УДК 621.9.02

Клименко С.А., чл.-кор. НАН України, докт. техн. наук, професор
Манохін А.С., канд. техн. наук, ст. дослідник
Копєйкіна М.Ю., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Клименко С.Ан., канд. техн. наук, ст. дослідник
Чумак А.О., канд. техн. наук
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, м. Київ, atmu@meta.ua

НАДТВЕРДІ КОМПОЗИТИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ОТРИМАНІ З ПОРОШКІВ cBN ІЗ ПОКРИТТЯМ

Надтверді композити на основі кубічного нітриду бору (PcBN) є важливим компонентом сучасних високотехнологічних систем у машинобудівній промисловості, які дозволяють забезпечувати високу якість, точність та ефективність обробки виробів з найбільш 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, які призводять до швидкого виходу з ладу будь-яких інших інструментальних матеріалів. Разом з тим необхідно відзначити, що керамічні компоненти композитів обумовлюють певний недолік міцності таких надтвердих матеріалів. Вказане обумовлює актуальність пошуку підходів до створення таких модифікацій цих матеріалів, які поряд із вказаними характеристиками одночасно володіли б підвищеними механічними властивостями. Це можливо реалізувати за рахунок міждисциплінарного підходу із застосуванням вакуум-плазмових технологій для модифікації вихідної шихти для спікання композитів, визначення властивостей і основних закономірностей контактної взаємодії при різанні інструментами, оснащеними такими матеріалами, оптимізації режимів їх застосування [1–3].

Ефект впливу наявності покриттів на вихідних порошках cBN, з яких в апаратах високого тиску спікаються надтверді композити, на фізико-механічні і експлуатаційні властивості отриманих PcBN пов'язаний із дією сукупності факторів.

Покриття на вихідних зернах порошку у процесі спікання виконують роль зв’язки між частинками отриманого композиту. Традиційно для цього використовуються порошки тугоплавких сполук *d*-перехідних металів 4-й групи таблиці Менделєєва, наприклад TiN, які додаються до шихти у процесі її формування механічним змішуванням. В PcBN групи BL кількість керамічної складовій 40–55%. При цьому, структура отриманих композитів, має суттєвий недолік – при приготуванні шихти і подальшому спіканні дрібнозернистий (< 2 мкм) порошок кераміки внаслідок високої когезії утворює конгломерати розміром до 20 км, що спричинює неоднорідність структури композиту. Для PcBN інструментального призначення наявність неоднорідних ділянок із зернами розміром більше надтвердої фази може ініціювати утворення тріщин та крихке руйнування композитів сколюванням у процесі їх застосування. З огляду на це, важливо одержати PcBN зі структурою, однорідною на рівні розміру зерна надтвердої фази. Можливий варіант реалізації такої структури – використання порошків cBN, попередньо покритих спеціальними плівками. Регулювання складів і режимів нанесення покриттів дозволяє одержувати необхідну товщину плівки, і як наслідок керувати товщиною прошарків керамічної зв’язки та її процентним вмістом у складі композиту. Рівномірність розподілу структурних компонентів (основна надтверда фаза та керамічна зв’язка) у складі композиту буде сприяти підвищенню їх механічних властивостей – міцності, тріщиностійкості та твердості.

Рівномірна інкапсуляції окремих зерен надтвердої фази у керамічної складової PcBN має вплив на параметри фізико-хімічної взаємодії на контактних поверхнях інструменту з

оброблюваним матеріалом у зоні різання, що дуже важливо за умов високошвидкісної обробки. Такий розподіл зв'язки у композиті створює захисний шар на поверхнях зерен cBN, внаслідок чого інтенсивність зношування інструменту, обумовленого термотрибоактивованою хімічною взаємодією, значно знижується.

Порівняльні дослідженнями структури, фізико-механічних та експлуатаційних властивостей композитів, отриманих із використанням різних підходів, встановлено, що застосування методу газотранспортного осадження Ті на поверхню вихідних зерен cBN дозволяє отримати рівномірний розподіл керамічної матриці між зернами cBN при умові інкапсуляції в ній окремих зерен надтвердої фази. Структура матриці складається з субмікронних зерен TiN та TiB_2, а ширина прошарків керамічної матриці у таких композитах, у залежності від кількості нанесеного на порошки матеріалу, знаходиться в діапазоні від 0,4 мкм (на міжзеренних границях) до 12 мкм (в зонах потрійних та більше стиків). Мікротвердість одержаних полікристалів становить 32–41 ГПа.

Результати досліджень працездатності інструментів показують, що використання у них композитів, отриманих з вихідних порошків cBN із покриттям, дозволяє знизити швидкість зношування інструменту при високошвидкісному різанні загартованої сталі у порівнянні з інструментом, оснащеним стандартним композитом PcBN групи ВН та знаходиться на рівні інструменту, оснащеного композитом групи BL з вмістом керамічної складової 40% (об.). При високошвидкісній обробці в умовах динамічних ударних навантажень інструменті (зі зміцнювальною фаскою) зі створеними композитами, на відміну від інструментів, оснащених PcBN групи BL, зберігають працездатність при подачах до 0,4 мм/об та забезпечують отримання шорсткості обробленої поверхні *Ra* 0,4–0,6. Найбільшою ефективністю при цьому характеризуються інструменти, оснащені PcBN-3% Ti.

З використанням статистичної теорії екстремальних значень і оцінки ймовірного рівня мікропошкоджень в фазах кераміки, із застосуванням методу МКЕ, проведено модельні дослідження впливу мікроструктури на напружений стан, пружні модулі та крихку міцність дво- і трифазної кераміки, прикладом якої є створені PcBN. Розраховані параметри демонструють, що міцність композитів, виготовлених із порошків з покриттям, за інших рівних умов є вищою, у 1,1–1,3 рази у порівнянні з PcBN того ж фазового складу, але із структурою, яка виникає при спікання вихідних порошків, отриманих з використанням традиційної технології механічного змішування компонентів.

Таким чином, формування надтвердих композитів з використанням вихідних порошків cBN із покриттям є одним з перспективних напрямків вдосконалення матеріалів для оснащення різальних інструментів. Створені PcBN мають комплекс фізико-механічних і хімічних властивостей, якій дозволяє використовувати їх в інструментах, перспективних під час фінішної обробки та в умовах обробки з динамічним навантаженням при виготовленні виробів з загартованих сталей з високими швидкостями різання.

Список посилань

1. Беженар, М. П. 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.

2. Lee, Y.-S. 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.

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