

УДК621.762.5:548.33

Т.О. Гарбуз; М. П. Беженар, д-р. техн. наук; С. А. Божко, канд. техн. наук;

Институт надтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, Киев

КОМПОЗИТ КУБИЧНОГО НИТРИДУ БОРУ, МОДИФИКОВАННИЙ ДИБОРИДОМ ТИТАНУ

The studying of composites obtained by a sintering at high pressure of a mixture $cBN + TiB_2 + 10\% Al$, and the test of the cutting plates made from them have shown, that the structure with high strength of phase boundaries and the high wear-resistance is obtained at the complete participation of a titanium diboride in reactionary interacting that is attained at the content in a mixture 5-10 % TiB_2 .

Композиційні матеріали систем $cBN-Al$, $cBN-TiC$, $cBN-TiN$ широко використовують при виробництві різальних пластин (PCBN). У рекламних і наукових інформаційних джерелах немає даних про інструментальні матеріали системи $cBN-Al-TiB_2$. Роботи, виконані в Інституті надтвердих матеріалів НАН України, засвідчили про перспективність використання дибориду титану як добавки до шихти $cBN-Al$ для активації реакційного спікання. Доцільність добавок TiB_2 в кількості до 10 % у шихту полягає в їх впливі на кінетику реакційної взаємодії [1]: кристалізація з розплаву нижчого бориду алюмінію AlB_2 , ізоструктурного з TiB_2 запобігає накопиченню бору в розплаві алюмінію і прискорює хімічну взаємодію, що активує ущільнення. До того ж добавки до 10 % TiB_2 залишають стабільними твердість композиту і його абразивний знос.

Із шихти $cBN - 10\% Al - 10\% TiB_2$ під тиском 7,7 ГПа залежно від температури спікання можна отримувати зразки з відносною густиною $\geq 0,99$ і твердістю за Кнупом 32–35 ГПа, що перевищує твердість зразків відомих композитів КНБ (киборит-2: 28-30 ГПа, киборит-3: 25-26 ГПа) [2].

Гіпотеза про утворення в системі $cBN-Al-TiB_2$ твердого розчину типу $Ti_xAl_{1-x}B_2$ [1], була підтверджена рентгеноструктурним дослідженням зразків, отриманих у модельних експериментах, де шихту $cBN-Al$ спікали в контакт з порошком TiB_2 [3]. При цьому було показано, що механізм утворення твердого розчину $Ti_xAl_{1-x}B_2$ пов'язаний з перенесенням титану і бору розплавом алюмінію, а співвідношення Ti та Al у твердому розчині залежить від технологічних умов спікання.

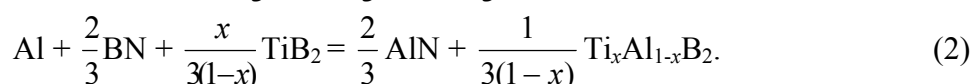
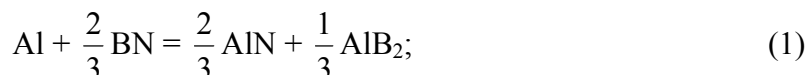
Мета роботи полягала у встановленні зв'язку між складом шихти, умовами спікання, структурою і властивостями композитів, аналізі впливу зазначених факторів на результати випробування різальних пластин, виготовлених із композитів, а також у порівнянні з різальними пластинами відомих композитів системи $cBN-Al$ (киборит-1 і киборит-2).

Зразки композитів отримували реакційним спіканням шихти $cBN + 10\% Al$ з добавками 5, 10, 15 і 25 % TiB_2 . Для шихти використовували порошок КНБ марки КМ 14/10 (середній розмір зерен $d_{med} = 12$ мкм), попередньо розмолотий порошок TiB_2 ($d_{med} = 2,2$ мкм) і порошок Al марки АСД-1 ($d_{med} = 30$ мкм). Усі зразки спікали за двостадійним режимом: попереднє просочення алюмінієм (з шихти) при $p = 2,5$ ГПа, $T = 1300$ К; завершальне спікання при температурі 1750 К під тиском 7,7 ГПа (АВТ "тороїд", тривалість процесу 60 с) або 4,2 ГПа (АВТ "чечевиця", тривалість процесу 180 с). Дані про киборит-1 і киборит-2 узяті за результатами випробування пластин з промислових партій, виготовлених згідно з вимогами замовників.

Методика дослідження. Уточнення кристалічної структури твердих розчинів виконували за методикою, наведеною у [3]. Мікроструктуру зломів зразків вивчали методом електронної мікрофрактографії. Твердість (HKN) вимірювали індентором Кнупа при наванта-

женні на індентор 9,8 Н, електричний опір — на цифровому омметрі Щ34. Різальні пластини випробовували при точінні сталі ХВГ (HRC 57-58) на верстаті 1К62 з безударним навантаженням. Параметри режиму: швидкість різання $V = 90$ м/хв.; подача $S = 0,07$ мм/об.; глибина різання $t = 0,02$ мм. Критерій зносу — ширина фаски зносу h по задній поверхні інструменту за період 30 хв.

Результати експериментів. Фазовий склад зразків, отриманих з шихти з різним вмістом TiB_2 , був визначений із застосуванням даних рентгенофазового аналізу [1]. Отримані дані було доповнено результатами структурних досліджень твердих розчинів $Ti_xAl_{1-x}B_2$ (тобто визначенням x). За цими даними розраховували баланс маси в реакціях

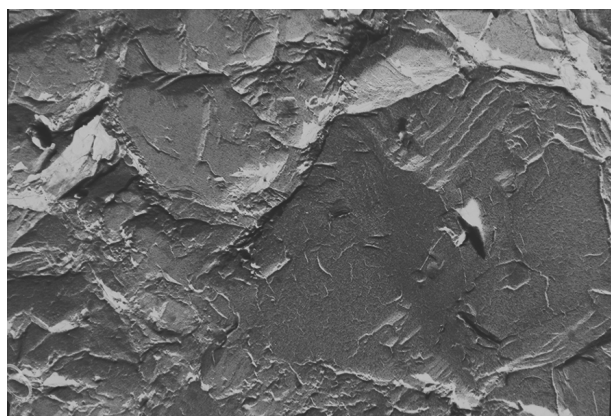


Згідно з балансом маси для отримання твердого розчину еквімолярного складу ($x = 0,5$) при повному завершенні реакції (2) у ній має взяти участь 8,6 % TiB_2 . Результати розрахунків дають уявлення про вміст складових композиту при зміні співвідношення в шихті cBN і TiB_2 (табл. 1), а рисунок ілюструє їх розподіл в структурі.

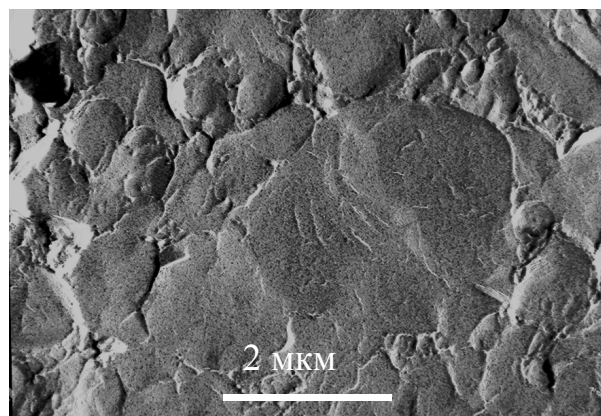
Основна фаза cBN , вміст якої зменшується від 82 до 60 об.%, утворює неперервний каркас (полікристалічну матрицю із зернами розміром 8-10 мкм). Продукти реакції (AlN і $Ti_xAl_{1-x}B_2$) кристалізуються з розплаву і утворюють кераміку із субмікронними зернами (зв'язку), що розподіляється відповідно до поверхні контакту при реакційній взаємодії cBN з Al .

Таблиця 1. Вміст TiB_2 у шихті $cBN + 10\%$ Al і фазовий склад композиту

Вміст у шихті, мас. %		Фазовий склад композиту, об.%				Зв'язка, об.%
cBN	TiB_2	cBN	TiB_2	AlN	$(Ti_xAl_{1-x}B_2)$	$AlN+Ti_xAl_{1-x}B_2$
90	—	81,7	—	11,1	7,2 ($x = 0$)	18,3
85	5	77,7	—	11,2	11,1 ($x = 0,4$)	22,3
80	10	73,6	1,1	11,3	14,0 ($x = 0,5$)	25,3
75	15	69,3	5,1	11,4	14,2 ($x = 0,5$)	25,6
65	25	60,5	13,3	11,7	14,5 ($x = 0,5$)	26,2



а



б

Типові електронні мікрофрактограми зразків, отриманих при $p = 7,7$ ГПа, $T = 1750$ К, вмісті у шихті 5 % TiB_2 (а) і 25 % TiB_2 (б)

Відомо, що в кибориті-1 і кибориті-2 зв'язка ($AlN+AlB_2$) гальмує рух тріщин. Таку саму функцію виконує зв'язка ($AlN+Ti_{0,4-0,5}Al_{0,5-0,6}B_2$) при невеликому вмісті TiB_2 у шихті. Це підтверджує структура зломів (a на рисунку). При 5 % TiB_2 у шихті у зломі зразка на поверхні зерен cBN бачимо сходинки сколу, які свідчать про транскристалітне руйнування, тобто про високу міцність міжфазних границь. Зв'язка дрібнозерниста, складається з продуктів реакції в рідкій фазі. Подібна структура формується при спіканні шихти з добавками 5, 10, іноді 15 % TiB_2 .

При збільшенні вмісту TiB_2 у шихті від 15 до 25 % поверхня контакту cBN з Al зменшується, що гальмує їх взаємодію. У таких зразках іноді ідентифікують залишковий алюміній. До того ж тут залишається частина незадіяного в реакції TiB_2 . Вміст TiB_2 за об'ємом стає співрозмірним із вмістом продуктів реакції (табл. 2), а розмір зерен значно більший.

При вмісті в шихті 25 % TiB_2 зв'язка складається із зерен різного розміру (продукти реакцій і залишковий TiB_2), розподіляється нерівномірно, характер злому свідчить про міжкристалічне руйнування на локальних ділянках міжфазних границь $cBN-TiB_2$, де релаксацію зовнішніх напруг обмежує висока твердість TiB_2 .

Вплив добавок TiB_2 у шихті на властивості композитів системи $cBN-Al$ ілюструють дані табл. 2.

Твердість зразків із шихти $cBN-TiB_2-10\% Al$ при заміні в шихті cBN диборидом титану до 15 % значимо не змінювалася, що пояснюється близькими значеннями твердості cBN і TiB_2 ($HKN = 40$ ГПа і $HKN = 34,8$ ГПа відповідно). Спостерігається тенденція впливу тиску на твердість, що закономірно: високий тиск активує процес спікання, до того ж стабілізує фазу AlB_2 , що прискорює реакції. Та найголовніше, що між твердістю і зносостійкістю не існує прямої залежності. Зразки з шихти із вмістом 5 % TiB_2 незалежно від твердості та умов спікання мають найменший знос (0,19-0,20 мм). Порівняння з результатами випробування кибориту-2 (середнє значення з кількох партій) дає змогу прогнозувати підвищення стійкості композитів системи $cBN-Al$ з добавками TiB_2 .

Таблиця 2. Характеристики композитів* і результати випробування різальних пластин.

№ партії	Вміст у шихті, мас. %		Умови спікання		HKN , ГПа	σ , $OM^{-1} \cdot M^{-1}$	Знос h , мм
	cBN	TiB_2	Тип АВТ	p , ГПа / T , К			
1	85	5	«чечевиця»	4,2 / 1750	27±3		0,19
2	85	5	«чечевиця»	4,2 / 1750	27±3		0,20
3	85	5	«тороїд»	7,7 / 1750	29±1	$10^{-6} \div 10^{-3}$	0,20
4	80	10	«тороїд»	7,7 / 1750	30±1	$10^{-2} \div 10$	0,21
5	75	15	«тороїд»	7,7 / 1750	28±1	$10^{-3} \div 10^{-2}$	0,21
6	65	25	«тороїд»	7,7 / 1750	23±2	—	—
К-2	90	—	«чечевиця»	4,2 / 1750	28±1	$10^{-9} \div 10^{-7}$	0,21
К-1	98	—	«тороїд»	7,7 / 2300	33±1	10^{-9}	0,32

* К-1, К-2 — киборит-1 і киборит-2 (зразки із промислових партій).

Спробуємо пояснити це особливостями складу і дисперсною структурою зв'язки композитів системи $cBN-Al-TiB_2$.

У системі $cBN-Al$ продукти реакції кристалізуються не одночасно. Утворенню AlB_2 передує за температурою утворення AlN із накопиченням бору в розплаві [4]. Тому фаза AlB_2 зазвичай розташовується локально, а AlN безпосередньо контактує із cBN .

У системі $cBN-Al-TiB_2$ продукти реакції (AlN і $Ti_xAl_{1-x}B_2$) кристалізуються майже одночасно, чому сприяє присутність титану і бору в розплаві, і, безперечно, умови епітаксialного росту зародків $Ti_xAl_{1-x}B_2$. У результаті утворюється гомогенна за складом, дрібнозерни-

ста зв'язка. Утворення такої зв'язки підтверджується також ефектом перколяції у структурі композиту електропровідних боридів: при їх вмісті 15 % електропровідність композиту збільшується на декілька порядків.

Зауважимо, що зв'язка такого складу і структури сформувалася не тільки при тиску 7,7 ГПа в АВТ «тороїд», а й при спіканні в економічнішому АВТ "чечевиця" з робочим тиском 4,2 ГПа; при цьому зберігалася стійкість інструменту.

Висновки

Дослідженням композитів КНБ, отриманих в умовах реакційного спікання при високому тиску шихти $cBN-TiB_2-10\% Al$, та випробуванням виготовлених з них різальних пластин порівняно із різальними пластинами інших композитів КНБ, доведено, що в результаті заміни в шихті 5-10 % cBN диборидом титану отримується структура з високою міцністю міжфазних границь і підвищеною стійкістю до зносу при роботі в різальному інструменті. Такі властивості забезпечує гомогенна за складом дрібнозерниста зв'язка (AlN і $Ti_xAl_{1-x}B_2$).

Автори щиро вдячні доктору фізико-математичних наук Г.С. Олейник, кандидату фізико-математичних наук Н.М. Білявиній та інженеру В.І. Карасю за допомогу у дослідженнях.

Література

1. Гарбуз Т.О., Беженар Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н.. Спікання при високому тиску порошків cBN з добавками TiB_2 і Al та властивості одержаних полікристалів // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – Вып. 9. – Киев: ИСМ им. В.Н.Бакуля, 2006. – С.271-277.
2. Гарбуз Т. О., Крiштова О. В., Беженар М. П. та ін. Фізико-хімічна взаємодія в системах $cBN-TiB_2-Al$, $cBN-ZrN-Al$ при спіканні під високим тиском і властивості одержаних композитів// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – Вып. 10. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, 2007. – С.320-327.
3. Беженар Н.П., Божко С.А., Гарбуз Т.А. и др. Особенности кристаллической структуры диборида титана, образующегося в сверхтвердых композитах системы $cBN - Al - TiB_2$ //Сверхтвердые материалы. —2008.—№3.— С. 87-90.
4. Беженар Н.П., Божко С.А., Белявина Н.Н. и др. Фазовый состав поликристаллов, полученных при реакционном спекании кубического нитрида бора с алюминием// Сверхтвердые материалы. – 2002. – №1. – С.37-48.

Надійшла 29.05.08