

Key words: *diamond - tungsten carbide nanocomposite, nanopowders, HP-HT sintering, finish turning, aluminum alloys, treatment regimens.*

Литература

1. Пат. на винахід № 93803 Україна, М. кл.⁶ МПК, В24D 3/02, В22F 3/14. Спосіб отримання алмазного композиційного матеріалу / М.В. Новіков, О.О. Бочечка, С.М. Назарчук, В.С. Гаврилова, Г.С. Олейник, Л.О. Романко, І.А. Свешніков, С.Д. Заболотний. – Опубл. 10.03.11; Бюл. № 5.
2. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А.А. Шульженко, В.Г. Гаргин, В.А. Шишкин, А.А. Бочечка. – К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.
3. Поликристаллический композиционный материал алмаз–карбид вольфрама / С.Н. Назарчук, А.А. Бочечка, В.С.Гаврилова и др. // Сверхтвердые материалы. - 2011. - № 1. - С. 3-17.
4. Бочечка О.О., Свешніков І.А., Назарчук С.М, Заболотний С.Д., Гаврилова В.С., Боженок В. М., Луцак Е.М., Романко Л.О., Ільницька Г.Д., Смекаленков С.В. Алмазний полікристалічний композиційний матеріал алмаз – карбід вольфраму для бурового інструменту / О.О. Бочечка, І.А. Свешніков, С.М. Назарчук та ін. // Інструментальний світ. – К.: ІПЦ АЛКОН НАН України, 2011. – № 1–2 (49–50). – С. 50–52.
5. Девин Л.Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента – К.: Наукова думка, 1992. – 131 с.
6. Стахнив Н.Е., Сулима А.Г. Закономерности изменения силы резания при врезании и выходе инструмента из заготовки при точении силуминов резцами с круглыми АТП // Сверхтвердые матер. – 2009. – № 1. – С. 75–83.
7. Стахнив Н.Е. Девин Л.Н., Исследование влияния износа резца, оснащенного пластиной из композита на основе КНБ на его вибрации при чистовом точении // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 3. – С. 62–69.
8. Васин С.А. Прогнозирование виброустойчивости инструмента при точении и фрезеровании – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.

Поступила 03.06.14

УДК 621.921.34-492.2:536.421.5:539.89

Е. М. Луцак; О. О. Бочечка, д-р техн. наук

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

ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ В КОМПОЗИТІ, УТВОРЕНОМУ ШЛЯХОМ ПРОСОЧЕННЯ КОБАЛЬТОМ АЛМАЗНОГО НАНОПОРОШКУ УДА ПРИ ВИСОКИХ ТИСКУ І ТЕМПЕРАТУРІ

В роботі розглядається вплив об'ємного вмісту кобальту та графіту на значення залишкових напружень в алмазній фазі композиту, утвореного шляхом просочення кобальтом алмазного нанопорошку детонаційного синтезу УДА під дією високого тиску.

Ключові слова: *просочення, залишкові напруження, алмазний нанопорошок, багатофазний матеріал*

Вступ

Проведення спікання алмазних мікропорошків в присутності розчинників вуглецю, таких, як нікель чи кобальт активує процес спікання, дозволяє знизити температуру спікання

й одержати полікристали з поліпшеними фізико-механічними властивостями. Але при використанні алмазних нанопорошків для спікання полікристалів шляхом просочення їх кобальтом, вже на етапі механічної обробки алмазного нанокompозиту виникають мікротріщини, а інколи відбувається навіть руйнування зразків, що вказує на їхній напружений стан.

У цій роботі проведено теоретичний розрахунок залишкових напружень для алмазного нанокompозиту, утвореного шляхом просочення кобальтом алмазного порошку УДА. Мікроструктура таких композитів являє собою, як правило, каркас із алмазних частинок (85–90 % від загального об'єму), між якими знаходиться кобальт. Крім алмазної і кобальтової фази в такому композиті зазвичай присутня також незначна кількість неалмазного вуглецю, тому було розглянута також трьохфазна система алмаз-кобальт-графіт і вплив наявності графіту на залишкові напруження в композиті.

Методика роботи

Оскільки формування композитів відбувається при високих температурах і тиску, то при охолодженні і знятті тиску в матеріалі виникають залишкові напруження, обумовлені різницею термопружних властивостей фаз і деформацій усадки. Розрахунок залишкових напружень в багатофазних матеріалах ґрунтується на припущенні про випадковий розподіл в них структурних елементів, макроізотропності матеріалу, ізотропності компонентів, виконанні рівнянь рівноваги та відсутності флуктуацій деформації в межах фази [1].

У випадку двофазного матеріалу в роботі [2] для середніх залишкових напружень в фазах $\langle y^i \rangle$ та $\langle y^j \rangle$ при температурі T отримані вирази:

$$\langle y^i \rangle = C_j \eta, \quad \langle y^j \rangle = -C_i \eta,$$

де C_i, C_j – об'ємні концентрації фаз,

$$\eta = \frac{\gamma}{K_i K_j + \langle K \rangle \gamma} \left\{ (K_i - K_j) p_s - 3 K_i K_j [(\alpha_i - \alpha_j)(T - T_s) + e_i - e_j] \right\}, \quad (1)$$

K_i, K_j – модулі об'ємного стиску, α_i, α_j – коефіцієнт лінійного температурного розширення фаз, e_i, e_j – усадки компонентів за рахунок фазових перетворень $\frac{\Delta V_i}{V_i}$,

$$\gamma = \frac{4}{3} \langle \mu \rangle, \quad \langle \mu \rangle = C_i \mu_i + C_j \mu_j, \quad \langle K \rangle = C_i K_i + C_j K_j, \quad (2)$$

μ_i, μ_j – модулі зсуву компонентів.

В реальному композиті на основі алмазу та кобальту алмазні частинки утворюють неперервний каркас, а в міжалмазних проміжках знаходяться включення кобальту і графіту (рис. 1).

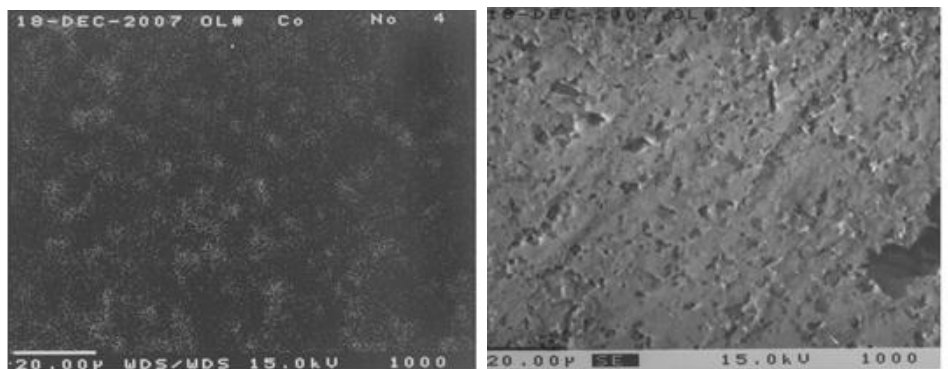


Рис. 1. Структура зразка, одержаного просоченням нанопорошку УДА: а) в характеристичному випромінюванні кобальту, б) у вторинних електронах

Для об'ємних концентрацій кобальту, графіту і алмазу в композиті C_1, C_2, C_3 і, відповідно, констант вказаних речовин $K_1, K_2, K_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, e_1, e_2, e_3$. на основі припущення про включення як деяку «ефективну» фазу і приведених в [2] виразів для ефективних сталей двофазного матеріалу (1.5) і зв'язку між середніми за фазами напруженнями і середнім напруженням в двофазному матеріалі (1.7) було отримано наступні вирази для середніх залишкових напруг в фазах трифазного матеріалу [3]:

$$\langle \sigma^1 \rangle = \bar{K}_1 \langle \sigma^4 \rangle + C_2^{\text{ef}} \bar{\eta} \quad (3)$$

$$\langle \sigma^2 \rangle = \bar{K}_2 \langle \sigma^4 \rangle - C_1^{\text{ef}} \bar{\eta} \quad (4)$$

$$\langle \sigma^3 \rangle = -\eta C_4, \quad (5)$$

де верхні індекси 1, 2, 3 відповідають кобальту, графіту і алмазу. Константи, що входять до правих частин останніх трьох рівнянь виражаються за допомогою співвідношень:

$$\bar{K}_1 = \frac{K_1(K_2 + \gamma^{\text{ef}})}{K_1 K_2 + \langle K^{\text{ef}} \rangle \gamma^{\text{ef}}}, \quad \bar{K}_2 = \frac{K_2(K_1 + \gamma^{\text{ef}})}{K_1 K_2 + \langle K^{\text{ef}} \rangle \gamma^{\text{ef}}},$$

$$\langle \sigma^4 \rangle = \eta C_3, \quad C_2^{\text{ef}} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}, \quad C_1^{\text{ef}} = \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad C_4 = C_1 + C_2,$$

$$\bar{\eta} = \frac{\gamma^{\text{ef}}}{K_1 K_2 + \langle K^{\text{ef}} \rangle \gamma^{\text{ef}}} \{ (K_1 - K_2) p_s - 3 K_1 K_2 [(\alpha_1 - \alpha_2)(T - T_s) + e_1 - e_2] \},$$

а η визначається у відповідності з формулами (1) і (2) при $i=4, j=3$. В свою чергу, ефективні значення констант обраховуються наступним чином:

$$\langle e^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} e_1 + C_2^{\text{ef}} e_2, \quad \langle \mu^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} \mu_1 + C_2^{\text{ef}} \mu_2,$$

$$\gamma^{\text{ef}} = \frac{4}{3} \langle \mu^{\text{ef}} \rangle, \quad \langle K^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} K_1 + C_2^{\text{ef}} K_2,$$

$$\langle \alpha^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} \alpha_1 + C_2^{\text{ef}} \alpha_2, \quad \langle K^{\text{ef}} \alpha^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} K_1 \alpha_1 + C_2^{\text{ef}} K_2 \alpha_2,$$

$$\langle K^{\text{ef}} e^{\text{ef}} \rangle = C_1^{\text{ef}} K_1 e_1 + C_2^{\text{ef}} K_2 e_2, \quad \delta^{\text{ef}} = \frac{(9 \langle K^{\text{ef}} \rangle + 8 \langle \mu^{\text{ef}} \rangle) \langle \mu^{\text{ef}} \rangle}{6(\langle K^{\text{ef}} \rangle + 2 \langle \mu^{\text{ef}} \rangle)},$$

$$K_4 = \frac{K_1 K_2 + \langle K^{\text{ef}} \rangle \gamma^{\text{ef}}}{C_1^{\text{ef}} K_2 + C_2^{\text{ef}} K_1 + \gamma^{\text{ef}}}, \quad \mu_4 = \frac{\mu_1 \mu_2 + \langle \mu^{\text{ef}} \rangle \delta^{\text{ef}}}{C_1^{\text{ef}} \mu_2 + C_2^{\text{ef}} \mu_1 + \delta^{\text{ef}}},$$

$$\alpha_4 = \frac{K_1 K_2 \alpha^{ef} + \langle K^{ef} \alpha^{ef} \rangle \gamma^{ef}}{K_1 K_2 + \langle K^{ef} \rangle \gamma^{ef}}, e_4 = \frac{K_1 K_2 e^{ef} + \langle K^{ef} e^{ef} \rangle \gamma^{ef}}{K_1 K_2 + \langle K^{ef} \rangle \gamma^{ef}}.$$

Для проведения расчетов была написана программа на языке Turbo Basic. В таблице приведены выходные данные для расчета. Усадкой компонентов после фазовых превращений было пренебрежено.

Выходные данные для расчета остаточных напряжений в трехфазном алмазном композите

Назва константи	Одиниці вимір.	Значення		
		алмаз	кобальт	графіт
Модуль об'ємного стиску K	ГПа	442	17,5	5,03
Модуль зсуву μ	ГПа	576	437	70
Коефіцієнт лінійного температурного розширення α	$K^{-1} \cdot 10^{-6}$	3,7	12	7,9

Обговорення результатів

Проведені теоретичні розрахунки остаточних напружень на основі виразів (3–5) показали, що алмазна фаза нанокompозиту, утвореного шляхом просочення кобальтом алмазного нанопорошку УДА при високому тиску і температурі, піддається значним залишковим напругам розтягу, які досягають 1 ГПа при об'ємному вмісті кобальту 13–14 % (рис. 2).

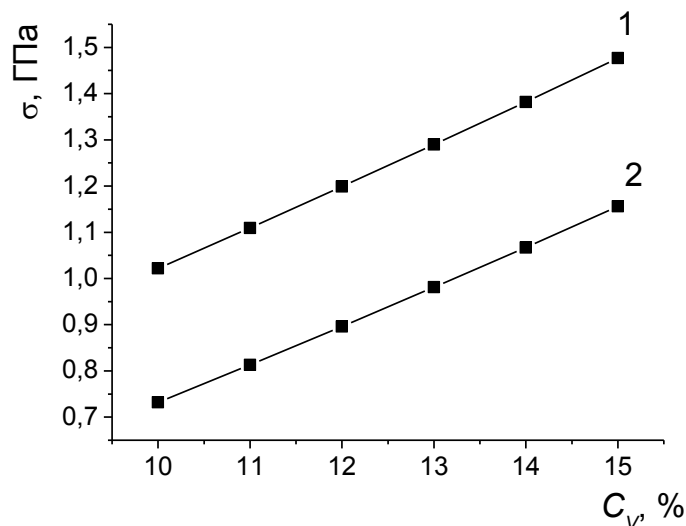


Рис. 2. Вплив об'ємного вмісту включень кобальту на залишкові напруження в алмазному каркасі композитів алмаз + кобальт + 3 % графіту (1) і алмаз + кобальт (2)

Спираючись на результати роботи [4] (с. 146–152) і враховуючи хімічну близькість кобальту і нікелю можна припустити, що при охолодженні розчинений в металі вуглець виділяється у вигляді графітових включень (рис. 3).

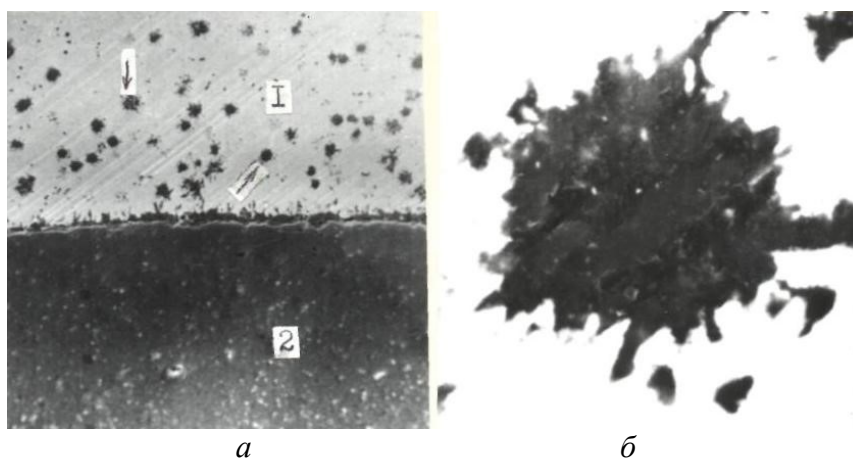


Рис. 3. Структура зразка, отриманого в результаті просочення нікелем алмазного порошку: а) перехідна зона нікель-полікристал алмазу; б) кристаліти вуглецю в нікелі

Приймаючи до уваги, що в умовах спікання композиту наявна також незначна графітизація алмазного вуглецю, було розглянуто вплив графіту на залишкові напруження в композиті. Встановлено, що збільшення об'ємної частки графіту від 0,5 до 3 % за постійної частки кобальту, призводить до збільшення залишкових напружень розтягу алмазної фази в 1,3 рази (рис. 4.).

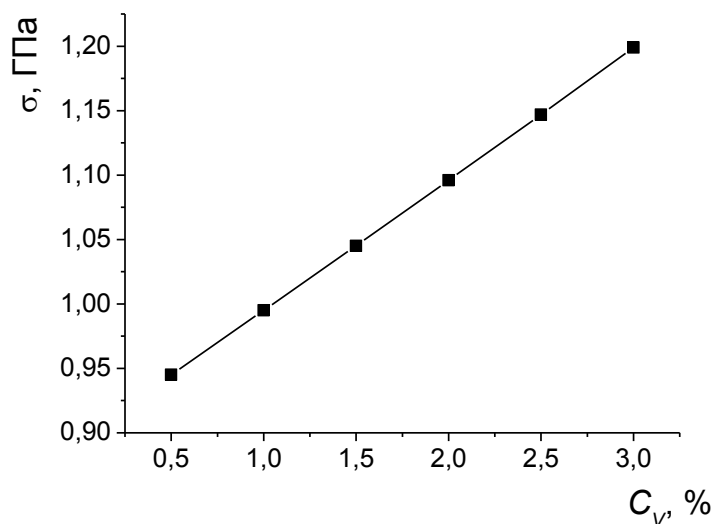


Рис. 4. Вплив об'ємного вмісту включень графіту на залишкові напруження в алмазному каркасі композиту з об'ємним вмістом кобальту 12%

Висновки

Розрахунки залишкових напружень показали, що алмазна фаза нанокompозиту піддається значним залишковим напругам розтягу, які досягають 1 ГПа при об'ємному вмісті кобальту 13-14 %

Збільшення об'ємної частки графіту від 0,5 до 3 % за постійної частки кобальту, призводить до збільшення залишкових напружень розтягу алмазної фази в 1,3 рази.

В работе изучается влияние объемного содержания кобальта и графита на значение остаточных напряжений в алмазной фазе композита, образованного путем пропитки кобальтом алмазного нанопорошка детонационного синтеза УДА под действием высокого давления.

Ключевые слова: пропитка, остаточные напряжения, алмазный нанопорошок, многофазный материал

The effect of volume content of cobalt and graphite on value of residual stresses in the diamond phase composite formed by high pressure cobalt impregnation of detonation synthesized diamond nanopowder UDD have been studied.

Key words: impregnation, residual stresses, diamond nanopowder, multiphase material

Література

1. Хорошун Л. П. Методы теории случайных функций в задачах о макроскопических свойствах микронеоднородных сред // Прикладная механика. – 1978. – 14, № 2. – С. 3–17.
2. Григорьев О. Н., Трефилов В. И., Хорошун Л. П. Остаточные напряжения в двухфазных керамических материалах // Материалы III Всесоюзного симпозиума «Технологические остаточные напряжения». Москва: Изд-во АН СССР. – 1988. – С. 129–133.
3. Бочечка А. А. Остаточные напряжения в композите, полученном пропиткой кремнием алмазного порошка при высоком давлении // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ АЛКОН НАН Украины, 2004. – С. 32–135.
4. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. Поликристаллические материалы на основе алмаза.– К.: Наук. думка, 1989. – 192 с.

Надійшла 15.07.14

УДК 621. 921:661.65

Н. О. Олійник, Г. Д. Ільницька, кандидати технічних наук; **І. О. Боримський;**
О. І. Боримський, канд. техн. наук; **В. М. Ткач**, д-р фіз-мат. наук;
Г. А. Базалій, В. В. Тимошенко, І. М. Зайцева

Институт надтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, м. Київ

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКТІВ СИНТЕЗУ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ, СИНТЕЗОВАНИХ ЗА НЕТРАДИЦІЙНИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

Досліджено продукт синтезу і полідисперсний порошок кубічного нітриду бору, отриманий за нетрадиційними технологіями синтезу. Показано, що кристали порошку мають розмір менше 20 мкм, для переробки продукту синтезу з економічною і екологічною перевагами доцільно застосовувати ультразвукову обробку.

Ключові слова: порошки кубічного нітриду бору, продукт синтезу, ультразвукова обробка, екологічні та економічні переваги переробки.