

13. Сизоненко О. Н., Малюшевский П. П., Горовенко Г. Г. Разрядноимпульсная технология дробления и измельчения абразивных материалов // Основные проблемы разрядноимпульсной технологии. – К.: Наук. думка, 1980. – С. 12–20.

Поступила 08.06.17

УДК 621. 921. 34 – 419: 621. 762. 5: 539. 89

Н. О. Русінова

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

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ АЛМАЗУ ПРИ ЇХ СПІКАННІ ЗА УМОВ ВИСОКОГО ТИСКУ (Огляд)

Розглянуто можливі способи підвищення міцності полікристалічних матеріалів на основі алмазу з метою використання отримуваних матеріалів у різних галузях техніки (насамперед для виготовлення бурового, накатного інструменту, свердел, голок).

Ключові слова: полікристалічні матеріали, алмаз, кремній, спікання, просочення, міцність.

Сучасний розвиток виробництва бурового та різального інструменту тісно пов'язаний із застосуванням полікристалічних матеріалів на основі алмазу [1–3]. Оснащення інструменту надтвердими різальними вставками сприяє значному підвищенню його ефективності. Можливі способи підвищення міцності композитів на основі алмазу, отриманих при спіканні за умов високого тиску, потребують подальшого всебічного вивчення.

Дослідження спікання алмазних порошків, здійснені в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, свого часу зумовили створення алмазно-твердосплавних пластин, термостійкого алмазного композиційного полікристалічного матеріалу. Важливі роботи в цій галузі виконали вчені російських інститутів. Значний обсяг структурних досліджень виконали в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України.

Відомо, що при спіканні алмазних порошків використовують такі засоби управління структурою та властивостями полікристалів:

- вибір розміру частинок від шліфпорошків (розміром 200–50 мкм), мікропорошків (розміром 60–2 мкм) до нанопорошків (розміром менше 0,1 мкм);
- введення активуючих спікання добавок. Для алмазних порошків – кобальт, кобальт-залізо, кремній та ін.;
- стан поверхні зерен (включаючи хімічне та термохімічне очищення зерен поверхнево активними речовинами та металами);
- вибор схеми розташування вихідних компонентів у реакційному об'ємі;
- спікання порошків надтвердих матеріалів на твердосплавній підкладці, у твердосплавній обоймі або без них;
- введення додаткових центрів кристалізації, наприклад, наноалмазів при просочуванні алмазних порошків кремнієм;
- управління параметрами спікання (тиском, температурою, тривалістю).

Управляючи параметрами спікання, можна отримати полікристали з різним містом включень (С_о, Si та ін.), інтенсивним та контрольованим зростанням зерен, різним характером зламу – транс та інтеркристалітним, підвищеною зносостійкістю [4].

Накопичено багато матеріалу, згідно з яким завдяки вибору нового складу компонентів просочуючого шару та їх співвідношення підвищується міцність композиційного матеріалу внаслідок посилення взаємозв'язку компонентів системи. Так, додаткове введення порошків титану або діоксиду титану (TiO_2), молібдену (Mo) та/або алюмінію (Al) зумовлює зміцнення матеріалу [5]. Підвищити міцність та термостабільність полікристалічного композиційного матеріалу можна також спіканням, за якого як добавки використовують карбіди і/або оксиди перехідних металів. У результаті забезпечується запобігання рекристалізації при спіканні, знижується поруватість та зникає негативний вплив сторонніх домішок і включень на формування структури, а за рахунок додаткового введення добавок кремнію, бору, графіту або їх суміші ще інтенсивніше підвищується термостабільність [6].

Дослідивши закономірності, що стосуються області одержання полікристалічних матеріалів, а саме композиційних матеріалів на основі алмазу, встановили, що підвищення міцності отриманих шляхом спікання полікристалічних матеріалів на основі порошків алмазу можливе шляхом введення активуючих спікання добавок. Отже, при отриманні композиційного матеріалу в умовах високого тиску та високої температури при просочуванні порошку алмазу кремнієм з введенням добавок до просочуючого шару, а саме нанопорошків алмазу, на 30% підвищується середня міцність композиційного матеріалу при випробуванні на стискання [7].

Як зазначалось, формування структури композитів при спіканні порошків алмазу за рахунок утворення зв'язку алмаз – алмаз пов'язано із розвитком пластичної деформації під дією високого тиску та високої температури. Під час та після просочування отриманого алмазного каркасу кремнієм, який потрапляє до міжзеренних проміжків з просочуючого шару, відбувається взаємодія в системі алмаз - кремній, у результаті якої в міжалмазних проміжках формується карбід кремнію.

Як засвідчили результати аналізу мікроструктури та фазового складу зразків, отриманих без застосування нанопорошків алмазу у просочуючому шарі [9], між різними за розміром частинками алмазу утворився карбід кремнію, що виконує роль зв'язки, та існують значні включення кристалічного кремнію, що не прореагував з вуглецем. Як відомо [10], при затвердінні об'єм останнього збільшується приблизно на 10%, що викликає значні напруження в отриманому матеріалі. У цьому зв'язку для інтенсифікації карбідоутворення при отриманні композиційних матеріалів в умовах високого тиску та високої температури порошок графіту [12] вводять до просочуючого шару із порошку кремнію [8]. Велика питома площа поверхні нанопорошків алмазу, отриманих динамічним способом з вибухових речовин, зумовлює їх високу хімічну активність [13] та активнішу взаємодію кремнію та вуглецю у просочуючому шарі.

Так, у разі введення до просочуючого шару нанопорошку алмазу 20% мас. статична міцність за одноосьового стискання ($P = 7,1$ кН) в 1,3 раза перевищувала аналогічний показник матеріалу, отриманого без додавання домішки до просочуючого шару ($P = 5,3$ кН). Необхідно зауважити, що отримані матеріали не відрізняються від традиційних за густиною (відповідно $3,43 \pm 0,02$ та $3,45 \pm 0,03$ г/см³) та твердістю (відповідно 55 ± 7 та 52 ± 7 ГПа) [7].

Отже, як показали результати дослідження структури та фазового складу отриманих матеріалів [9], додавання порошку алмазу до просочуючого шару кремнію Si-шар при отриманні композиту зумовлює формування однорідної високодисперсної зв'язуючої фази карбіду кремнію SiC за незначного вмісту незв'язаного кремнію. При цьому щільність дислокацій у частинках алмазу досліджуваних матеріалів перевищує 10^{10} см⁻², що свідчить про значну пластичну деформацію алмазу в зазначених умовах. Перелічені чинники визначають підвищення міцності отриманого композиційного матеріалу на основі алмазу.

Доведено, що на міцність отримуваних полікристалічних матеріалів на основі алмазу впливають умови спікання, а саме тиск та температура. Встановлено, що внаслідок удосконалення умов одержання композиційного матеріалу на основі алмазу завдяки вибору

режиму нагрівання алмазної маси збільшилась площа контакту на межах алмазних частинок і як наслідок уможливилось підвищення його міцності [14].

Оптимізація способу одержання композиційного матеріалу на основі алмазу включає формування алмазної маси з порошку алмазу та просочуючого шару із суміші порошоків кремнію, графіту та нанопорошку алмазу, нагрівання цієї системи при тиску не менше 2,5 ГПа до температури, достатньої для плавлення кремнію, і витримуванні за цієї температури перед нагріванням системи до температури, достатньої для плавлення кремнію, її нагрівають до температури, яка відповідає області спікання алмазів та витримують при цій температурі упродовж 40–60 с [15]. Іншими словами, одержання матеріалу забезпечувалось шляхом двостадійного спікання композиту.

Формування структури полікристалічних матеріалів на основі алмазу, для яких характерна наявність неперервного каркасу з алмазних частинок, пов'язане насамперед з формуванням зв'язку алмаз – алмаз.

Основну роль у цьому процесі відіграє пластична деформація алмазних частинок під дією високого тиску та високої температури. При цьому формування міжалмазних меж визначається переважно розвитком масо перенесення в місцях взаємного мікроіндентування зерен. При тиску спікання алмазної маси 8 ГПа середній тиск у зоні контакту зерен може становити 130 ГПа. Твердість матеріалу алмазних частинок при тиску 8 ГПа вже за температури 600 °С знижується зі 100 до 20 ГПа. Таке зниження твердості алмазу при тиску 130 ГПа і витримуванні при температурі, що відповідає області спікання алмазів (до плавлення кремнію), створює умови під дією пластичної деформації для підвищення площі контакту частинок алмазу. Це сприяє зміцненню зв'язку алмаз – алмаз та підвищенню міцності композиційного матеріалу, що підтверджується діаграмою стану спікання алмазу та плавкості кремнію



Рис. 1. Діаграма стану спікання алмазу та плавкості кремнію

(рис. 1). Згідно з діаграмою стану алмазу заштрихованою показано область спікання алмазу, пряма лінія з поміткою Si – плавлення кремнію залежно від температури і тиску. Спочатку тиск підвищували до 8 ГПа – відстань від точки А до точки В. Потім нагрівали систему до температури, що відповідала області спікання алмазів, та витримували при цій температурі (точка С); потім нагрівали систему до температури, достатньої для плавлення кремнію (точка D).

На розривній машині зусиллям до 10 кН здійснили випробування на міцність 10 одержаних зразків за одноосного статичного стискання. Результати випробувань наведено в таблиці. Як впливає з даних, використання пропонованих умов одержання – двостадійного спікання - уможливорює підвищення міцності матеріалу на 25–30%.

Результати вивчення структури зразків композиційного матеріалу підтвердили висновок про підвищення міцності композиційного матеріалу на основі алмазу, який отримано при двостадійному спіканні. Отже, мікроструктуру шліфів зразків композиційного матеріалу, виготовлених за двостадійного спікання показано на рис. 2, а, та одностадійного – на рис. 2, б. Згідно з аналізом, у композиції однорідний розподіл частинок алмазу та утвореної SiC-фази. Фактично між усіма частинками алмазу різних розмірів існують прошарки зв'язуючої фази, але в мікроструктурі зразків, показаних на рис. 2, а, їх значно менше.

Міцність зразків алмазного термостабільного композиційного матеріалу, виготовлених в умовах дво- та одностадійного спікання

№ пор.	Руйнуюче навантаження, кН, за спікання	
	Двостадійного	Одностадійного
1	9,5	3,6
2	> 10,0	8,7
3	9,0	5,5
4	8,6	3,2
5	6,5	5,4
6	9,9	5,8
7	> 10,0	7,1
8	> 10,0	9,2
9	8,4	6,9
10	3,3	9,8
Середнє значення	8,6	6,5
Довірчий інтервал при $\alpha = 0,95$	2,0	1,5
Довірчий інтервал при $\alpha = 0,90$	1,8	1,3

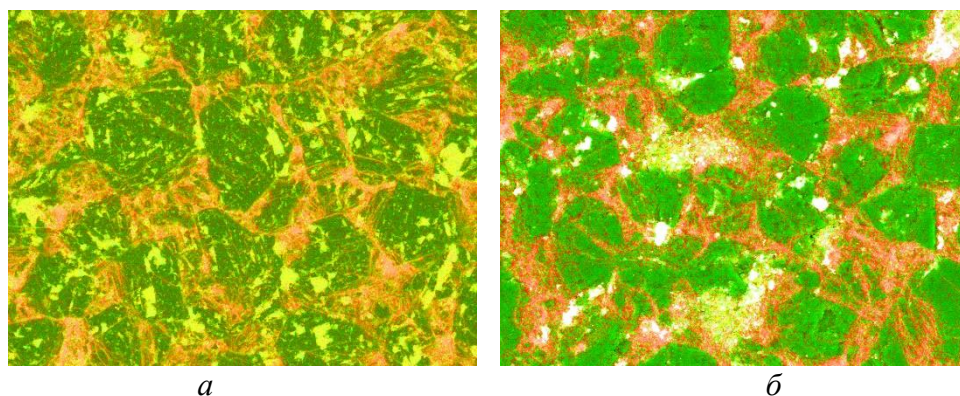


Рис. 2. Мікроструктура шліфів зразків композиційного матеріалу, виготовленого за спіканням: а – двостадійним; б – одностадійним

Отже, у результаті комплексних досліджень було встановлено, що для забезпечення зміцнення зв'язку алмаз - алмаз та підвищення міцності композиційного матеріалу (на 20–25%) систему, що складається з порошку алмазу та просочуючого шару, спочатку нагрівають до температури області спікання алмазів та витримують за цієї температури 40–60 с, потім нагрівають систему до температури, достатньої для плавлення кремнію.

Вкотре доведено вплив на міцність отриманого полікристалічного матеріалу на основі алмазу (АПКМ) введення добавки, що активізує процес спікання. Дослідження структури та складу АПКМ, отриманого в системах $C_{алм}-Co$ та $C_{алм}-Co-34Ni$ довели, що підвищення міцності відбувається при використанні як активуючої спікання добавки кобальту та суміші кобальту з нікелем. Отриманий матеріал використовують для оснащення коронок для буріння порід осадового типу [16; 17].

Формування міжалмазних меж визначається переважно розвитком масоперенесення в місцях взаємного мікроіндентування зерен. Такі добавки як кобальт та нікель, при спіканні в міжзеренних проміжках відіграють роль технологічного середовища, де відбувають взаємодія в системі алмаз – добавка і перекристалізація через рідку фазу, джерелом якої є кобальт та нікель. Це зумовлює до виникнення зв'язків алмаз – алмаз та підвищення міцності матеріалу.

Із введення кобальту та нікелю підвищується в'язкість матеріалу (зменшується його крихкість) та відповідно міцність. Крім того, сплав кобальту з нікелем в умовах високого тиску і високої температури краще змочує алмазні зерна, ніж кобальт.

Із введенням тугоплавких карбідів, таких як WC, так само підвищується міцність внаслідок утворення розчинів WC–Co аналогічно процесу, що відбувається у твердих сплавах типу BK 15, BK 20. Це сприяє заглушенню формування мікротріщин у міжзеренних проміжках. Відомо, що високі фізико-механічні властивості полікристалу визначають наявністю неперервного каркасу алмазних часток, насамперед, з формуванням зв'язку алмаз - алмаз належить пластичній деформації алмазних частинок під дією високого тиску та високої температури.

За допомогою растрового електронного мікроскопу ZEISSEVO 50 XVP досліджено структуру та склад АПКМ, отриманого в системі $S_{\text{алм}}\text{-Co}$.

У структурі полікристалічного шару АПКМ (рис. 3) переважають великі зерна алмазу розміром 20–40 мкм, між якими розміщені дрібні зерна алмазу та кобальт з розчиненим у

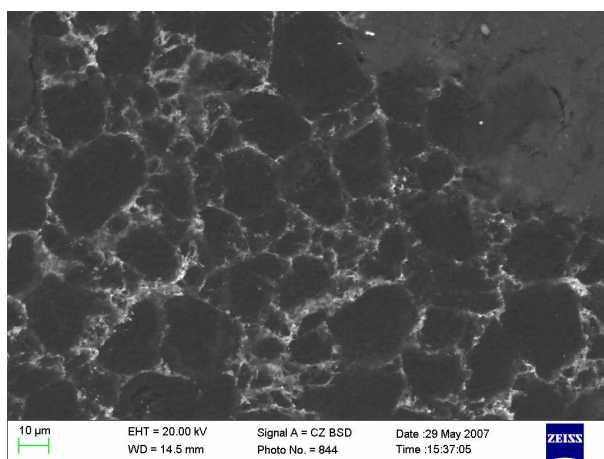


Рис. 3. Структура алмазозного шару АПКМ, отриманого в системі $S_{\text{алм}}\text{-Co}$

ньому карбідом вольфраму. Вміст кобальту в алмазомісткому шарі – близько 4% мас. Окрім безпосереднього контакту великих зерен алмазу, зв'язок між ними відбувається внаслідок наявності дрібнозеренного алмазного каркасу. Ця обставина значною мірою визначає фізико-механічні властивості вставок.

Зазначена структура формується в результаті ковзання алмазних частинок одна щодо другої при створенні тиску та в початковий період спікання шляхом подрібнення менш міцних частинок, сколювання виступів міцніших частинок, а також перекристалізації в алмаз через рідку фазу графіту, що утворився на неконтактних

поверхнях алмазних частинок. Безпосередній взаємозв'язок великих алмазних частинок відбувається внаслідок утворення невеликих перешийків через їх пластичну деформацію в місцях контакту.

На відміну від структури АТП структура АПКМ містить вдвічі менше кобальту, що повинно підвищити його термостабільність. Розподіл елементів Nb, C, Co, W у діаметральному перетині АПКМ показано на рис. 4. Як бачимо, концентрація кобальту різко збільшується поблизу ніобієвого екрану; при віддаленні від нього концентрація Nb знижується приблизно на розмір одного зерна, а потім стабілізується. Матеріал екрану частково проникає до алмазозного шару на глибину ~100 мкм, неалмазний вуглець частково проникає до області А (екран з Nb).

За допомогою растрового електронного мікроскопу досліджено структуру та склад АПКМ, що містить активуючу спікання добавку сплав кобальта з нікелем. У структурі (рис. 5)

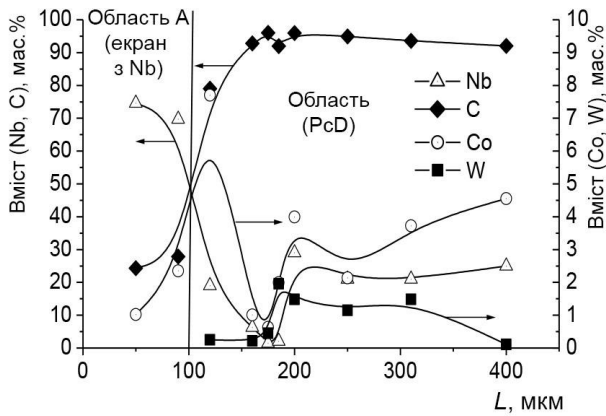


Рис. 4. Розподіл елементів Nb, C, Co, W у діаметральному перерізі АПКМ

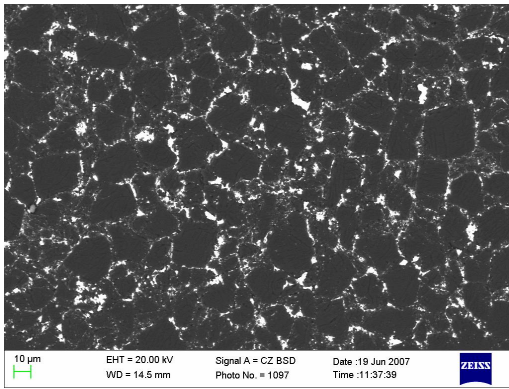


Рис. 5. Структура АПКМ, отриманого в системі $C_{алм}-Co-34Ni$

полікристалічного матеріалу переважають зерна алмазу розміром 20–40 мкм, між якими розміщено дрібні зерна алмазу та сплав кобальта з нікелем із розчиненим у цьому сплаві карбідом вольфраму.

Розподіл елементів Nb, C, Co, Ni, W у діаметральному перетині АПКМ показано на рис. 6. Характер розподілу елементів приблизно такий самий, як при спіканні алмазів у системі, що містить тільки кобальт і карбід вольфраму (рис. 4).

Як впливає з рис. 6, сумарний вміст активуючої добавки Co–34Ni, дещо більший, ніж при використанні тільки кобальту з карбідом вольфраму.

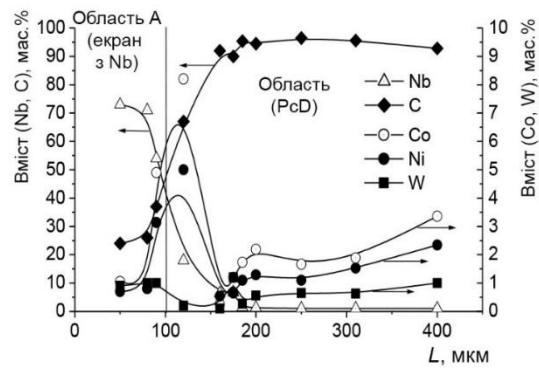
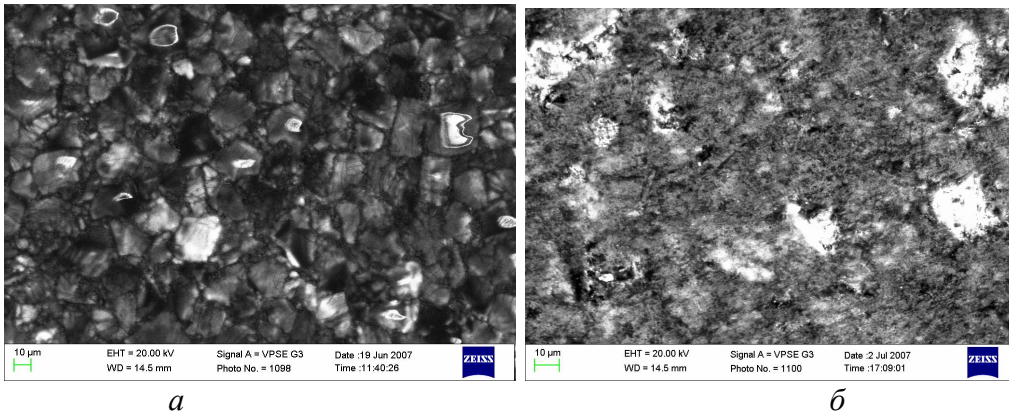


Рис. 6. Розподіл елементів Nb, C, Co, Ni, W у діаметральному перетині АПКМ

Катодолюмінісцентну топограму полікристалічного матеріалу, отриманного в системі $C_{алм}-Co-34Ni$, показано на рис. 7, а.



а

б

Рис. 7. Катодолюмінісцентна топограма полікристалічного матеріалу, отриманого в системі: а – $C_{алм}-Co-34Ni$; б – $C_{алм}-Co$

Як бачимо, алмазні зерна мають тріщини або повністю зруйновані. Тріщини та руйнування могли утворитись як за високого тиску, так і на початковій стадії спікання.

Топограму АПКМ, отриманого в системі $C_{алм}-Co$, показано на рис. 7, б. Як бачимо тріщин та руйнувань на дослідному матеріалі немає.

Відомо дані про вплив різних умов попередньої термохімічної обробки алмазних порошоків на механічні властивості алмазного полікристалічного композиту [18].

Зі збільшенням у кристалах алмазних шліфпорошків вмісту домішок металевих розчинників, які використовують для синтезу алмазу, знижуються міцність кристалів після нагрівання і температура, до якої рівень експлуатаційних властивостей кристалів не змінюється. Це відбувається внаслідок утворення при взаємодії алмазу з металевими домішками нестійких карбідів (переважно марганцю) та перекристалізації алмазу у графіт. Подібні процеси з алмазними зернами відбуваються також при нагріванні за нормальних умов композиту, спеченого за високого тиску та високої температури. У цьому зв'язку для спікання необхідно використовувати спеціально оброблені порошки для зменшення включень металів в об'ємі їх частинок. Оскільки такі включення недоступні для обробки хімічними реагентами та їх сумішами, необхідні методи, що забезпечать доступ реагентів до місць розташування таких включень.

Для цього здійснювали термообробку алмазних порошоків в атмосфері аргону при температурі $800\text{ }^{\circ}C$ упродовж 20–25 хв. Це створює умови для видалення внутрішньокристалічних домішок. В алмазних частинках, особливо дефектних, утворюються нові мікротріщини і розширюються наявні внаслідок збільшення об'єму включень порівняно з алмазом через відмінність коефіцієнтів термічного розширення, завдяки чому відбувається дифузія рухливих домішок, наприклад евтектичних сплавів, до поверхні кристала, що полегшує їх подальше розчинення в мінеральних кислотах. Крім того, поліпшуються умови для проникнення рідких хімічних реагентів до домішок, розміщених всередині кристала.

Відомі дані [19] про отримання надтвердих композиційних матеріалів, що відрізняються від існуючих надтвердих матеріалів за допомогою «безусадочної» технології. Зазначений метод полягає в отриманні композиційних матеріалів без застосування високого тиску шляхом реалізації хімічних реакцій в об'ємі заготовки. Саме правильний вибір хімічної реакції сприяє отриманню виробу необхідного складу та структури. Згідно із зазначеними даними твердість матеріалу за Кнуппом становить 50–55 ГПа. Іншими словами, без застосування високого тиску відбувається зрощення алмазних зерен, що в подальшому забезпечує високу міцність отриманого матеріалу. При цьому не наводиться навантаження на індентор, при якому отримується зазначена висока твердість отриманого матеріалу (виробу). Проте наведені в [4–6; 9; 12; 14–18] дані свідчать про те, що пластична деформація, яка призводить до зрощення зерен алмазу, а саме утворення каркасу з алмазних зерен, можлива лише в умовах високого тиску та високої температури.

Відомо два способи отримання надтвердих композиційних матеріалів в умовах високого тиску та високої температури. Згідно з першим способом підготування шихти (алмазної маси та домішок) відбувається тривалим її змішуванням; згідно з другим формується алмазна маса та просочуючий шар (кобальт, кремній) у кількості, достатній для просочування алмазної маси, потім за підвищеного тиску впорядковуються частинки, а в подальшому при підвищенні температури просочення алмазної маси складовими просочуючого шару, при цьому під дією пластичної деформації частинки алмазу зрощуються. Зносостійкість зразків, що отримують способом просочення алмазної маси активуючими спікання добавками вище на 30–40%, ніж зносостійкість зразків, отриманих за допомогою довготривалого змішування шихти.

Висновок

Підвищення міцності композитів на основі алмазу при їх спіканні за умов високого тиску досягається управлінням параметрами спікання; складом шихти та активуючих спікання добавок.

Рассмотрены возможные способы повышения прочности поликристаллических материалов на основе алмаза в целях использования полученных материалов в различных отраслях техники (прежде всего для изготовления бурового инструмента, накатного инструмента, сверл, иглол).

Ключевые слова: поликристаллические материалы, алмаз, кремний, спекание, пропитка, прочность.

INCREASE OF STRENGTH OF THE COMPOSITES BASED ON DIAMOND DURING THE SINTERING OF THEM IN TERMS OF THE HIGH PRESSURE

Possible ways of increasing the strength of polycrystalline materials based on diamond for the purpose of received materials in different areas of machinery are reviewed (first of all for production of boring instrument, downhill instrument, drills, needles).

Key words: polycrystalline materials, diamond, silicon, sintering, treatment, strength.

Література

1. Бочковский А. М. Алмазные комбинированные вставки для бурового инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 75–77.
2. Богданов Р. К., Загора А. П., Исонкин А. М. Буровой инструмент из алмазного композиционного термостойкого материала // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2004. – Вып. 7. – С. 18–21.
3. Богданов Р. К., Дутка В. А., Загора А. П. К вопросу оснащения сверхтвердыми материалами инструмента для бурения скважин в породах средней твердости // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 78–82.
4. Инструменты из сверхтвердых материалов / Под ред. Н. В. Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.
5. Пат. № 65297 Україна, 7 С22 С 26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін. – Опубл. 15.05.04, Бюл. № 3.
6. Пат. на винахід № 86321, МПК (2009) С01В 31/06 (2008.01). Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі порошку алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова та ін. – Опубл. 10.04. 09, Бюл. № 7.
7. Влияние некоторых добавок на прочность и электрофизические свойства композита алмаз-карбид кремния. / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, А. А. Бочечка, Л. А. Романко // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов. – К., 2000. – С. 79–88.
8. Britun V. F., Oleynik G. S., Semenenko N. P. Deformation process during high-pressure sintering of the diamond powders produced by catalytic synthesis // J. Mater. Sci. – 1992. – 27. – N 16. – P. 4472–4476.
9. Application of nanopowders for strengthening of composite based on diamond and silicon carbide / A. A. Shulzhenko, V. G. Gargin, A. A. Bochechka, N. V. Danilenko // Abstr. Int. Conf. «Advanced Materials». Symposium A. – K., 1999. – P. 271.

10. Глазов В. М., Татиевская С.И., Глаголева Н. И. Жидкие полупроводники. – М.: Наука, 1967. – 244 с.
11. Европ. пат. № 0116403, МКИ В24 D 3/4, С 09 К 3/14. An abrasive article / С. Phaal, N. J. Pirkin, R. P. Burnand. – Опубл. 22.08.84.
12. Воронін Г. О., Осіпов О. С., Шульженко О. О. Композит на основі алмазу та карбиду кремнію, призначений для оснащення бурового інструменту // Минералог. журн. – 1995. - № 6. – С. 90–95.
13. Волков В. К., Даниленко В. В., Елин В. И. Синтез алмаза из углерода продуктов детонации // Физика горения и взрыва. – 1990. – № 3. – С. 123–125.
14. Пат. № 34174А Україна, М. клб С22С 26/00. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / М. В. Новіков, О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, О. О. Бочечка. – Опубл. 15.02. 01; Бюл. № 1.
15. Пат. на корисну модель № 21897, МПК (2006) С01В 31/00 (2007.01). Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04. 07; Бюл. № 4.
16. Алмазный поликристаллический композиционный материал и его свойства / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, Н. А. Русинова, А. С. Осипов и др. // Сверхтвердые материалы. – 2010. – № 6. – С. 3–14.
17. Алмазный поликристаллический материал для оснащения бурового инструмента / А. А. Шульженко, Р. К. Богданов, В. Г. Гаргин и др. // Пороодообразующий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – Вып. 10. – С. 189-196.
18. Пат. України на винахід № 34175. Алмазно-твердосплавна пластина / М. В. Новіков, О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, О. О. Бочечка. – Опубл. 17.11.03; Бюл. № 11.
19. Дисперсно-упрочненные композиции алмаз-карбид кремния – новые материалы для машиностроения / С. К. Гордеев, А. Ю. Ежов, Т. Д. Каримбаев и др. // Композиты и наноструктуры. - 2015. – 7, № 2. – С. 61–71.

Надійшла 15.06.17

УДК 666.792.3

К. В. Сліпченко, асп., **Д. А. Стратійчук**, канд. техн. наук, **І. А. Петруша**, д-р техн. наук,
В. З. Туркевич, член кор. НАН України

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

ТЕРМОБАРИЧНЕ СПІКАННЯ КОМПОЗИТУ $cBN-Cr_3C_2$

Здійснено спікання та досліджено характеристики спеченого композиту системи $cBN-Cr_3C_2$. Спікання виконано в умовах високого тиску (7,7 ГПа) та температурного діапазону 1500–2100 °С. Об'єкт дослідження – дві композиції з вмістом 50 та 90 об.% cBN . Суміші отримано мокрим змішуванням порошків cBN та Cr_3C_2 у барабанному змішувачі PULVERISETTE 6 classic line. Вивчено фазовий склад керамоматричних композитів отриманих, шляхом термобаричної обробки сумішей. Отримані результати свідчать, що варіювання умов спікання приводить до зміни фазового складу та властивостей керамо-матричних композитів. Підвищення температури спікання приводить до зростання твердості досліджуваних композитів.

Ключові слова: апарат високого тиску, надтверда кераміка, кубічний нітрид бору, фазовий склад, структура, твердість.