

**Андрій Манохін¹, Сергій Клименко², Сергій Клименко³, Марина Копейкіна⁴,
Юрій Мельнійчук⁵, Анатолій Чумак⁶, Валерій Кременецький⁷, Віктор Новіченко⁸,
Наталія Новиченко⁹, Андрій Филипович¹⁰**

¹кандидат технічних наук, старший дослідник,
старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: the.manokhin@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>
ResearcherID: [DGN-4506-2022](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482). **SCOPUS Author ID:** [37059129600](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482)

²доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: atmu@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>
ResearcherID: [Q-8928-2019](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771). **SCOPUS Author ID:** [57221904325](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771)

³кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: alcon1202@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>
ResearcherID: [FFQ-3675-2022](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519). **SCOPUS Author ID:** [57197629303](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519)

⁴кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: atmu1@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-5503>
ResearcherID: [FZY-5450-2022](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503). **SCOPUS Author ID:** [36337661400](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503)

⁵кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: en22@i.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4529-2775>. **SCOPUS Author ID:** [57193381972](https://orcid.org/0000-0003-4529-2775)

⁶кандидат технічних наук,
науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)
E-mail: chumak1826ar@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9054-3196>
Researcher ID: [AEK-3163-2022](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196). **SCOPUS Author ID:** [58162161100](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196)

⁷кандидат фізико-математичних наук,
завідувач відділу «Електронно-зондових досліджень багатофункціональних матеріалів»
Технічний центр НАН України (Київ, Україна)
E-mail: krem@nasu.kiev.ua. **SCOPUS Author ID:** [15842226600](https://orcid.org/0000-0002-5081-4216)

⁸науковий співробітник відділу «Електронно-зондових досліджень багатофункціональних матеріалів»
Технічний центр НАН України (Київ, Україна)
E-mail: vicnicnov13@gmail.com. **SCOPUS Author ID:** [55549106200](https://orcid.org/0000-0002-5081-4216)

⁹науковий співробітник відділу «Електронно-зондових досліджень багатофункціональних матеріалів»
Технічний центр НАН України (Київ, Україна)
E-mail: krem@nasu.kiev.ua

¹⁰науковий співробітник відділу «Фізико-хімічних основ формування надтвердих
та наноструктурних матеріалів процесу синтезу»
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України (Київ, Україна),
E-mail: bochechka@ism.kiev.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-5081-4216>

СТРУКТУРНИЙ СТАН КОМПОЗИТІВ, СПЕЧЕНИХ ІЗ ПОРОШКІВ cBN З ПОКРИТТЯМ ЗІ СПОЛУК Ti

Наведено результати досліджень структурного стану композитів, сформованих з порошків cBN із покриттями, отриманими зі сполук Ti CVD методом з використанням газотранспортної реакції. Визначено особливості та кількісні показники їх структури залежно від кількості Ti в складі покриття. Експериментально встановлено, що матриці отриманого композиту сформована субмікронними зернами TiN та TiB₂, а спікання порошку призводить до збільшення параметра кристалічної ґратки TiN у композиті на 10 %, розмір кристалітів фаз у межах окремих зерен при цьому зменшується, а деформація кристалічної ґратки зростає. При цьому також відбувається пересичення TiN азотом, а сформоване покриття суто зорієнтоване в напрямку (022).

Ключеві слова: покриття на зернах cBN; структура композиту; кристалічна ґратка; мікронапруження.
Рис.: 6. Бібл.: 6.

Актуальність теми досліджень. Надтверді композити на основі кубічного нітриду бору (сBN) є важливим компонентом сучасних високотехнологічних систем у машинобудівній промисловості, які дозволяють забезпечувати високу якість, точність та ефективність обробки самих важкооброблюваних конструкційних матеріалів. Світові тенденції в створенні таких інструментальних матеріалів спрямовані на розробку складних за структурою та технологією виготовлення композитів, застосування яких робить можливою реалізацію високошвидкісного різання при високій здатності чинити опір термотрибоактивованим механізмам зношування. Разом з тим необхідно відзначити, що керамічні складові-зв'язуючі в таких композитах зумовлюють певне обмеження їхніх фізико-хіміко-механічних властивостей, що зумовлює актуальність пошуку підходів до модифікації наявних та створення новітніх матеріалів для різальних інструментів. Вказане можливо реалізувати за рахунок міждисциплінарного підходу із застосуванням технологій формування різноманітних покриттів на складових компонентах матеріалів, визначення їхніх структурних особливостей і пов'язаних з цим властивостей для визначення оптимальних сфер використання.

Постановка проблеми. Фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів для різальних інструментів багато в чому визначаються їхнім хімічним складом та структурою. Підбір прекурсорів потрібного хімічного складу та зернистості, їх змішування механічними методами далеко не завжди дозволяють отримувати потрібний розподіл компонентів-наповнювачів та елементів матриці, яка виконує роль зв'язки. При цьому товщина прошарків матричних компонентів, що утворюються при спіканні сумішей, не повинна бути меншою, ніж розмір зерна відповідних компонентів.

Одним з підходів, що дозволяють досягти рівномірного розподілу складових компонентів в структурі матеріалів, а також регулювати товщину прошарків, є попереднє нанесення на порошки покриттів, товщина яких може варіюватися в широкому діапазоні – від десятків нанометрів до декількох мікрометрів. У процесі спікання, покриття на зернах основної компоненти композиту відіграє роль зв'язки, розподіленої на міжзеренних межах наповнювача.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На теперішній час розроблена гама різноманітних покриттів на порошки кубічного нітриду бору сBN з використанням різних хімічних сполук та створено багато методів їх формування. Високу ефективність виявлено у покриттів зі сполуками Ti.

У роботі [1] синтезовано різальний матеріал із порошків сBN з покриттям TiN. Порошки сBN з покриттям TiN були отримані методом рідкофазного осадження із TiF₄ як джерела Ti. Кристалічна фаза шару покриття TiO_x була перетворена в Ti₄O₇ і TiN шляхом спікання в атмосфері та відновлення у вакуумі. Потім він був повністю перетворений у фазу TiN. Шари покриття мали рівномірну товщину ~20–40 нм. Зносостійкість різального інструменту зі створеного композиту покриттям кубічного нітриду бору приблизно в чотири рази більша, ніж у різального інструменту, виготовленого з використанням чистого порошку сBN.

Для формування покриття на частинках сBN, яке при термічній обробці перетворюється в TiN, може бути використане попереднє осадження розпавленої солі титану [2].

Перспективними для нанесення на зерна сBN є склоподібні покриття, які можуть підвищити міцність утримання зерен сBN у композиті та підвищити міцність під час згинання, що підвищує ефективність використання інструментів із сBN при обробці з ударними навантаженнями.

З метою підвищення однорідності мікроструктури та збільшення міжфазної площі зерен, в роботі [3] порошки сBN були покриті нанокристалічним TiN за допомогою золь-гель методу, який не вимагає коригування рН та використання поверхнево-активних речовин або добавок. На поверхні зерен сBN шляхом реакцій гідролізу та конденсації ізо-

пропоксиду титану (IV) утворювався однорідний шар аморфного оксиду титану нанометрової товщини. При цьому, порошок cBN з аморфним покриттям був азотований до кристалічного cBN з нанокристалічним покриттям TiN, який рівномірно покривав поверхню частинок.

У [4] запропоновано використовувати порошки cBN із покриттям TiN, отримані за методикою [3]. Покриття кожного зерна cBN зв'язувальним матеріалом перед спіканням дає можливість отримати мікроструктуру з ідеальним розподілом фаз і, таким чином, забезпечує повну реакцію на межі розділу частинок cBN і сполучного матеріалу. Спостерігалися тонкі шари TiN, які в основному діють як межі розділу між сусідніми частинками cBN. Енергодисперсійна спектроскопія (EDS) для областей між частинками cBN показала піки Ti, які були найвищими за інтенсивністю. Виміряна ширина межі розділу – приблизно 50 нм.

Автори зауважують підвищення твердості для композитів, отриманих із порошків cBN з покриттям TiN, що пов'язано з тим, що для композитів, отриманих з порошків без покриття, характерне неефективне змішування зв'язуючого TiN з частинками cBN, що призводить до сегрегації фази TiN. У подальшому фаза TiN діє як м'які ділянки, що призводить до зниження твердості композиту. З іншого боку, мікроструктура композитів, виготовлених з порошків cBN, покритих TiN, є однорідною – TiN рівномірно розподілений у мікроструктурі, що означало відсутність м'якої фази, що є результатом агрегації TiN.

Зразки, спечені з порошку cBN з покриттям, мають вищі значення міцності при згинанні, ніж зразки з порошку cBN без покриття [4]. Через обмеження техніки механічного змішування зразки з порошком cBN без покриття призводять до неоднорідного розподілу зв'язуючого в матеріалі. Цей неоднорідний розподіл зв'язуючого залишив ділянки з великою кількістю зв'язків cBN-cBN. Частинки cBN, завдяки своїй надзвичайно високій міцності на стискання і стійкості до деформації, зазнали дуже незначної пластичної деформації під час спікання. Це призвело до утворення порожнеч або неповного ущільнення в областях із великими зв'язками cBN-cBN.

Дослідження зносостійкості інструментів, виготовлених із композитів на основі cBN із покриттям TiN, продемонстрували кращу зносостійкість по задній поверхні та меншу шорсткість поверхні заготовки при точінні загартованої сталі.

У статті [5] одержано надтвердий матеріал PcBN з однорідною структурою шляхом спікання при високому тиску порошків cBN, попередньо покритих Ti. Покриття наносили CVD методом із використанням газотранспортної реакції при температурі 1200–1300 К. Транспортними агентами виступали йодиди титану. Результати рентгеноструктурного дослідження порошків з покриттям показали, що їхній фазовий склад становлять cBN, TiN і TiB₂, тобто при осадженні відбувається хімічна взаємодія Ti з cBN. Згідно з даними розрахунків, товщина покриття на порошках KM3/2 становила 0,2 мм, а на порошках марки KM7/5 – від 0,23 до 1,06 мкм. У випадку використання порошків з більшою товщиною покриття зразки після спікання мали тріщини. Особливості структури композитів – відсутність контактів між зернами cBN, у складі зв'язки – субмікронні та нанорозмірні TiN і TiB₂, твердість композиту – 30 ГПа.

З метою підвищення ефективності різальних інструментів з PcBN на вихідні мікропорошки, які використовувались при спіканні композитів, у [6] наносилось покриття на основі титану. Порівняльні дослідження ефективності інструментів, виготовлених з використанням порошку із покриттям, продемонстрували зниження інтенсивності їх зношування при високошвидкісному різанні загартованої сталі у порівнянні з інструментом, оснащеним композитами PcBN, отриманими з порошків без покриттів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. З урахуванням наведеного вище, можна зробити висновок, що одним з ефективних напрямків підвищення властивостей матеріалів на основі cBN, а відповідно, і працездатності оснащених ними різальних інструментів, є керування структурою композитів за рахунок нанесення покриттів на вихідні порошки. Водночас відзначаємо, що в проаналізованих роботах недостатньо приділено уваги вивченню структурного стану композитів, сформованих з порошків cBN із покриттям, зокрема кількісним показникам їхньої структури залежно від кількості Ti.

Метою статті є вивчення структурного стану композитів, сформованих з порошків cBN із покриттям, визначення особливостей та кількісних показників їхньої структури залежно від кількості Ti у складі покриття.

Методика досліджень. З метою нанесення покриття використано метод CVD, який дозволяє отримати плівки з рівномірною товщиною на поверхнях складної форми. Перенесення металу реалізовано з використанням йодотранспортної реакції при температурах (1200–1300) К, яка забезпечує утворення на поверхнях зерен cBN продуктів реакції титану, що осаджується, з азотом N та бором. Покриття наносилося на порошки cBN марки KM 14/10, а також на суміш мікропорошків cBN марки KM зернистістю 2/1 та 14/10 та 1,5 % алюмінію Al зернистістю 28/20. Кількість титану, що використовувався в технологічному процесі осадження покриття на поверхню частинок порошку становив 3, 5 та 8 мас.% відповідно (KM 14/10) та 5 % (суміш порошків). З кожної експериментальної партії композитів виготовлено різальні пластини діаметром 7 мм та товщиною 3,18 мм.

Спінання порошків з покриттям проводилося в апараті високого тиску типу «тороїд-20» за тиску 7,0 ГПа і температурах 2300 К протягом 60 с.

Шліфи досліджуваних зразків виготовлювали поліруванням мікропорошками алмазу зернистістю 2/1 і 1/0.

Рентгенівські дослідження проводили за дифрактограмами, отриманими в дискретному режимі на апараті ДРОН-4 (випромінювання $\text{CuK}\alpha$, кутовий інтервал зйомки 20–84 $^\circ$, крок сканування 0,050, експозиція в кожній точці 3 с). Первинну обробку рентгенівських даних виконували методом повнопрофільного аналізу. Для проведення якісного та кількісного фазового аналізу, уточнення параметрів кристалічних ґраток ідентифікованих фазових складових, а також для визначення параметрів реальної структури фаз (розміру блоків когерентного розсіювання, мікродеформації кристалічної решітки, напружень I роду) використовували оригінальний програмний пакет, який включає до себе повний комплекс процедур Рітвельда.

Дослідження розподілу хімічних елементів проведено методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії на сканувальному електронному мікроскопі Tescan MIRA 3. Мікроскоп оснащено стандартним SE2-детектором вторинних електронів Еверхарта-Торнлі, детектором обернено розсіяних електронів (BS) та енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів XMaxN 80 (Oxford Instruments); програмним забезпеченням для аналізу зображень Automated AZtecEnergy.

Скануючу електронну мікроскопію проводили на мікроскопі JSM-6490LV з енергодисперсійним спектрометром INKA Energy 350XT, спектрометром з хвильовою дисп. INKA Wave 500 та системою реєстрації картин дифракції зворотнорозсіяних електронів HKL Channel 5 EBSD, JEOL Ltd.

Виклад основного матеріалу. Загальний вид структури композитів, сформованих із порошків cBN з покриттям cBN-3%Ti (а), cBN-5%Ti (б), cBN-8%Ti (в), зображено на рис. 1.

Як видно з наведених знімків, основний показник структури отриманих композитів – рівномірний розподіл керамічної матриці між зернами cBN, досягнутий за рахунок якісної інкапсуляції окремих зерен надтвердої фази у покритті. Ширина прошарків керамічної матриці композитів знаходиться в досить широкому діапазоні і становить 0,4–12 мкм. Найбільші розміри керамічні прошарки мають в області четвертих стиків – у цьому випадку вони перевищують розмір зерен cBN. При цьому, ширина зони між двома сусідніми частинками cBN на окремих ділянках становить < 1 мкм.

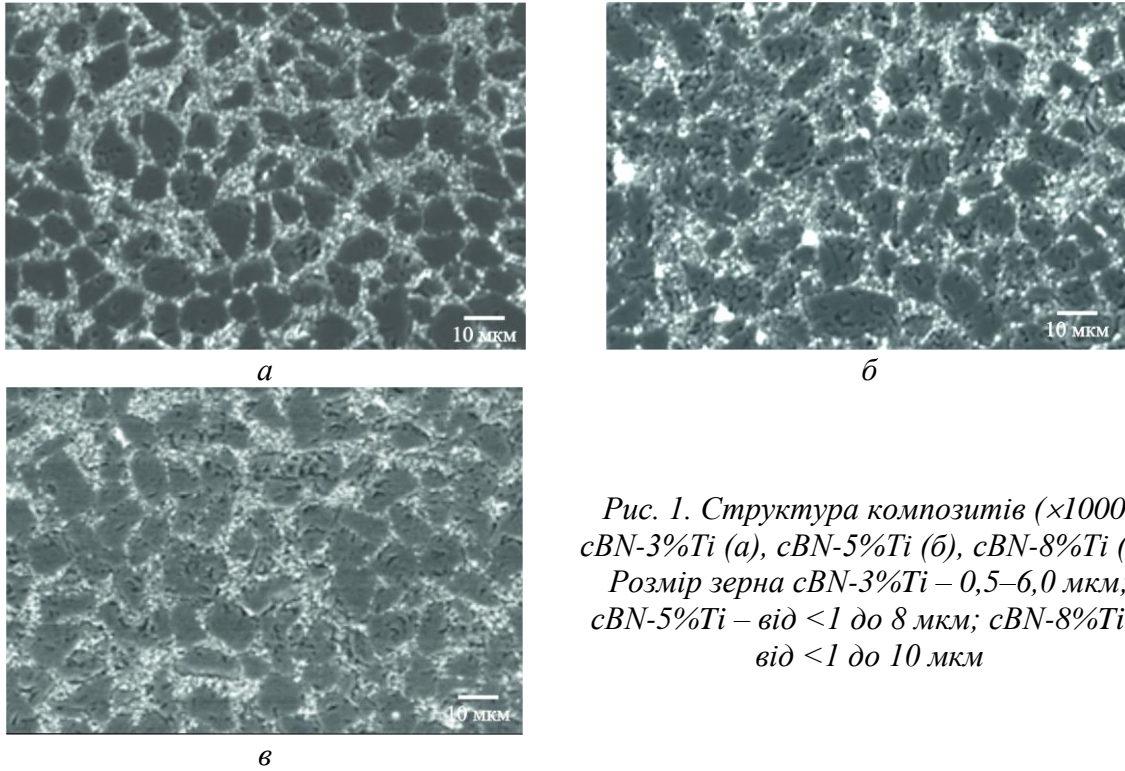


Рис. 1. Структура композитів ($\times 1000$) cBN-3%Ti (а), cBN-5%Ti (б), cBN-8%Ti (в). Розмір зерна cBN-3%Ti – 0,5–6,0 мкм; cBN-5%Ti – від <1 до 8 мкм; cBN-8%Ti – від <1 до 10 мкм

Для структури всіх отриманих композитів спостерігаються окремі випадки контакту безпосередньо між зернами cBN, кількість яких зменшуються з ростом вмісту титану в матеріалі.

Границі зерен cBN нерівні (рис. 2), з розвиненою складною формою внаслідок руйнування в процесі спікання, а також, ймовірно, у результаті хімічних реакцій при утворенні нітридних плівок на поверхнях зерен.

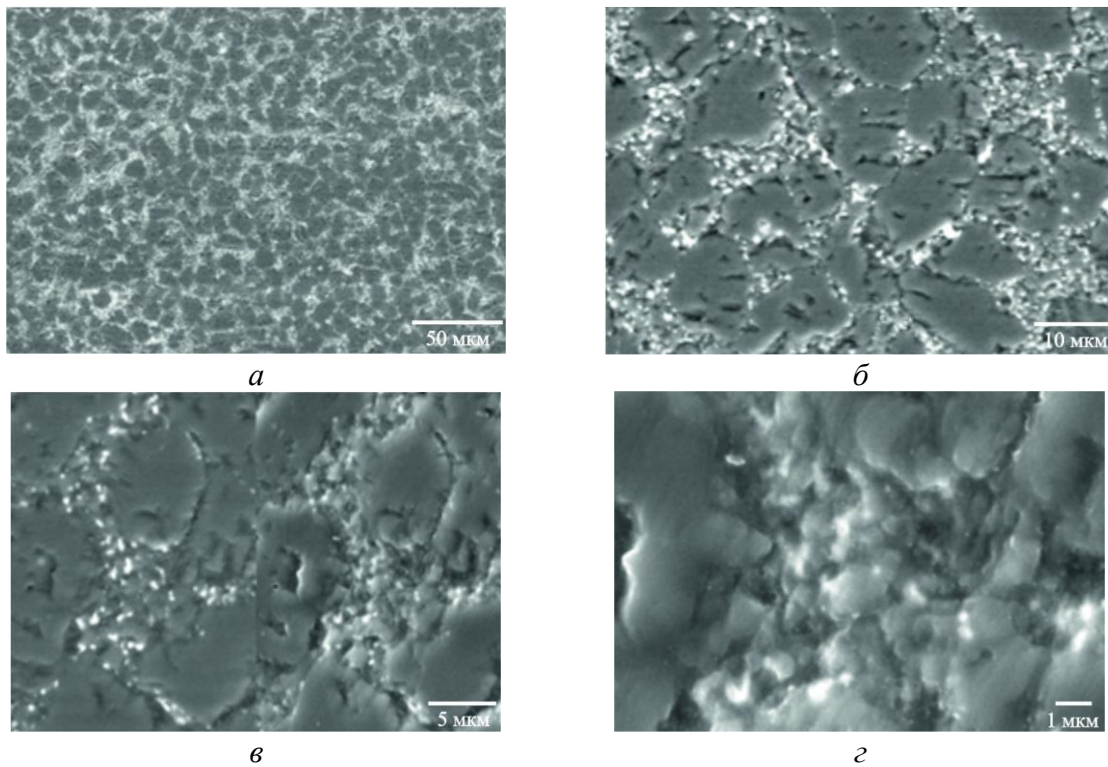


Рис. 2. Структура композитів з вмістом титану 3 % при різному збільшенні

Зони між зернами cBN заповнені керамічною матрицею. Структура самої керамічної матриці складна і являє собою сукупність субмікронних кристалітів, які містять титан, бор та азот, що відповідає, згідно з результатами рентгеноструктурного аналізу, сполукам TiN (2% мас.) та TiB₂ (1% мас.). Як перший, так і другий фактори сприяють збільшенню міцності зв'язків на міжфазних та міжзеренних границях. Оцінка кількості титану виконана методом мікрорентгеноспектрального аналізу з площинних ділянок розміром 100×100 мкм для зразків cBN-3%Ti, cBN-5%Ti та cBN-8%Ti при цьому становить 0,49, 0,98 та 1,09 % відповідно.

Енергодисперсійна спектроскопія (EDS) області між зернами cBN показала піки Ti, ширина яких становить до 1,5–2 мкм, при загальній ширині зони, насиченої титаном 5 мкм (рис. 3).

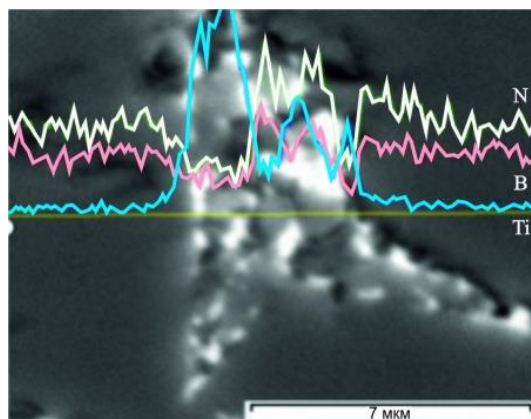


Рис. 3. Зона між зернами cBN (а) та її енергодисперсійна спектроскопія (б)

Максимальна концентрація титану збігається з розташуванням прошарків керамічної матриці в композиті, що видно з рис. 4.

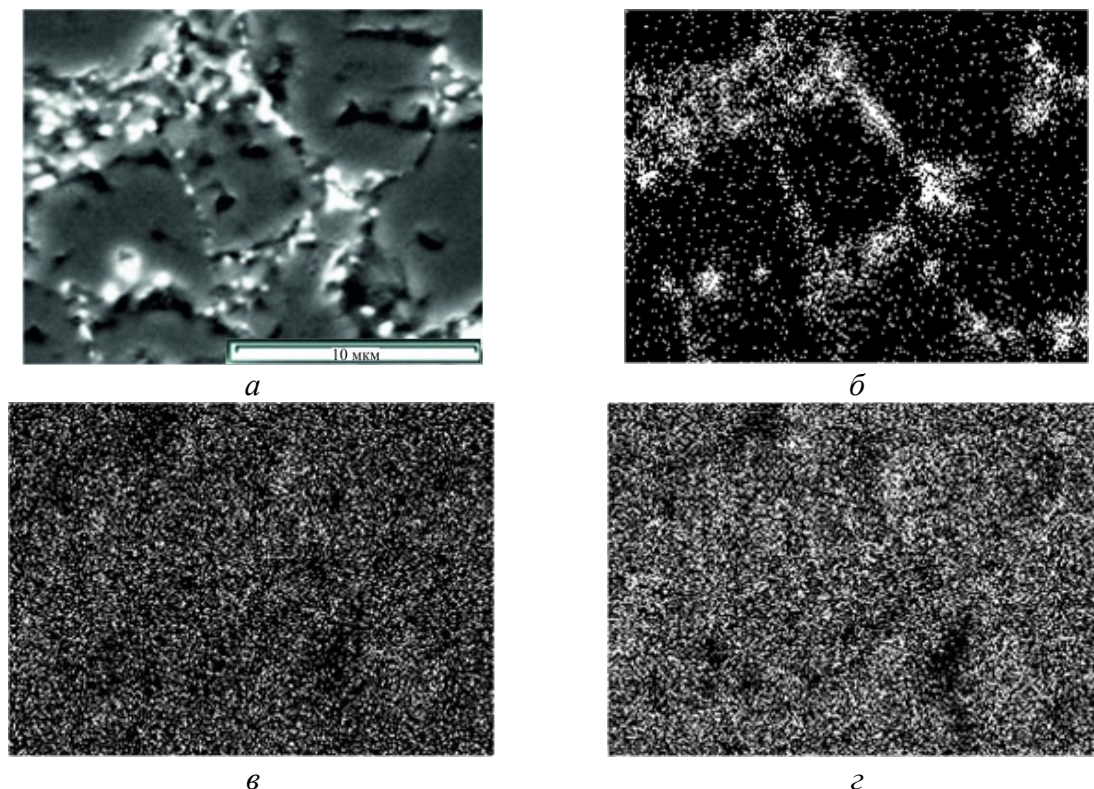


Рис. 4. Шліф ділянки композиту cBN-5%Ti (а) і розподіл хімічних елементів на ній: б – титан; в – бор; г – азот

Результати EDS окремих ділянок керамічної матриці, приведені на рис. 5, демонструють значну зміну вмісту титану, про що свідчить також варіювання освітленості цих зон від яскраво-білого до світло-сірого на зображеннях SEM у режимі фазового контрасту BSE (режим реєстрації відбитих електронів).

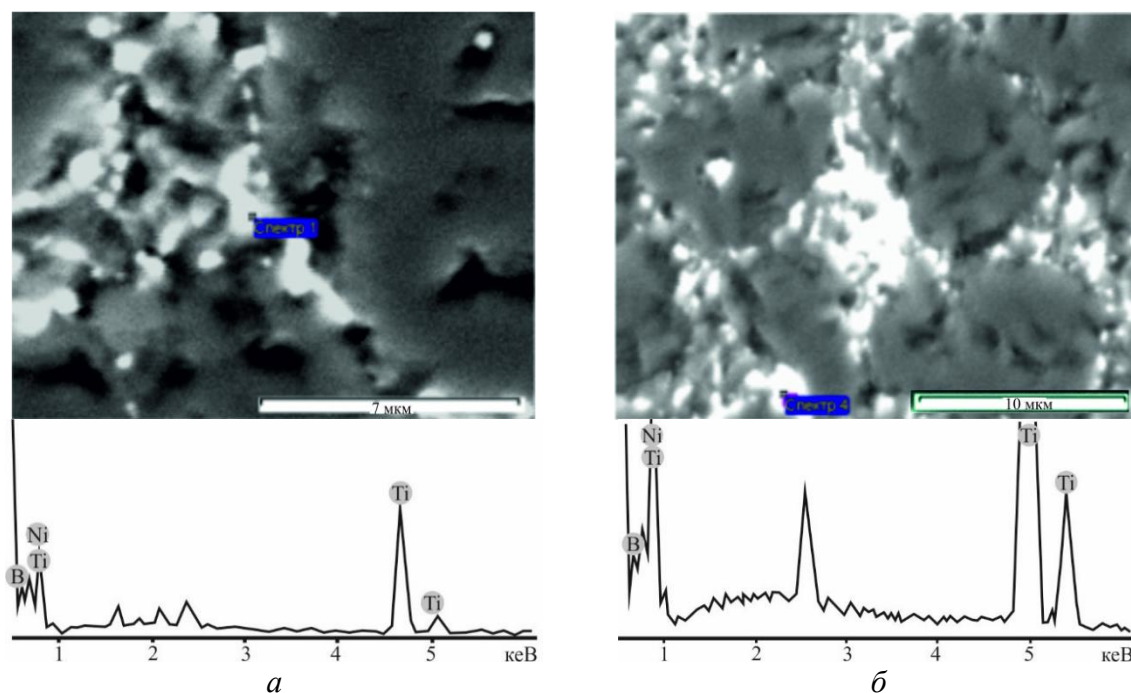


Рис. 5. EDS ділянок керамічної матриці композитів $sBN-3\%Ti$ (а) та $sBN-5\%Ti$ (б):
 а – 22,96/35,84 В (ваг./ат.)%; 22,96/35,84 N (ваг./ат.)%; 33,63/11,85 Ti (ваг./ат.)%;
 б – 8,11/19,94 В (ваг./ат.)%; 21,64/41,08 N (ваг./ат.)%; 70,24/38,998 Ti (ваг./ат.)

Результати рентгенівського фазового аналізу вихідних порошків складу 5% Ti (мас.), 1,5 % (об.) Al свідчать про те, що, крім кубічного нітриду бору sBN , досліджувані зразки містить продукти його хімічної взаємодії з титаном (фази TiN та TiB_2), а також інтерметалід $TiAl$ (рис. 6). Спінання цього порошку при температурі 2300 °C та тиску 7,7 ГПа не призводить до суттєвих змін фазового складу, проте параметр кристалічної решітки нітриду TiN збільшується від 0,4244 нм до 0,4253 нм [6], а дифрактограма спеченого зразка окрім відбитків, притаманних зазначеним вище фазам, містить також ще одно відбиття, належність якого до якої-небудь з можливих фаз-продуктів взаємодії компонентів вихідної суміші, не встановлена.

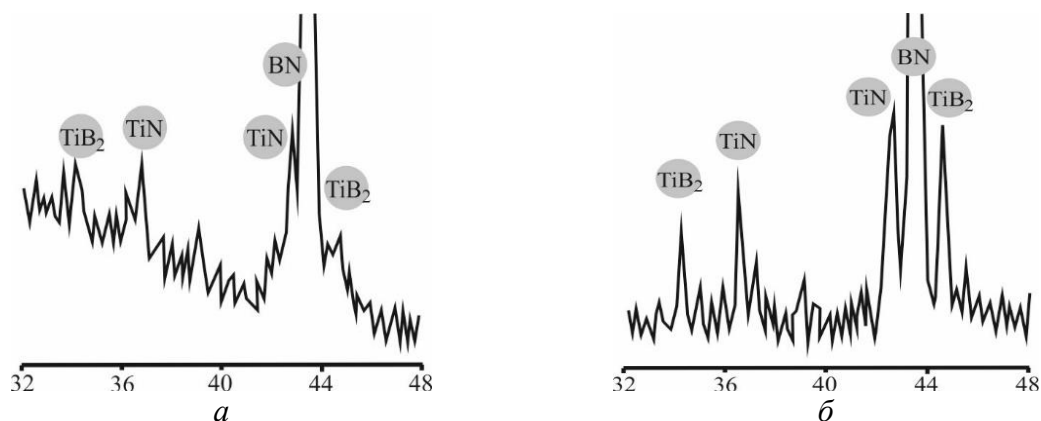


Рис. 6. Фрагменти дифрактограм порошку (а) та компакту (б)

При переході від порошку з покриттям до композиту форма дифракційних піків дещо змінюється, що пов'язано із напруженнями I або/та II роду, які притаманні досліджуваному зразкам. Результати визначення параметрів мікронапружень (розрахунок за формулою $\frac{E}{\mu} \cdot \frac{\Delta}{d_0}$ при $E = 256$ ГПа, $\mu = 20$ для TiN) наведені в табл. 1.

Аналіз результатів рентгенівського структурного аналізу дають підстави припустити, що у випадку, що розглядається, при осадженні Ti на поверхню частинок порошку cBN формуються окремі конгломерати продуктів реакції з фаз TiN, TiB₂ та TiAl. Судячи з результатів, отриманих для TiN, мікронапруження в окремих зернах утворюваного нітриду відсутні, а поверхневий натяг сформованого при цьому покриття є, але визначеного напрямку він не має, про що свідчить велика похибка у визначенні параметрів решітки TiN та значна дисперсія значень, розрахованих за різними відбиттями значень напружень I роду (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри структури фаз cBN та TiN

Зразок	cBN			TiN			
	Параметр решітки, нм	Мікронапруження II роду		Параметр решітки, нм	Мікронапруження II роду		Макронапруження I роду, ГПа
		розмір блоків, нм	деформація решітки, %		розмір блоків, нм	деформація решітки, %	
Порошок	0,36161(2)	56(7)	0,11(1)	0,4244(1)	>100	–	-0,05 – -0,04
Композит	0,36162(5)	27(1)	0,24(2)	0,42535(3)	20(3)	0,47(1)	-0,02

При спіканні зазначеного порошку з покриттям розмір кристалітів фаз у межах окремих зерен зменшується, а деформація кристалічної решітки зростає. Вочевидь також відбувається пересичення TiN азотом (суттєве збільшення параметра його решітки), а сформована при цьому плівка суто зорієнтована в напрямку (022).

Висновки. На основі даних SEM встановлено, що застосування методу CVD з газотранспортним осадженням Ti на поверхню зерен cBN дозволяє керувати структурою композиту та отримати рівномірний розподіл керамічної матриці між зернами cBN за умови інкапсуляції в ній окремих зерен надтвердої фази. Значення ширини прошарків керамічної матриці композитів знаходиться в діапазоні від 0,4 (на міжзеренних границях) до 10-12 мкм (у зонах потрійних стиків). Структура матриці – субмікронні зерна TiN та TiB₂.

Спікання порошку призводить до збільшення параметра кристалічної ґратки нітриду TiN на 10 % – від 0,4244 нм у покритті до 0,4253 нм у композиті, розмір кристалітів фаз у межах окремих зерен при цьому зменшується, а деформація кристалічної ґратки зростає. При цьому також відбувається пересичення TiN азотом (суттєве збільшення параметра його ґратки), а мікронапруження в окремих зернах утворюваного нітриду відсутні.

Список використаних джерел

1. Improving wear resistance of cBN-based cutting tools using TiN coating on cBN powder surface / Y.-S. Lee, T.-W. Kang, S.-W. Shin, D.-W. Kim // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2021. – № 631. – P. 127758.
2. Daoush, W. M. Fabrication of TiN/cBN and TiC/diamond coated particles by titanium deposition process / W. M. Daoush, H. S. Park, S. H. Hong // Transact. of Nonferrous Met. Soc. of China. – 2014. – № 24(11). – Pp. 3562-3570.
3. A sol-gel route to nanocrystalline TiN coated cubic boron nitride particles // M. A. Umer, H. S. Park, D. J. Lee, H. J. Ryu, S. H. Hong // J. of Alloys and Compounds. – 2011. – № 509(41). – Pp. 9764-9769.
4. Polycrystalline cubic boron nitride sintered compacts prepared from nanocrystalline TiN coated cBN powder / M. A. Umer, P. H. Sub, D. J. Lee, H. J. Ryu, S. H. Hong // Mat. Sci. and Eng: A. – 2012. – № 552. – P. 151-156.

5. Одержання надтвердих композитів з однорідною структурою при спіканні в умовах високого тиску порошків cBN, вкритих титаном / М. П. Беженар, С. М. Коновал, Т. О. Гарбуз, В. Т. Весна, В. М. Ткач, Я. М. Романенко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2015. – Вып. 18. – С. 360-365.

6. Інструмент, виготовлений із порошків кубічного нітриду бору з CVD покриттям / А. С. Манохін, Ю. О. Мельничук, С. А. Клименко, М. П. Семенько, Г. А. Петасюк, А. Г. Филипович, С. А. Клименко, Ю. Е. Рижов // Інструментальне матеріалознавство : зб. наук. праць. – Київ : ІНМ НАН України, 2023. – Вип. 26. – С. 305-314.

References

1. Lee, Y.-S., Kang, T.-W., Shin, S.-W., Kim, D.-W. (2021). Improving wear resistance of cBN-based cutting tools using TiN coating on cBN powder surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 631, 127758.

2. Daoush, W. M., Park, H. S., Hong, S. H. (2014). Fabrication of TiN/cBN and TiC/diamond coated particles by titanium deposition process. *Transact. of Nonferrous Met. Soc. of China*, 24(11), 3562–3570.

3. Umer, M. A., Park, H. S., Lee, D. J., Ryu, H. J., Hong, S. H. (2011). A sol–gel route to nanocrystalline TiN coated cubic boron nitride particles. *J. of Alloys and Compounds*. 509(41). 9764–9769.

4. Umer, M. A., Sub, P. H., Lee, D. J., Ryu, H. J., Hong, S. H. (2012). Polycrystalline cubic boron nitride sintered compacts prepared from nanocrystalline TiN coated cBN powder. *Mat. Sci. and Eng: A*, 552, 151–156.

5. Bezhenar, M. P., Konoval, S. M., Garbuz, T. O., Vesna, V. T., Tkach, V. M., Romanenko, Ya. M. (2015). Oderzhannia nadtverdykh kompozytiv z odnoridnoiu strukturoiu pry spikanni v umovakh vysokoho tysku poroshkiv cBN, vkrytykh tytanom [Production of superhard composites with a uniform structure during high-pressure sintering of cBN powders coated with titanium]. *Porodopasrshayustchiy i metalloobratyvayustchiy instrument – tehnika i tehnologiya ego isgotovleniya i primeneniya – Rock-destructive and metal-working instrument - technique and technology of its manufacture and application*, 18, 360–365.

6. Manokhin, A. S., Melniichuk, Yu. O., Klymenko, S. A., Semen'ko M. P., Petasyuk, G. A., Fylypovych, A. G., Kkyumenko, S. An., Ryzhov, Yu. E. (2023). Instrument, vyhotovlenni iz poroshkiv kubichnoho nitrydu boru z CVD pokryttiam [A tool made from cubic boron nitride powders with CVD coating]. *Instrumental'ne materializnavstvo – Instrumental materials science*, 26, 305–314.

Отримано 13.03.2024

UDC 621.793: 621.81: 548

**Andrii Manokhin¹, Sergii Klymenko², Serhii Klymenko³, Maryna Kopieikina⁴,
Yurii Melniychuk⁵, Anatolii Chumak⁶, Valerii Kremenetskyi⁷, Victor Novichenko⁸,
Natalia Novychenko⁹, Andrii Fylypovych¹⁰**

¹ Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
E-mail: the.manokhin@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>
ResearcherID: [DGN-4506-2022](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482). **SCOPUS Author ID:** [37059129600](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482)

² Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Deputy Director for Research
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
E-mail: atmu@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>
ResearcherID: [Q-8928-2019](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771). **SCOPUS Author ID:** [57221904325](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771)

³ Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)
E-mail: alcon1202@ukr.net. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>
ResearcherID: [FFQ-3675-2022](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519). **SCOPUS Author ID:** [57197629303](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519)

⁴Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: atmul@meta.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-5503>

ResearcherID: [FZY-5450-2022](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503). **SCOPUS Author ID:** [36337661400](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503)

⁵Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine),

E-mail: en22@i.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4529-2775>. **SCOPUS Author ID:** [57193381972](https://orcid.org/0000-0003-4529-2775)

⁶Candidate of Technical Sciences,
Researcher of the Department of Technological Management of Quality of Processing with SHM Tools
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: chumak1826ar@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9054-3196>

Researcher ID: [AEK-3163-2022](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196). **SCOPUS Author ID:** [58162161100](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196)

⁷Candidate of Physics and Mathematics Sciences,
Head of the Department of electron Probe Research of multifunctional Materials
Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: krem@nasu.kiev.ua. **SCOPUS Author ID:** [15842226600](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196)

⁸Researcher of the Department of electron Probe Research of multifunctional Materials
Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: yicnicnov13@gmail.com. **SCOPUS Author ID:** [55549106200](https://orcid.org/0000-0001-9054-3196)

⁹Researcher of the Department of electron Probe Research of multifunctional Materials
Technical Center of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: krem@nasu.kiev.ua

¹⁰ Researcher of the Department of Physicochemical bases of formation of superhard
and nanostructured materials by synthesis process
V. Bakul Institute of Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: bochcheka@ism.kiev.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-5081-4216>

STRUCTURAL STATE OF COMPOSITES SINTERED FROM cBN POEDERS WITH A COATING OF COMPOUNDS Ti

The paper presents the results of experimental studies of the structural state of composites obtained at high temperatures and pressures from cBN powders with coatings deposited by CVD from Ti compounds using a gas transport reaction. The features and quantitative parameters of the structure of the composites depending on the presence of Ti in the coating were determined. It has been experimentally established that the matrices of the obtained composites are formed by submicron grains of TiN and TiB₂, the quantitative differences of which correspond to the concentration of Ti in the coating - from 3 to 8 %. The structure of the obtained composites is characterized by a uniform distribution of the ceramic matrix between the cBN grains, which is achieved due to the high-quality encapsulation of individual grains of the superhard phase in the coating. The ceramic layers have the largest dimensions (up to 10-12 μm) in the area of triple joints, the width of the zone between two adjacent cBN particles is < 1 μm. When moving from a coated powder to a composite, the shape of the diffraction peaks changes, which is associated with the stresses of the first and/or second kind inherent in the studied samples. Sintering of the powder leads to a decrease in the size of the blocks from 56 nm to 27 nm, an increase in the lattice strain from 0.11 to 0.24 %, in TiN - to an increase in the lattice parameter in the composite by 10% (from 0.4244 nm to 0.4253 nm), a decrease in the size of crystallites within individual grains from 100 nm to 20 nm, and an increase in the lattice strain by 0.47 %. At the same time, TiN nitride is supersaturated with nitrogen, which is a significant increase in its lattice parameter, and the coating formed in this case is exclusively oriented in the (022) direction.

Keywords: coating on cBN grains; composite structure; crystal lattice; microstresses.

Fig.: 6. **References:** 6.