, 2005, vol. 46, no. 9, pp. 2067-2072. DOI: <https://doi.org/10.2320/matertrans.46.2067>
7. K. Sairam, J.K.Sonber, T.S.R.Ch. Murthy, C. Subramanian, R.C. Hubli, A.K.Suri. Development of  $B_4C$ - $HfB_2$  composites by reaction hot pressing, *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, vol. 35, pp. 32-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2012.03.004>
8. W.G. Fahrenholtz, G.E. Hilmas, I.G. Talmy, J.A. Zaykoski. Refractory Diborides of Zirconium and Hafnium, *J. Am. Ceram. Soc.*, 2007, vol. 90, no. 5, pp. 1347-1364. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.01583.x>