

УДК 621.921.343

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

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

*d_strat@ukr.net

Динамічна границя міцності в разі розтягу керамоматричних композитів групи VL, отриманих в системах cBN–карбід–Al

Досліджено динамічну границю міцності під час розтягування R_m^d надтвердих керамічних матеріалів групи VL, отриманих НРНТ спіканням в системах cBN–TiC–Al, cBN–TiCN–Al, cBN–TiC–WC–Al, cBN–Ti₄WC₅–Al, cBN–NbC–Al. Показано, що значення R_m^d для даних композитів знаходиться в межах 271–378 МПа, що є цілком достатнім для їхнього використання для різального інструменту під час металообробки.

Ключові слова: динамічна границя міцності під час розтягування, надтверда cBN кераміка, керамоматричні композити VL-групи, НРНТ спікання.

Успішне промислове застосування надтвердих дрібнозернистих керамоматричних cBN композитів VL-групи під час високошвидкісної фінішної обробки легованих сталей вказує на значний потенціал даних матеріалів [1]. У нещодавніх публікаціях [2, 3] показано перспективність використання тугоплавких карбідів перехідних металів як наповнювачів cBN-матриці та створення ефективної різальної надтвердої кераміки, зокрема для обробки суперсплавів типу Inconel 718 або нержавіючих сталей AISI 316L, Caldie (Uddeholm AB). Однак серед доступного різноманіття фізико-технічних характеристик для подібного роду керамоматричних матеріалів практично відсутні дані щодо динамічної границі міцності. Одним із пояснень може бути той факт, що значну частину cBN-матеріалів групи VL використовують під час чистового фінішного точіння, де, як вважають, загальна міцність кераміки не є вирішальним фактором, а стійкість ріжучої кромки та довговічність інструментів визначається переважно хімічним зносом між поверхнями тертя.

В даному повідомленні представлено результати вимірювання динамічної границі міцності R_m^d під час розтягування для різальних керамічних пластин

розмірами $d = 9,52$ мм, $h = 3,18$ мм (RNGN 090300T). Значення R_m^d для зразків такої кераміки у разі динамічного навантаження визначено за методикою СТП 90.1270–92 на вертикальному копрі за швидкості навантаження 3–5 м/с. Динамічну границю 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 [4]. Пластини, що досліджували, було отримано в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України за допомогою апарата високого тиску типу “тороїд-30” під час НРПТ спікання мікропорошків в системах: cBN–TiC–Al, cBN–TiCN–Al, cBN–TiC–WC–Al, cBN–Ti₄WC₅–Al, cBN–NbC–Al, співвідношення вихідних компонентів відповідало матеріалам BL-групи, а саме 60:35:5 % (за об’ємом), а умови отримання були наступними: $p = 7,7$ ГПа, $T_{сп} = 1800–2150$ °С, час – 45 с. Завдяки вибраним режимам термобаричного спікання вдалося отримати практично безпористі, структурно дрібнозернисті ($d \sim <1–5>$ мкм) керамічні зразки, з яких було виготовлено високоякісні різальні пластини з гострою ріжучою кромкою. У даному разі вибір для тестування вищезазначених керамоматричних композитів пов’язаний з попередніми лабораторними випробуваннями їхньої різальної здатності під час високошвидкісного (300 м/хв) точіння загартованих нержавіючих сталей типу AISI 316L, де було отримано високі показники стійкості різальних пластин. В таблиці для матеріалів, що досліджували, наведено модуль Юнга (окремо виконані ультразвукові дослідження), значення руйнівного навантаження $P_{кр}$ і динамічної границі міцності під час розтягування R_m^d . Перший матеріал в переліку зі значенням $R_m^d = 378$ МПа є аналогом відомого комерційного продукту, що випускає фірма SECO під торговою маркою CBN100.

Модуль Юнга, руйнівне навантаження та значення R_m^d для досліджуваної надтвердої кераміки

Система	Модуль Юнга, ГПа	$P_{кр}$, кН	R_m^d , МПа
cBN–TiC–Al (CBN100)	610±10	17,15	378
cBN–TiCN–Al	580±10	13,51	283
cBN–Ti ₄ WC ₅ –Al	630±10	17,96	376
cBN–TiC–WC–Al	650±10	14,76	309
cBN–NbC–Al	640±10	12,96	271
cBN–Si ₃ N ₄ (Borsinit*)	860±10	17,82	360

*Borsinit – матеріал групи ВН, що містить 97 % (за об’ємом) cBN.

Як видно з даних таблиці, всі отримані значення R_m^d знаходяться в межах 271–378 МПа, що є досить високими показниками як для слабонаповнених cBN композитів BL групи. Для порівняння приведено дані для ВН кераміки (торгова марка Borsinit), яка є високонаповненим cBN композитом із модулем Юнга 860 ГПа, що успішно працює у разі точіння загартованих сталей з уда-ром.

Отже, значення R_m^d для даних систем визначає не стільки вміст cBN у композиті, скільки особливості міжфазної взаємодії, зернограничні ефекти та міцності міжзерених границь. Всі досліджені керамоматричні композити є високомодульними матеріалами з характеристиками R_m^d , які цілком задовольняють вимоги до металооброблювального інструменту, в тому числі під час точіння загартованих високолегованих сталей та сплавів.

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
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 work investigated the dynamic limit of tensile strength R_m^d of superhard ceramic materials of the BL group obtained during HPHT sintering in the systems: cBN-TiC-Al, cBN-TiCN-Al, cBN-TiC-WC-Al, cBN-Ti₄WC₅-Al, cBN-NbC-Al. It is shown that the value of R_m^d for these composites is in the range of 271–378 MPa, which is quite sufficient for their use as ceramics for cutting tools during metalworking.

Keywords: dynamic tensile strength, superhard cBN ceramics, BL group ceramic matrix composites, HPHT sintering.

1. Bushlya V., Gutnichenko O., Zhou J., Avdovic P., Ståhl J.-E. Effects of cutting speed when turning age hardened Inconel 718 with PCBN tools of binderless and low-CBN grades. *Mach. Sci. Technol.* 2013. Vol. 17, no. 4. P. 497–523.
2. Stratiichuk D.A., Slipchenko K.V., Turkevich V.Z., Belyavina N.M., Bushlya V.M., Ståhl J.-E. Sintering of superhard cBN-based materials with Ti₄WC₅. *J. Superhard Mater.* 2020. Vol. 42, no. 6. P. 371–376.
3. Slipchenko K., Bushlya V., Stratiichuk D., Petrusha I., Can A., Turkevich V., Ståhl J.-E. Multicomponent binders for PcBN performance enhancement in cutting tool applications. *J. Eur. Ceram. Soc.* 2022. Vol. 42. P. 4513–4527.
4. 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 04.09.23

Після доопрацювання 13.09.23

Прийнятий до опублікування 15.09.23