

**Д. А. Стратійчук\*, Л. М. Девін, С. В. Ричев,  
В. З. Туркевич, Ю. Ю. Румянцева**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля,  
НАН України, м. Київ, Україна

\*d\_strat@ukr.net

## **Вплив мікрОВОЛОКОН $wSiC$ та $wSi_3N_4$ на динамічну границю міцності під час розтягування для cBN-композитів групи VL**

*Розглянуто вплив мікрОВОЛОКОН  $wSiC$  та  $wSi_3N_4$  на динамічну границю міцності під час розтягування ( $R_m^d$ ) для надтвердих cBN-композитів групи VL, що отримані в системах cBN–NbN–Al і cBN–NbN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Продемонстровано, що  $R_m^d$  має діапазон значень від 182 до 333 МПа та залежить від природи наповнювача. Відмічено, що добавка до вихідної шихти мікрОВОЛОКОН  $wSiC$  підвищує  $R_m^d$  спеченої кераміки в середньому на 10–15 %, водночас присутність Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> призводить до деякого зменшення міцності матеріалу.*

**Ключові слова:** мікрОВОЛОКНА  $wSiC$  та  $wSi_3N_4$ , динамічна границя міцності під час розтягування, cBN-кераміка VL-групи, високі тиски, твердість.

Керамічні композити на основі cBN інтенсивно досліджують з 1960-х років минулого століття, що обумовлено в багатьох випадках неможливістю повноцінно замінити даний клас надтвердих різальних матеріалів на інші види вже відомих інструментальних керамік [1]. Одним із способів покращення експлуатаційних характеристик матеріалів, що містять cBN-матрицю, є вибір зв'язок, які використовують безпосередньо під час НРНТ-спікання надтвердих заготовок. Композити, які відносять до VL-групи у своєму складі містять лише 45–65 %<sup>1</sup> cBN-фази, інша частина матеріалу – це, як правило, високоплавкі карбіди або нітриди перехідних металів. [2]. Однією із причин використання таких зв'язок-наповнювачів є висока хімічна спорідненість cBN до компонентів високолегованих сталей, що призводить до низької стійкості інструменту під час металообробки. Додавання до структури більш інертних компонентів (TiC, TiCN, VC, TiN) значно покращує експлуатаційні характеристики різальної кераміки, але з іншого боку призводить до падіння міцності, твердості та тріщиностійкості [3]. Відомо, що загальну світову практику додавання мікрОВОЛОКОН на базі тугоплавких сполук задля армування ріжучої кераміки доволі успішно застосовують для отримання cBN-композитів VL групи (матеріал CBN170). Керамо-матричні композити VL групи зазвичай використовують під час чистої металообробки в режимах неперервного або напівнеперервного точіння за швидкостей різання до 500 м/хв. Відсутність значних ударних навантажень під час їхньої експлуатації не висуває значних вимог до міцнісних характеристик різальної кераміки, і тому на сьогодні такі дані слабо досліджено. В [4] авторами вже були проведені вимірювання динамічної границі міцності під час розтягування ( $R_m^d$ ) для кар-

<sup>1</sup> Тут і далі склад матеріалів приведено в % (за об'ємом).

бідовмісних BL-композитів, отримані дані свідчили, що композити даного класу мають високі показники  $R_m^d$  (271–378 МПа) та значною мірою не поступаються ВН-композитам, які містять до 95 % cBN і здатні витримувати важкі динамічні навантаження під час металообробки.

В рамках даної роботи різальні пластини, що були готові до випробування, спечено за НРНТ-технологією в апараті високого тиску типу “тороїд-30” за температури 2000 °С. Загалом отримано чотири типи кераміки з віскерсами в системах cBN–NbN–wSiC, cBN–NbN–wSiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, cBN–NbN–wSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, cBN–NbN–wSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, також окремо для порівняння виготовлено пластини в системі cBN–NbN–Al (60:35:5 %). Вся вихідна шихта містила однакову кількість cBN, а саме 60 %, кількість Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, як і доданих віскерсів wSiC, wSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, складала 10 %. Застосовані режими спікання та розроблена методика приготування шихти дозволила зберегти голчасту структуру віскерсів, а також отримати керамічні продукти із однорідною структурою, де середній розмір зерен складових фаз не перевищував 5 мкм. Вибір саме даних об’єктів для дослідження пов’язаний із їхніми високими експлуатаційними характеристиками, які були попередньо отримані авторами [5], зокрема під час перерваного повздовжнього точіння інструментальної загартованої сталі 107WCr5 (з твердістю 62 HRC) за швидкості металообробки 200 м/хв, за такої умови лінійний знос різальної кромки не перевищував 40 мкм.

В представленому повідомленні наведено результати вимірювання  $R_m^d$  для керамічних пластин RNGN 090300T ( $\varnothing = 9,52$  мм,  $h = 3,18$  мм). Тестування проведено за динамічного навантаження згідно методики СТП 90.1270–92 [6] на вертикальному копрі за швидкості навантаження 3–5 м/с. Значення динамічної границі міцності під час розтягування розраховували за формулою  $R_m^d = 2P_{кр}/(\pi dt)$ , де  $P_{кр}$  – руйнівне навантаження;  $d$  – діаметр зразка;  $t$  – товщина зразка. Результати вимірювань та деякі додаткові характеристики надтвердої кераміки наведено в таблиці. Окремо в нижніх рядках таблиці представлено комерційну кераміку груп BL та ВН. Матеріал CBN100 випускає фірма SECO, а кераміка із торговою маркою Borsinit є власною запатентованою розробкою Інституту надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

### Твердість, модуль Юнга, руйнівне навантаження та значення $R_m^d$ для отриманої cBN-кераміки

Система	Твердість, HV10, ГПа	Модуль Юнга, ГПа	$P_{кр}$ , кН	$R_m^d$ , МПа
cBN–NbN–Al	27,3	680±10	13,36	279
cBN–NbN–wSiC	28,1	640±10	15,8	333
cBN–NbN–wSiC–Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,7	630±10	14,53	304
cBN–NbN–wSi <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	30,5	590±10	12,5	261
cBN–NbN–wSi <sub>3</sub> N <sub>4</sub> –Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,4	570±10	8,8	182
cBN–TiC–Al (CBN100*)	33,2	610±10	17,15	378
cBN–Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (Borsinit**)	42,7	860±10	17,82	360

\*CBN100 – комерційний матеріал групи BL, що містить 60 % cBN.

\*\*Borsinit – комерційний матеріал групи ВН, що містить 97 % cBN.

Наведені дані свідчать, що армування мікрОВОлокнами wSiC підвищує показники  $R_m^d$  в середньому на 10–15 % в порівнянні з базовою системою cBN–NbN–Al, однак вони дещо нижчі від  $R_m^d$  матеріалу групи ВН, який містить до 97 % cBN, або композита CBN100. Все це вказує на значну залеж-

ність динамічної границі міцності під час розтягування від мікроструктурних особливостей матеріалу, а також природи наповнювача cBN-матриці.

Зниження значення  $R_m^d$  для оксидної кераміки може бути пов'язано з більш розвиненою морфологією  $Al_2O_3$  у порівнянні з неоксидною, а також з більше інтенсивними силами міжмолекулярної взаємодії на межі поділу волокно–волокно, ніж на межі “волокно–матриця”, звідси дається і висока ступінь крихкості самого оксиду алюмінію.

Отже, найбільш перспективною добавкою для даних систем слід вважати саме мікроволокна wSiC. Однак практично всі досліджені cBN-композити є матеріалами з високими фізико-технічними характеристиками, в тому числі  $R_m^d$ , і загалом є перспективними кераміками інструментального типу навіть в умовах експлуатації точіння з ударом.

## ФІНАНСУВАННЯ

Роботу виконано за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України за договором № РН 14-2023 від 24.05.2023 на виконання НТР “Розробка нових надтвердих композиційних матеріалів на основі кубічного нітриду бору для робочих елементів різального інструменту нового покоління”.

D. A. Stratiichuk, L. M. Devin, S. V. Richev, V. Z. Turkevich,  
Y. Y. Rumiantseva  
Bakul Institute for Superhard Materials,  
National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
Dynamic tensile strength of ceramic-matrix composites  
of the BL group, which are obtained in the cBN–carbide–Al  
systems

*The effect of wSiC and wSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub> whiskers on the dynamic tensile strength ( $R_m^d$ ) for superhard cBN composites of group BL obtained in the systems cBN–NbN–Al and cBN–NbN–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. It is demonstrated that the  $R_m^d$  value has a range of values from 182 to 333 MPa and depends on the nature of the filler. It is noted that the addition of wSiC whiskers to the initial charge increases the  $R_m^d$  of sintered ceramics by an average of 10–15 %, while the presence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> leads to a weakening of the material.*

**Keywords:** whiskers wSiC and wSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, dynamic tensile strength, superhard cBN ceramics, BL group ceramic matrix composites, HPHT sintering.

1. Cook M.W., Bossom P.K. Trends and recent developments in the material manufacture and cutting tool application of polycrystalline diamond and polycrystalline cubic boron nitride. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2000, Vol. 18. P. 147–152.
2. Diniz A.E., de Oliveira A.J. Hard turning of interrupted surfaces using CBN tools. *J. Mater. Process. Technol.* 2008. Vol. 195. P. 275–281.
3. M. Peicheng, C. Jiarong, Z. Zhe, C. Chao, P. Xiaoyi, X. Leyin, L. Feng The effect of cBN volume fraction on the performance of PCBN composite. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2021. Vol. 100, art. 105643.
4. Stratiichuk D.A., Devin L.M., Richev S.V., Turkevich V.Z. Dynamic tensile strength limit of BL-group ceramic matrix composites synthesized in the cBN–carbide–Al system. *J. Superhard Mater.* 2024. Vol. 46, no. 1. P. 93–95.
5. Rumiantseva Y., Melnichuk I., Garashchenko V., Zaporozhets O., Turkevich V., Bushlya V. Influence of cBN content, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> additives and their morphology on microstructure, properties, and wear of PCBN with NbN binder. *Ceram. Int.* 2020. Vol. 46, no. 14. P. 22230–22238.
6. Devin L.N. Peculiarities of determining the physico-mechanical characteristics of brittle materials on small-sized specimens. *Strength Mater.* 2018. Vol 50. P. 909–917.

Надійшов до редакції 24.04.24

Після доопрацювання 24.04.24

Прийнятий до опублікування 26.04.24