

УДК621.762.5

**М. П. Беженар**, докт. техн. наук; **О. О. Шульженко**, член-кор. НАН України;  
**В. М. Боженок**, інж.; **С. А. Божко**, **П. А. Нагорний**, кандидати техн. наук

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

### **НОВА ПРОДУКЦІЯ PCBN – СВЕРДЛА З ДВОШАРОВОГО КОМПОЗИТА КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ**

*It is developed new PCBN – a two-layer composite of cubic boron nitride with a substrate of cemented carbide. Properties of a working layer a composite – high hardness, fracture strength and an electrical conductivity in a combination to necessary geometry sintered in HPA preparations, have provided manufacturing of complex contour profile the tool.*

#### **Вступ**

В номенклатурі інструментальних матеріалів на основі кубічного нітриду бору (PCBN) відомих світових фірм є одношарові ріжучі пластини і двошарові пластини, які отримують спільним спіканням шару КНБ із твердосплавною підкладкою. Такі фірми, як «Element Six», «Megadiamond», «Sumitomo Electric», випускають двошарові пластини згідно з стандартами ISO діаметром від 6,35 до 50,8 мм (від ¼ до 2-х дюймів), а загальна товщина пластини з твердосплавною підкладкою становить 3,18 або 6,35 мм (1/8–1/4 дюйма), товщина ріжучого шару КНБ не перевищує 1–1,5 мм. Зазвичай складний фасонний ріжучий інструмент – свердла, зенкера, розвертки – виготовляються з застосуванням паяння. На Міжнародному ярмарку METAV 2006 (20–24 червня 2006 р., Дюссельдорф, ФРН) близько 20 фірм представили нові складні фасонні інструменти PCD і PCBN. Серед них розвертки діаметром 15–32 мм фірми «Maral», свердла діаметром <8,5 мм фірми «Kennametal» та інші подібні інструменти, в конструкції яких закріплені паянням від 1 до 6 робочих елементів з PCBN або PCD. Про розвертки діаметром 10–25 мм фірми «August Beck & Co» сказано, що вони виготовлені не в звичайний спосіб паянням, а безпосередньо зі спеченого PCBN [1–3].

Технологічна база виробництва PCBN в ІНМ НАНУ була закладена розробкою способу двостадійного реакційного спікання КНБ із попереднім просоченням алюмінієм, що дозволило за знижених термобаричних параметрів спікання отримати матеріали з високими фізико-механічними характеристиками (киборит-2 і киборит-3). Знижені термобаричні параметри спікання дозволили використати розроблені в ІНМ НАНУ апарати високого тиску типу «ковадло з заглибленням» (КЗ-55–КЗ-80) зі збільшеним реакційним об'ємом (40–100 см<sup>3</sup>) і матрицями із загартованої інструментальної сталі замість твердосплавних. Завдяки таким науково-технологічним рішенням вперше в світовій практиці з полікристалічного КНБ в ІНМ було виготовлено елементи конструкцій кубічного і тетраедричного АВТ із робочими об'ємами від 1,2 до 80 мм<sup>3</sup>, які пройшли успішне випробування в наукових закладах США і ФРН [4].

Досягнуті результати по створенню виробів конструкційного призначення з композитів КНБ дозволили поставити завдання розробки нового інструментального матеріалу–композита з шаром КНБ, нероздільно з'єднаним із твердосплавною підкладкою спільним спіканням їх в АВТ, з отриманням заготовок загальною висотою 10–15 мм з висотою шару КНБ до 3 мм; в перспективі використання таких заготовок для виготовлення свердел без операції паяння.

Виготовлення профілю свердла співвісно висоті робочого шару PCBN є предметом пошуку для виробника інструменту, тому і потребує непередбаченої стандартами ISO геометрії заготовок, але, крім того, ставить вимоги до дисперсності структури, твердості і тріщиностійкості робочого шару. Можливість використання економічних операцій електроіскрового різання заготовок після спікання диктувала вимоги до певного рівня електропровідності

шару КНБ. Тому критерієм оптимізації фазового і гранулометричного складу шихти робочого шару, параметрів спікання, структури композита було обрано характеристики – твердість, тріщиностійкість, електропровідність.

Перші наші результати [5] показали принципову можливість отримання спіканням в АВТ композитів КНБ на твердосплавній підкладці з геометрією виробів, яка дозволить проектувати інструмент, що обертається. Було отримано заготовки двошарового композита діаметром до 25 мм, загальною висотою до 15 мм, з робочим шаром до 3 мм. Такі результати визначили напрямки подальших досліджень. Міцне з'єднання шару КНБ із твердосплавною підкладкою забезпечувалося вибором гранулометричного складу шихти робочого шару композита або перехідного шару. Цьому передувало дослідження умов масопереносу W і Co із твердосплавної підкладки, умов формування перехідної зони між нею і робочим шаром [6]. Було вивчено фактори, що впливають на характер зміни твердості та електропровідності в перетині через робочий шар і підкладку, фактори, що визначають можливість реалізації процесу електроіскрового різання, впливають на його параметри і продуктивність [7]. Оптимізацію хімічного і гранулометричного складу шихти робочого шару для отримання необхідних фізико-механічних властивостей і електропровідності композита КНБ було виконано в багатофакторному експерименті [8].

В даній роботі коротко представлено новий композиційний матеріал – основні принципи його створення, загальні характеристики структури, фізико-механічні властивості, електропровідність, а також геометрію інструменту, особливості його виготовлення та випробування.

### Новий композит кубічного нітриду бору інструментального призначення

Розробка складу шихти для отримання електропровідного і тріщиностійкого матеріалу на основі КНБ – робочого шару двошарових пластин ґрунтувалася на світовому досвіді використання в шихті з КНБ до 50-55 % тугоплавких сполук (TiC, TiN). Експериментально було доведено, що така шихта не забезпечує потрібного рівня тріщиностійкості робочого шару за його товщини 2–3 мм, руйнування йде міжкристалітно. Умови реакційного спікання з Al сприяли модифікації поверхні зерен cBN і TiC та активації дислокаційних механізмів пластичної деформації з деформаційним зміцненням структури кожної із фаз – cBN і TiC, що призвело до підвищення тріщиностійкості і опору абразивному зносу матеріалу.

Електропровідний композит системи cBN–TiC–Al містить надтверду неелектропровідну фазу cBN і 26 % за об'ємом електропровідних фаз (TiC, AlB<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>), що утворюють матричну структуру (рис. 1).

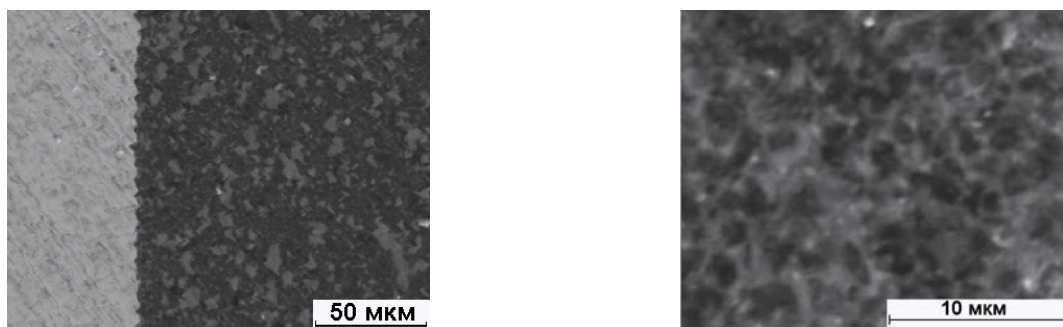
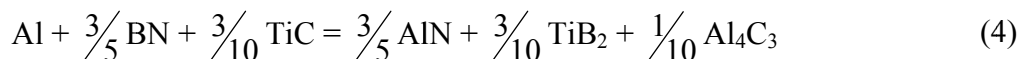
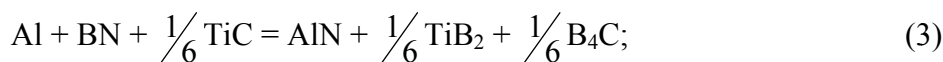
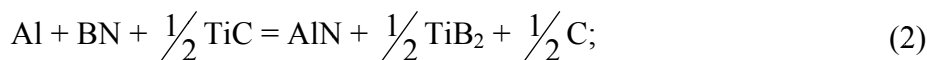


Рис. 1. Електронно-мікроскопічне зображення структури композита системи cBN–TiC–Al ( автор – інженер С. В. Ткач)

Композит отримують реакційним спіканням за високих  $p, T$ -параметрів. Під час спікання реалізуються термодинамічні та кінетичні умови для зсуву напрямку реакційної взаємодії вбік утворення електропровідних диборидів алюмінію і титану замість неелектропровідних боридних фаз AlB<sub>12</sub>, AlB<sub>10</sub> (1–4).





Як показують результати рентгенофазового аналізу, реакції (1–4) проходять одночасно і в продуктах хімічної взаємодії спостерігаються не чисті сполуки AlN; AlB<sub>2</sub>; TiB<sub>2</sub>; B<sub>4</sub>C; Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, а тверді розчини і складніші потрійні сполуки (Ti<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>B<sub>2</sub>; Al<sub>3</sub>BC; Al<sub>x</sub>C<sub>y</sub>N (nAlN·Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>)).

Поєднання фаз високої твердості (сBN, TiC) із дрібнодисперсними продуктами реакційної взаємодії (AlN, AlB<sub>2</sub>, TiB<sub>2</sub>), розташованими на міжфазних границях, забезпечило твердість і тріщиностійкість композита на рівні неелектропровідних композитів системи сBN–Al.

Аналіз усіх факторів впливу на твердість електропровідних композитів сBN дозволив зробити висновок, що найбільш значимими є фазовий склад композита і дисперсність вихідних порошків сBN, з якою пов'язаний резерв деформаційного зміцнення структури. Аналіз факторів впливу на електропровідність показав значимий вплив кількісного вмісту електропровідних фаз у композиті і дисперсності не тільки порошків сBN, а й тугоплавкої сполуки. Тріщиностійкість композитів сBN не є незалежною характеристикою, вона корелює з твердістю.

На рис. 2 показано обернену лінійну залежність між твердістю і тріщиностійкістю неелектропровідних композитів системи сBN–Al, на ній виділено позначками властивості кибориту-1 і кибориту-2. Електропровідні композити фірми «Element Six» не мають у складі сполук Al. DBC50 (сBN–TiC) і DCN450 (сBN–TiN) при значеннях твердості, близьких із твердістю нового розробленого нами композита, мають значно нижчу в'язкість руйнування.

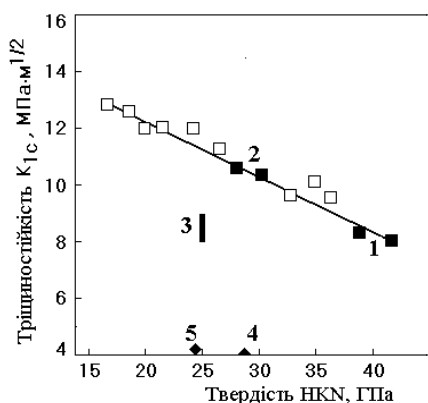


Рис. 2. Кореляція між тріщиностійкістю і твердістю в композитах КНБ: 1 – киборит-1; 2 – киборит-2; 3 – новий композит КНБ (ІНМ НАН України); 4 – DBC50; 5 – DCN-450 («Element Six»)

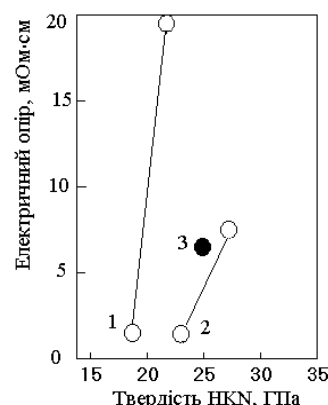


Рис. 3. Твердість і електропровідність в дослідних зразках композитів КНБ різного складу: 1 – система сBN–TiN–Al; 2 – система сBN–TiC–Al; 3 – новий композит КНБ.

На рис. 3 показано область, в якій змінювалися твердість і електропровідність досліджених нами композитів систем сBN–TiC–Al і сBN–TiN–Al при різному вмісті електропровідних компонентів, їх дисперсності і т.і. В ріжучому шарі кращих дослідних зразків на твердосплавній підкладці, де було досягнуто максимальної твердості за мінімальної дисперсії її значень (Hk=25,0±0,2 ГПа; HV=27,0±0,8 ГПа) тріщиностійкість становила 8–9 МПа м<sup>1/2</sup>. Для таких зразків електричний опір становив (6,5±0,8) МОм·см (позначка 3 на рис. 2 і 3).

Продукт спікання в АВТ у вигляді виробу діаметром >25 мм, загальною висотою 10–15 мм із шаром товщиною ≥3 мм електропровідного тріщиностійкого композита КНБ і твердосплавною підкладкою є продукція РСВН, яка не має аналогів.

Механічна обробка поверхні заготовок після спікання (округлення, плоске шліфування) виконувалася алмазним інструментом, для порізки заготовок свердел було залучено методи електроіскрової обробки. Продуктивність електроіскрового різання залежно від товщини шару КНБ складала  $1,5\text{--}2\text{ мм}^2/\text{хв}$ .

#### Свердла з двошарового композита КНБ.

Для виготовлення свердел використовувалися заготовки двошарового композита КНБ діаметром 4,5 мм, загальною висотою 10 мм і висотою шару КНБ 4 мм. Для заточки використовувалися алмазні круги. На рис. 4 показано фотографії свердел.

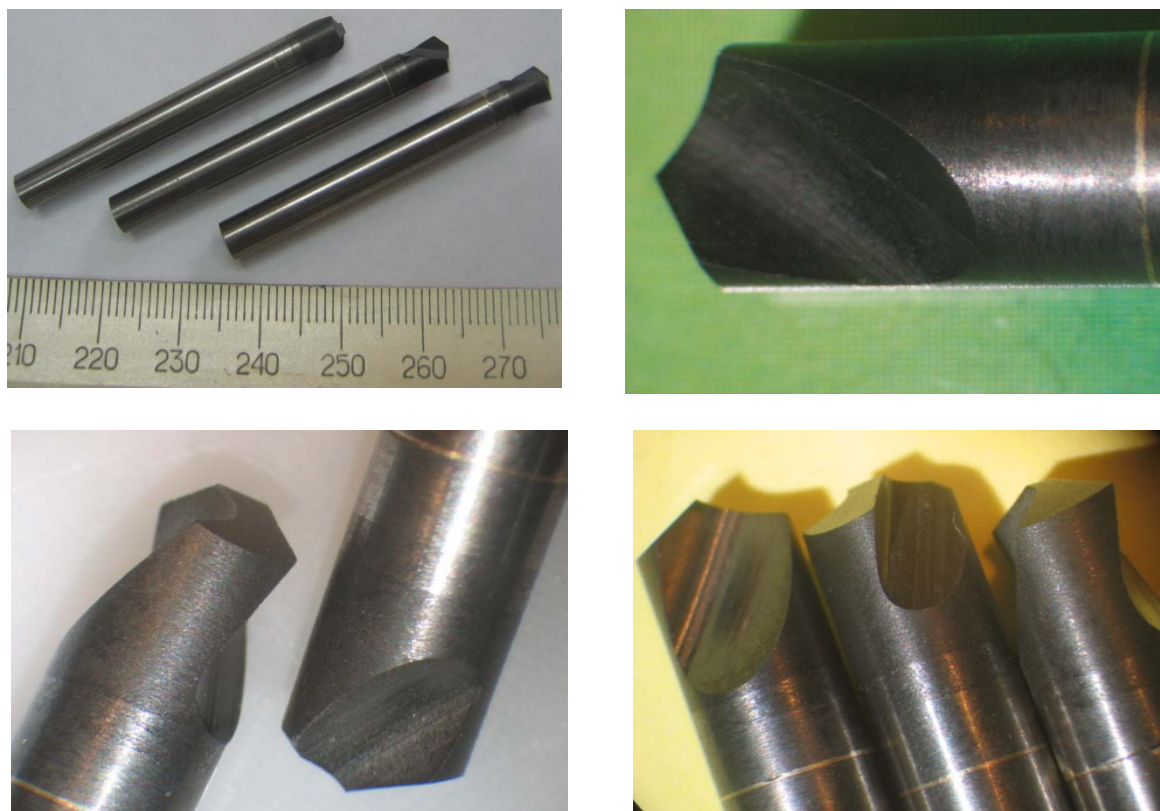


Рис. 4. Свердла з нового композита з робочим шаром КНБ, геометрія в різних ракурсах.

Технологічна послідовність під час виготовлення свердел була такою: заготовка з двошарового композита КНБ висотою 10 мм і діаметром 5 мм припаювалась до твердосплавної державки (ВК6) діаметром 5 і висотою 35 мм з використанням срібного припою. Одержану заготовку округлювали з використанням алмазних кругів до діаметра 4,5 мм і виконали заточку ріжучої частини інструменту; кути заточки і гвинтові канавки для сходу стружки відповідали таким, як для цільних свердел із твердосплавного інструменту (тип Coromant Delta-C, каталог фірми «Sandvic Coromant»).

Випробування інструменту виконувалося на фрезерному верстаті моделі 676 виробництва «Іркутського заводу фрезерних станков» в процесі свердління заготовки – листа за товщини 2 мм із стеклотекстоліту конструкційного (ГОСТ 10292–84). Режим свердління: швидкість – 2000 об/хв (0,4 м/с), максимальна для даного верстата, подача 0,05 мм/об. За таких режимів було виконано 1000 отворів у заготовці стеклотекстоліту, при цьому на ріжучій кромці свердла зносу не виявлено.

Варто зазначити, що вказані режими свердління не були оптимальними для даного інструмента. В модельних експериментах під час точіння загартованої сталі ХВГ такими було названо швидкість 0,5–3 м/с (виконав канд. техн. наук М. Є. Стахнів). В табл. 1 показано реко-

мендовані режими свердління твердосплавними свердлами фірми «Sandvic Coromant», згідно з якими швидкості різання загартованих сталей мають складати 1,5–3 м/с, чавунів – 2–5 м/с, тобто бути вищими за ті, на яких проводились випробування в умовах наявного обладнання.

Таблиця 1. Рекомендовані режими різання для свердел класу U зі змінними непереточуючими пластинами з твердого сплаву типу R416.2 (діаметром 12,7 – 17,0 мм) і гвинтовими канавками (Каталог фірми «Sandvic Coromant»)

Матеріал, що обробляється	Твердість, НВ	Режими різання	
		Подача, мм/об	Швидкість, м/хв
Високолегована загартована сталь	220–450	0,04–0,10	80–130
Жароміцні сплави на основі нікелю	140–425	0,03–0,08	20–80
Сірий чавун високої міцності на розтяг	200–330	0,04–0,10	125–210
Чавун з шароподібним графітом	125–300	0,04–0,10	110–195

### Література

1. Jennings M. Tooling innovations on display at METAV// Industrial Diamond Review. – № 3, 2006. – Р. 21–23.
2. Steidle H. PCBN tooling systems break new ground in hard turning, milling and reaming// Industrial Diamond Review. –№ 3, 2006. – Р. 66–67.
3. Kuhli E. Over 30 % time saving with PCBN cutters in mould manufacture // Industrial Diamond Review. – №1, 2005. – Р. 37–38.
4. Новиков Н. В., Шульженко А. А., Беженар Н. П. и др. Поликристаллические материалы на основе кубического нитрида бора // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. научн. тр. — К.: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 122–128.
5. Шульженко А. А., Беженар Н. П., Божко С. А. и др. Новый композит КНБ для использования в сложнопрофильном лезвийном инструменте //Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн. тр. – Вып. 7. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, 2004. – С. 173–176.
6. Шульженко А. А., Беженар Н. П., Ткач С. В. и др. Формирование структуры и твердости композитов кубического нитрида бора при реакционном спекании на твердосплавной подложке // Сверхтв. материалы, 2005. – № 3. – С. 3–13.
7. Ткач С. В., Шульженко А. А., Беженар Н. П. и др. Электропроводность композитов кубического нитрида бора на твердосплавной подложке и возможности их электроискрового резания СТМ // Сверхтв. материалы, 2006. – № 1. – С. 6–24.
8. Беженар Н. П., Божко С. А., Романко Л. А., Белявина Н. Н. Твердость и электрическое сопротивление композитов системы cBN–Al–TiC (TiN), полученных реакционным спеканием при высоком давлении // Сверхтв. материалы, 2006. – № 3. – С. 34–43.

Поступила 26.06.07.