

УДК 621.921.34-492:621.7.019.3:621.78.011

О. І. Чернієнко, О. О. Бочечка, д-р. техн. наук

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

РОЗРАХУНОК ВНУТРІШНІХ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ЗЕРНАХ АЛМАЗНОГО ПОРОШКУ, СИНТЕЗОВАНОГО В СИСТЕМІ Mg–Zn–B–C

Для алмазних порошків, синтезованих у системі Mg–Zn–B–C, розраховано рівень залишкових напружень у кристалах алмазу залежно від вмісту в них як домішок фаз, синтезованих одночасно з алмазом. Результати розрахунку засвідчили, що зі збільшенням вмісту B і B₄C у включеннях знижується рівень напружень розтягу в кристалах алмазу при термообробці (1100 °C), що обумовлює збільшення коефіцієнта термостабільності від 0,6 до 0,8.

Ключові слова: алмаз, термостабільність, внутрішні напруження.

Вступ

Синтетичні алмазні порошки використовують для створення полікристалічних, композиційних матеріалів, інструментів, які застосовують в обробці твердих сплавів, для роботи при великих навантаженнях, для шліфування каменю, обробки скла і т.д. При експлуатації цих інструментів алмазні зерна зазнають дії високої температури. Після нагрівання алмазного порошку, синтезованого в системі Ni–Mn–C до температури 900 °C відбувається різке зниження показника міцності [1, с. 65]. Це обмежує режими роботи інструменту.

Існує дві найбільш поширені теорії, які пояснюють механізм впливу дії високої температури на міцність алмазу:

- хімічна взаємодія алмазної ґратки з присутніми в ній включеннями [2];
- розширення та створення внутрішніх напружень включеннями в алмазному зерні за рахунок різниці значень коефіцієнтів термічного розширення алмазу та матеріалу включень [3].

Величина, яка кількісно характеризує вплив температури на зміну фізико-механічних властивостей – це термостабільність. Термостабільністю алмазних порошків вважається їхня здатність зберігати міцність після дії високої температури. Коефіцієнт термостабільності $K_{ТС}$ алмазного порошку визначають як відношення показника міцності після термообробки до показника міцності вихідного алмазного порошку [4].

Для підвищення термостабільності алмазних порошків необхідно зменшити вміст включень, які хімічно взаємодіють із ґраткою алмазу, та напруження в алмазному зерні. Цього можна досягти шляхом синтезу більш досконалих алмазів з малою кількістю дефектів та включень. В роботі [5] показано, що при зниженні міцності зерен алмазу їхня термостабільність знижується. Це зумовлено тим, що при збільшенні кількості дефектів та включень в алмазних зернах, які ведуть до зниження міцності вихідних порошків, підвищується рівень внутрішніх напружень, які вони створюють при дії високої температури. У результаті порошки з низькою міцністю ще й мають низьку термостабільність. Підвищити $K_{ТС}$ також можливо шляхом синтезу алмазу в системі, елементи якої не взаємодіють з алмазом за високої температури без тиску та створюють менші внутрішні напруження розтягу.

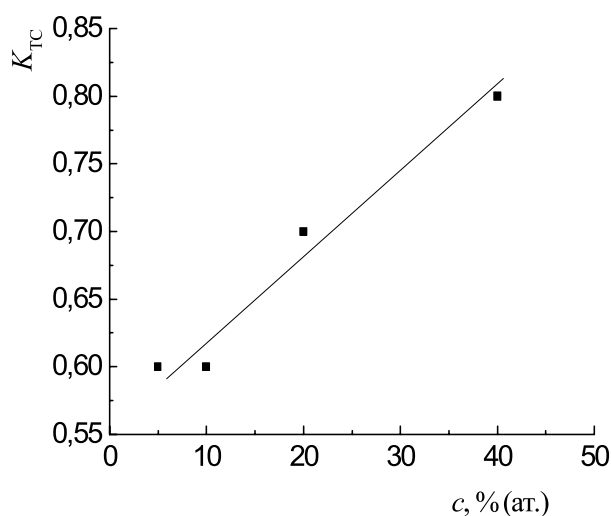


Рис. 1. Залежність коефіцієнта термостабільності алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, від концентрації бору у вихідній шихті

Результати дослідження алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, засвідчили, що їхня термостабільність підвищується зі збільшенням концентрації бору у вихідній шихті (рис. 1) [6].

При синтезі алмазу в цій системі в алмазних зернах утворюються включення інших фаз, які також синтезуються в цій системі: Zn, MgZn₂, MgO, B₄C, MgB₂C₂, Mg, B [7]. Після охолодження та зняття тиску включення створюють залишкові напруження розтягу, що призводить до зниження міцності зерен. В даній роботі проводиться розрахунки середніх залишкових напружень σ , що виникають в зернах за

температури термообробки 1100 °C для різних концентрацій основних фаз B, B₄C, Zn, Mg.

Методика розрахунку залишкових напружень в алмазних зернах

Розрахунок залишкових напружень, зумовлених різницею термопружних властивостей фаз і деформацій усадки в багатофазних матеріалах, базується на припущенні про випадковий розподіл у них структурних елементів, макроізотропність матеріалу, ізотропність компонентів, виконання умов рівності та відсутність флуктуацій деформації в межах фази [8].

Формули для розрахунку середніх залишкових напружень у фазах двофазного матеріалу наведено в роботі [9], відповідні формули для трифазного матеріалу – у [10]. Необхідні довідкові матеріали наведено в [11–20], вихідні дані – в таблиці.

Вихідні дані для розрахунку залишкових напружень в алмазних зернах, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C.

Назва константи	Одиниця вимір.	Значення [джерело інформації]				
		алмаз	B	B ₄ C	Mg	Zn
Модуль об'ємного стиску K	ГПа	442 [11]	210 [13]	245 [14]	31 [розрах]	69,4 [розрах]
Модуль зсуву μ	ГПа	576 [11]	169 [розрах]	200 [15]	18 [19]	38 [16]
Коефіцієнт лінійного термічного розширення α	$K^{-1} \cdot 10^{-6}$	3,7 [12]	8,3 [17]	4,5 [18]	26 [19]	29,7 [20]

Результати досліджень та їх обговорення

Зі збільшенням вмісту бору В у вихідній шихті у включеннях збільшується кількість фаз, які містять бор – бору В та карбиду бору B_4C , відповідно зменшується вміст цинку Zn і магнію

Mg. Вважатимемо, що об'єм включень незмінний, змінюється лише співвідношення кількості цих фаз. При цьому співвідношення між кількістю фаз В і B_4C , а також між Zn і Mg постійні.

Залежність залишкових напружень розтягу в алмазних зернах від зміни фаз у включеннях для алмазного порошку, синтезованого в системі Mg–Zn–B–C, показано на рис. 2.

Як засвідчили результати розрахунку, зі збільшенням вмісту В і B_4C у включеннях зменшується рівень напружень розтягу у кристалах алмазу при термообробці (1100 °C). Очевидно цим пояснюється виявлене експериментально збільшення коефіцієнта термостабільності від 0,5 до 0,8.

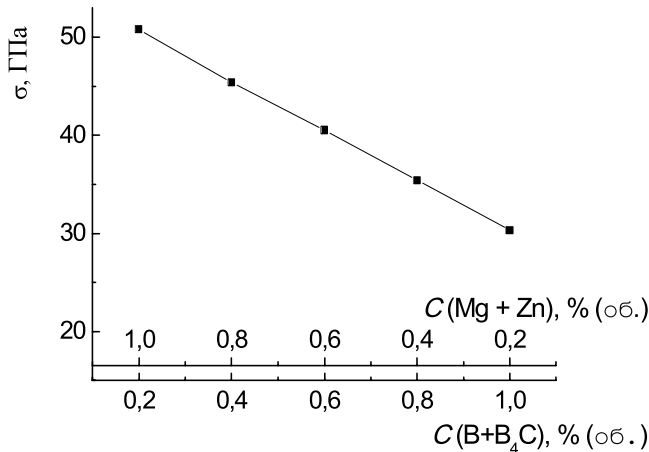


Рис. 2. Залежність залишкових напружень розтягу в алмазному зерні при температурі 1100 °C від вмісту В і B_4C

Висновки

Таким чином, рівень залишкових напружень розтягу алмазних порошків, синтезованих у системі Mg–Zn–B–C змінюється в залежності від співвідношення вмісту фаз у включеннях алмазних зерен. Зі збільшенням вмісту фаз бору та карбиду бору рівень залишкових напружень розтягу в алмазних зернах при температурі 1100 °C знижується.

Для алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, розраховано рівень остаточних напружень в кристалах алмаза в залежності від вмісту в них в якості примісей фаз, синтезованих одночасно з алмазом. Результати розрахунку показали, що з увеличением содержания В и B_4C во включениях снижается уровень растягивающих напряжений в кристаллах алмаза при термообработке (1100 °C), что обуславливает увеличение коэффициента термостабильности от 0,6 до 0,8.

Ключевые слова: алмаз, термостабильность, внутренние напряжения.

Level of residual stresses in diamond crystals for the diamond powders synthesized in the system Mg–Zn–B–C, depending on the content of impurity phases synthesized together with the diamond was calculated. The analysis of these strains showed that the increase in the amount of boron В and B_4C in the inclusions reduces the level of tensile stresses in the diamond crystals during heat treatment (1100 °C), which leads to an increase in thermal stability factor of 0.6 to 0.8.

Key words: diamond, thermostability, residual stress.

Література

1. Поликристаллические материалы на основе алмаза / А. А. Шульженко, В. Г. Гаргин, В. А. Шишкин, А. А. Бочечка – К.: Наук. думка, 1989. - 192 с.
2. Гаргин В. Г. Термическое разупрочнение алмазов синтезованных в системе Ni–Mn–C // Влияние высокого давления на структуру и свойства материалов. – К.: ИСМ АН УССР, 1983. – С. 93–102.

3. Воздействие высокой температуры на монокристаллы алмаза марки САМ / Ю. А. Детчуев, В. А. Лаптев, М. Г. Бондаренко // Алмазы и сверхтвердые матер. – 1976. – Вып. 6. – С. 1–3.
4. Шліфпорошки синтетичних алмазів термостійкі. Технічні умови. ТУ У 28.5-05417377-075-2003. – Київ: ІНМ ім. Бакуля, 2003. – 14 с.
5. Повышение эффективности работы алмазного бурового инструмента Г. П. Богатырева, Р. К. Богданов, А. М. Исонкин и др. // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». 2010. Вип.11(161). С. 35–43.
6. Вплив бору на міцність та термостабільність алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C / О. І. Чернієнко, О. О. Бочечка, Т. О. Косенчук, Г. Д. Ільницька // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2011.– Вып. 14. – С. 261–265.
7. Фазові перетворення в системі магній–цинк–бор–вуглець при різній концентрації бору в умовах високого тиску і температури / О. І. Чернієнко, Н. М. Білявина, О. О. Бочечка // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010.– Вып. 13. – С. 246–249.
8. Хорошун Л. П. Методы теории случайных функций в задачах о макроскопических свойствах микронеоднородных сред // Прикладная механика. – 1978. – 14 – № 2. – С. 3–17.
9. Остаточные напряжения в двухфазных керамических материалах / О. Н. Григорьев, В. И. Трефилов, Л. П. Хорошун // Матер. III Всесоюз. Сим поз. «Технологические остаточные напряжения». – М.: Изд-во АН СССР, 1988. – С. 129–133.
10. 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.132–135.
11. Метод прогнозирования упругих характеристик алмазных композитов / В. В. Каргузов, К. Е. Ротмистровский, А. В. Степаненко, В. И. Трефилов // Порошковая металлургия. – 2001. – № 11–12. – С. 85–91.
12. Физические величины. Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Меймехова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
13. Equation of state and pressure induced amorphization of beta-boron from X-ray measurements up to 100 GPa / D. N. Sanz, P. Loubeyre, M. Mezouar // Phys. Rev. Lett. – 2002. — 89, N 24. – P. 245501(4).
14. Thevenot F. Boron carbide — a comprehensive review // J. Europ. Ceram. Soc. – 1990. – 6, N 4. – P. 205–225.
15. Gieske J. H., Aselage T. L., Emin D. Elastic Properties of Boron Carbides; pp. 376–9 in Boron-Rich Solids. AIP Conf. Proc., Vol. 231, Edited by D. Emin, T. Aselage, C. L. Beckel, A. C. Switendick, and B. Morosin. American Institute of Physics, New York, 1991
16. Кошкин Н. Н., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике – М., Наука. 1976. 256 с
17. Чиркин В. С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Справочник – М., Атомиздат, 1968. – 474 с.
18. Feinle P., Knoch H. Product Development with SiC and B4C Ceramics, 3 rd European Symposium on Engineering Ceramics, Ed. FL Riley, Elsevier, 1991
19. Энциклопедия неорганических материалов / Под ред. И. М. Федорченко. – В 2-х т. – К.: Главная редакция УСЭ, 1977. – Т. 1. – 840 с.
20. Энциклопедия неорганических материалов / Под ред. И. М. Федорченко. – В 2-х т. – К.: Главная редакция УСЭ, 1977. – Т. 2. – 816 с.

Надійшла 06.07.12