

СУЧАСНІ ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ ДЛЯ ІНСТРУМЕНТІВ, ОСНАЩЕНИХ НАДТВЕРДИМИ КОМПОЗИТАМИ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

З метою вдосконалення різальних інструментів з полікристалічних надтвердих композитів на основі кубічного нітриду бору (РсВN) створюються покриття, принцип роботи яких ґрунтується на комплексі трибологічних і механо-хімічних ефектів у зоні різання, що обумовлюють здатність покриттів зберігати свою цілісність і властивості під дією високих температур і контактних напружень.

Однією з основних тенденцій у створенні таких покриттів є забезпечення нанорозмірності при формуванні як структурних елементів покриттів, так і окремих шарів у багат шарових композиціях. Перевага наноструктур теоретично обґрунтована фактом істотної зміни фізико-механічних властивостей матеріалу зі зменшення розміру його структурних складових. Така закономірність описується рівнянням Холла-Петча, що визначає залежність межі плинності (твердості) полікристалічного матеріалу від розміру зерна. При цьому міцність композиту повинна прагнути до теоретичної граничної міцності на зсув. Цей ефект спостерігається, коли середній розмір структурних елементів не перевищує 40 нм.

Формування нанорозмірної структури матеріалу покриття пов'язане з вибором зернистості, оптимальної за критерієм міцності, виходячи з балансу між залежністю за Холлом-Петчем і виразом, що визначає швидкість зерномежової повзучості при зменшенні розміру зерен.

Перспективними, з точки зору застосування на різальних інструментах з РсВN, є наноккомпозитні покриття. Це обумовлено поєднанням високих значень фізико-механічних властивостей, стійкості до окислення і дисоціації хімічних сполук, що входять до їх складу, внаслідок особливостей структури наноккомпозитних плівок.

При створенні багат шарових нанотовщинних покриттів у структурі матеріалу зростає частка міжфазних поверхонь розділу відносно загального обсягу меж розділу. Ці поверхні є перешкодами на шляху поширення тріщин і дислокацій, зумовлюючи підвищення твердості та міцності матеріалу. Ще одним фактором, що сприяє підвищенню твердості, є те, що значення модуля Юнга сусідніх шарів сильно відрізняються. В разі, якщо покриття має наночарову структуру, то під час зношування має місце пошкодження на глибину в 1–2 шари плівки (6–8 нм). Водночас у монолітному покритті під дією дотичних контактних напружень пластична деформація окремих зерен відбувається в шарах на глибині до 50–75 нм. Як наслідок, швидкість зношування наночарових покриттів в умовах трибологічного навантаження значно нижча. Крім того, наночарові плівки, при їх нанесенні вакуум-дуговим методом на пластини з РсВN, характеризуються, порівняно з моноблоковими покриттями, меншою схильністю до адгезійного відшарування, що підвищує ефективність різального інструменту з таким типом покриття.

Наноккомпозитні структури бувають двох видів: – нітридна нанорозмірна фаза впроваджена в міжкристалітне середовище (*nc*-MeN/міжкристалітна фаза); – зерна одного матеріалу утворюють дві фази з різною кристалграфічною орієнтацією або суміш нанозерен різних матеріалів.

Набув поширення спосіб створення наноккомпозитних покриттів типу *n*MeN/ α -фаза – вони формуються з нанозерен твердих нітридів перехідних металів з аморфної міжкристалітної фазою-матрицею з TiB₂, Si₃N₄, BN та інших сполук неметалів, що утворюють ковалентні зв'язки. Висока твердість таких покриттів обумовлена тим, що через малі розміри нанозерен зароджування і ковзання дислокацій пригнічуються, в той час як висока когезійна міцність тонкої межзереної фази блокує зернограничне ковзання. Аморфна складова при цьому здатна якнайкраще узгоджуватися з поверхнею нанокристалів і забезпечує хороше зчеплення, що призводить до істотного підвищення міцності в системі основа-покриття. Такі покриття мають незвичайну комбінацію механічних властивостей: – висока (40–70 ГПа) твердість; – високе (80–94%) пружне відновлення; – граничні (> 10%) пружні напруження; – висока (від 10 до більш ніж 40 ГПа) міцність на розтягнення, близька до ідеальної міцності для непластичних матеріалів. Наноструктура і відповідний їй надтвердий стан може залишатися стабільним за температур, що перевищують 1100 °С.

Оцінка значень контактних навантажень на різальних інструментах з РсВN показує, що середні нормальні та дотичні контактні напруження при обробці сталей високої твердості досягають значень до 2500 і 1100 МПа відповідно. Знизити величину навантажень можна, якщо конструкція покриття буде включати верхній шар, що виконує функції приробки. Основною вимогою до такого прошарку є поєднання пластичності і міцності, при тому що твердість його може бути істотно нижче, ніж твердість основного масиву матеріалу покриття. Матеріал шару приробки повинен мати аморфно-кристалічну низькомодульну структуру (α -BN, α -Si₃N₄ або α -TiB₂), що дозволить йому виконувати роль твердого змащення.

Термостійкість є важливою вимогою, що пред'являються до покриттів на інструментах з РсВN. Подібно механічним властивостям, вона визначається хімічним складом і структурою покриття.

Якщо брати до уваги тільки хімічний склад, то найефективнішими виявляються покриття, що містять Cr, у зв'язку з їхньою здатністю чинити опір впливу високих (1000 і 1100 °С для CrN і AlCrN відповідно) температур, зберігаючи хімічну стабільність, високу гарячу твердість і твердість після відпалу. Це пояснюється інтенсивною дифузією Cr до поверхні та формуванням у діапазоні 700–1000 °С щільної структури Cr₂O₃, що запобігає деструкції системи, і тому, наприклад покриття AlCrN, є дуже перспективним. Для підвищення термостійкості покриттів також ефективною є добавка в його матеріал ітрію, що сприяє підвищенню стійкості до окислення

внаслідок утворення фази YO_x на кордонах зерен. Така добавка призводить до дроблення зерен і втрати стовпчастості структури конденсату.

Зокрема, ті ж нанокompозитні системи типу $nc\text{-MeN}/\alpha\text{-фаза}$ характеризуються підвищеною термостійкістю. Дрібнозернисті полікристалічні матеріали рекристалізуються під час відпалу за $T \geq 0,4 T_{пл}$. При цьому межа термостійкості покриття $nc\text{-TiN}/\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, нанесеного на кремнієву підкладку, досягає 1100°C , що становить 63 % від температури дисоціації Si_3N_4 . Таке підвищення граничної температури зумовлено відсутністю реакції окиснення на межі розділу незмішуваних стехіометричних фаз TiN і Si_3N_4 , що зумовлено спінодальною природою фазової сегрегації в цій системі.

В якості методу підвищення термостійкості покриття пропонується також використовувати інтергранулярну склоподібну фазу, формування якої можна забезпечити в нанокompозитах, наприклад, шляхом збільшення (> 40%) вмісту кремнію і, відповідно, фази $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$. При концентрації кремнію більше 50% структура покриття аморфна і аж до температури 1300°C окислюється виключно тонкий поверхневий шар покриття без будь-яких змін в його об'ємі.

Інший механізм підвищення стійкості інструментів з PcBN реалізується при використанні «самоадаптивних» покриттів. Основна ідея полягає не в запобіганні окисленню, а в використанні цього явища для управління параметрами контактної взаємодії при різанні та зниження коефіцієнту тертя і, отже, термобаричного навантаження в зоні контакту. Подібні покриття в процесі різання окислюються, утворюючи поліоксидну вторинну структуру (трібоплівку), що виграє роль твердого змащення. Наприклад, при точінні інструментом з покриттям AlN-Ti(Cr)B_2 на його поверхні формується поліоксидна трібоплівка, що включає Al_2O_3 , Fe_2O_3 і оксинітрид алюмінію $\text{Al}_x\text{O}_y\text{N}_z$. Дані сполуки мають термостабільність до 1300°C , крім того в таких системах утворюються гомогенні ряди твердих розчинів оксидів, що мають гарну змащувальну здатність. Дослідження елементного складу покриття після обробки різанням показали, що на глибині 70 нм має місце різке збільшення кількості кисню і, таким чином, зовнішній нанорозмірний шар інтенсивно окислюється, переходячи в продукти зносу, і знову окислюється. При цьому в шарі, розташованому на глибині 30–70 нм, утворюються обмежені тверді розчини на основі Al_2O_3 (системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-AlN}$).

Подальший розвиток такого підходу може бути пов'язаний зі створенням систем, що містять SiC і AlN , які є хімічно стабільними при температурах понад 1300°C .

Розроблено концепцію підвищення стійкості різальних інструментів з PcBN , яка базується на зменшенні температури в контактній зоні різання при нанесенні на робочі поверхні інструменту покриття, що зменшує коефіцієнт тертя. Таким покриттям може бути плівка з BN . Основною відмінністю цього покриття є його аморфно-кристалічний структурний стан і близькість за хімічним складом до матеріалу основи. Ефект досягається за рахунок: – зниження твердості в порівнянні з інструментальною основою, що зменшує внутрішні залишкові напруження в покритті і знижує крихкість його матеріалу; – зменшення модуля Юнга, що підвищує пружні властивості покриття і стійкість до абразивного стирання; – зниження коефіцієнта тертя, що сприяє зменшенню термобаричного навантаження на робочих ділянках інструменту.

Випробування, проведені на машині тертя, показали зниження коефіцієнта тертя від 0,4 до 0,3 в діапазоні швидкостей відносного переміщення 75–90 м/хв.

Ще одним підходом до підвищення стійкості інструменту, в якому явно проявляється ідея використання покриття як проміжного середовища, що надає прямий вплив на параметри процесу різання, є введення до складу покриття компонентів, які є інгібіторами протікання хімічних реакцій в зоні контактної взаємодії інструментального композиту з оброблюваним матеріалом. Пригнічуючи хімічно обумовлений механізм зношування різальних інструментів з PcBN , такі покриття збільшують їх стійкість при високошвидкісному різанні або при обробці конструкційних матеріалів, компоненти яких виявляють високу хімічну активність в парі з нітридом бору.

На основі аналізу результатів значної кількості досліджень механізму впливу покриттів на зношування інструментів з PcBN можна виділити кілька взаємопов'язаних підходів для їх створення: – вибір структурних складових покриття, які в процесі обробки різанням забезпечують формування на робочих поверхнях інструменту високотемпературних поліоксидних трібоплівок, що грають роль твердого змащення і ефективно знижують інтенсивність зношування інструменту; – введення до складу покриття сполук, що є інгібіторами реакцій хімічної взаємодії та дозволяють зрушити початок активної хімічної взаємодії в зоні обробки в діапазон більш високих швидкостей різання; – зниження коефіцієнта тертя і контактних навантажень на робочих ділянках інструменту за рахунок твердого змащення і шару покриття з функцією приробки; – забезпечення необхідного структурного стану покриття.