

*functions exhibit significant increase in the effects of both incoherent scattering of tunneling electrons and thermal fluctuations on the order parameter when the critical transparency of the barrier is approaching and superconductivity disappears in the ground state. It is shown that the superconducting temperature has a nonmonotonic dependence on the barrier transparency, experimental data for an Al-Pb structure is compared to theoretical predictions.*

**Keywords:** superconductivity, critical temperature, hybrid structure, tunnel barrier, coherence

## **ФОРМУВАННЯ ПОЛІКРИСТАЛІВ ПІД ЧАС СПІКАННЯ ЗА ВИСОКОГО ТИСКУ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Mg–Zn–C**

**О. О. Бочечка, О. І. Чернієнко, О. В. Куш, В. В. Гаращенко**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Київ, вул. Автозаводська, 2,  
obochechka@gmail.com

**Анотація.** Описано спікання під дією високого тиску алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–C. Показано, що поєднання в вихідній суміші для спікання дрібної та крупної фракцій дозволяє зменшити в 2,46 рази залишкову пористість в порівнянні зі спіканням за такого ж тиску алмазних порошків, синтезованих в системах на основі металів групи заліза, і досягти твердості полікристала 50,7 ГПа за навантаження на індентор Кнупа 9,8 Н.

**Ключові слова:** алмазний порошок, високий тиск, спікання, алмазний полікристал, твердість

Використання для спікання алмазних порошків, кристалізованих в традиційних ростових системах на основі металів і сплавів з елементів групи заліза, обмежує рівень термостабільності одержаних полікристалів. Використання нетрадиційних розчинників вуглецю дозволяє підвищити ефективність одержання та покращити властивості порошків алмазу [1]. В 1975 р. співробітниками ІНМ НАН України був розроблений спосіб одержання (синтезу) алмазу з використанням як розчинника сплаву MgZn [2].

Як було показано в роботі [3], термостабільність алмазних порошків, яка характеризує зміну показника міцності після нагрівання, для алмазних порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C зростає на всьому діапазоні концентрацій.

За тиску 8 ГПа та температури 1700 °С в системі Mg–Zn –C було здійснено перекристалізацію графіту в алмаз – синтезовано алмазні порошки. Після синтезу проведено хімічне очищення продукту синтезу та здійснено за допомогою вібростит класифікацію одержаного алмазного порошку за зернистостями.

Дослідження поглинання електромагнітного випромінювання в інфрачервоній області синтезованим алмазним порошком показали, що в спектрі наявний пік 2820 см<sup>-1</sup> (рис. 1), який відповідає центрам поглинання, утвореним при заміщенні в ґратці алмазу атомів вуглецю атомами бору, тобто синтезований порошок алмазу відноситься до типу Пв.

Коефіцієнт перетворення графіту в алмаз, який є кількісною характеристикою інтенсивності кристалізації алмазу, для дослідженої системи Mg–Zn–C складає 64 %, а максимальна кількість алмазного порошку (біля 50 %) відповідає зернистості 80/50. Із зменшення розміру зерен зменшується кількість монокристалів в одному зерні та збільшується кількість монокристалічних зерен. Так зерна фракції < 40 мкм в більшості є монокристалами.

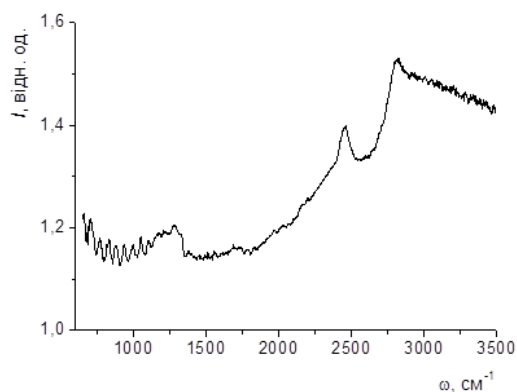


Рис.1. Спектр поглинання інфрачервоного випромінювання порошком алмазу зернистості 125/100, синтезованим в системі Mg–Zn –C

Склад вихідних алмазних порошоків для спікання полікристалів за розмірами фракцій наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Склад вихідних алмазних порошоків для спікання полікристалів

№	Вміст фракцій, % (мас.)				
	< 40 мкм після ситової класифікації продукту синтезу	< 40 мкм після подрібнення фракцій 80/50 та 50/40	100/80	125/100	> 125 мкм
1	100,0	–	–	–	–
2	–	100,0	–	–	–
3	60,0	–	25,0	11,1	3,9
4	–	60,0	25,0	11,1	3,9

У таблиці 2 наведено густину та твердість зразків полікристалів, спечених упродовж 20 с з досліджених алмазних порошоків під дією тиску 8 ГПа за різних температур. Твердість визначали методом індентування за навантаження на індентор Кнупа 9,8 Н.

Таблиця 2. Густина та твердість зразків полікристалів, спечених за різних температур з алмазних порошоків, склад яких наведено в табл. 1

Номер порошку в табл. 1.	Температура спікання, °C	Густина, г/см <sup>3</sup>	Твердість, ГПа
1	1840	3,44	47,6
1	2000	3,46	47,0
2	1840	3,40	31,2
2	1900	3,37	34,5
3	1750	3,44	46,7
3	1800	3,46	50,7
4	1700	3,38	37,5
4	1840	3,43	40,8

Як видно з таблиці, полікристал з найбільшою густиною має найвищу твердість. Залишкова пористість цього полікристалу складає 1,3 %. Таким чином, додавання крупної фракції до дрібної веде до подальшого підвищення ступеня ущільнення – спікання суміші синтезованих алмазних порошоків – зернистістю 100/80 (40 %) та дрібнодисперсного з розміром алмазних частинок менше 40 мкм, одержаного класифікацією продукту синтезу, за температури 1800 °С та тиску 8 ГПа дозволяє зменшити в 2,46 рази залишкову пористість в порівнянні зі спіканням за такого ж тиску алмазних порошоків, синтезованих в системах на основі металів групи заліза [4]. Твердість цього полікристалу, визначена за навантаження на індентор Кнупа 9,8 Н, становить 50,7 ГПа, що складає 67 % від твердості монокристала природного алмазу типу Ia (грань (100)) [5].

В цілому, підвищення твердості відбувається за рахунок покращення спікання алмазних порошоків. Про це свідчить залежність твердості одержаних полікристалів від ступеня ущільнення порошку (відносної густини полікристалу) (рис. 2).

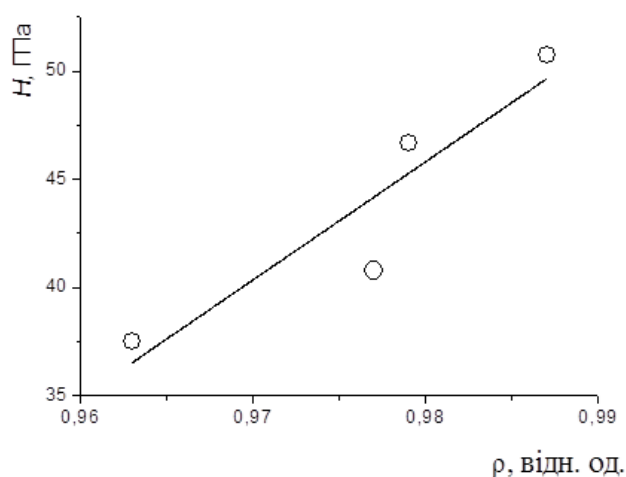


Рис. 2. Кореляція між твердістю та відносною густиною полікристалів, спечених із сумішей алмазних порошоків дрібної та крупної фракцій

### Література

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах. Т. 1: Синтез алмаза и подобных материалов / Отв. ред. А.А. Шульженко. Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2003. 320 с.
2. Пат. 1377104 (Великобритания). Синтез алмаза / В.Н. Бакуль, А.А. Шульженко, А.Ф. Гетьман. Опубл. 09.04.75.
3. Черниенко А.И., Бочечка А.А. Термостабильность и уровень остаточных напряжений в алмазных зернах, синтезированных в системе Mg–Zn–B–C // Тезисы 3-й международной Самсоновской конференции «Материаловедение тугоплавких соединений», Киев, Украина, 23-25 мая 2012 г. Киев, 2012. С. 99.
4. Бочечка О.О. Фізико-хімічні основи спікання алмазних порошоків під дією високого тиску та високої температури. К.: Наукова думка, 2019. 240 с.
5. Физические свойства алмаза: Справочник. Под ред. Н.В. Новикова. Киев: Наукова думка, 1987. 192 с.

### POLYCRYSTALS FORMATION DURING HIGH PRESSURE SINTERING OF DIAMOND POWDERS SYNTHESIZED IN THE MG–ZN–C SYSTEM

O. O. Bochekha, O. I. Chernienko, O. V. Kushch, V. V. Garashchenko

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine

**Abstract.** *Sintering under the action of high pressure of diamond powders synthesized in the Mg – Zn – C system is described. It is shown that the combination in the initial mixture for sintering of small and large fractions allows to reduce by 2.46 times the residual porosity compared to sintering at the same pressure of diamond powders synthesized in systems based on iron group metals, and to achieve polycrystal hardness of 50.7 GPa for the load on the Knoop indenter 9.8 N.*

**Keywords:** diamond powder, high pressure, sintering, diamond polycrystal, hardness

## СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТОК МЕТОДУ І ТЕХНОЛОГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ УДАРНОЇ ОБРОБКИ

**Г.І. Прокопенко, Б.М. Мордюк**

Інститут металофізики ім. Г.В.Курдюмова НАН України, Київ, Україна

**Анотація.** *Розглянуто етапи розвитку науково-технічного напрямку, пов'язаного з розробкою фізичних основ і технології високочастотного ударного навантаження поверхні металевих виробів за допомогою ультразвукових інструментів. Обговорені різні схеми ультразвукового навантаження, придатні для оброблення деталей та/або зварних з'єднань різної форми – безабразивна фінішна обробка, ультразвукова ударна обробка (високочастотна механічна проковка), обробка металевими кульками в ультразвуковому стакані. Висвітлені основні ефекти, а саме: зниження шорсткості поверхні, інтенсивна пластична деформація приповерхневих шарів, їх наноструктуризація, зміцнення, перерозподіл залишкових напружень та підвищення експлуатаційних властивостей (опору корозії, зношуванню та втомі).*

**Ключові слова:** високочастотне ударне навантаження, ультразвукова ударна обробка, безабразивна фінішна обробка

Дія ультразвукових коливань на метали в твердому стані з амплітудою, вище певної критичної, вивчалася ще в 30-х роках минулого сторіччя. Проте найбільш інтенсивні дослідження в цьому напрямі були розпочаті у післявоєнні роки. Багатьма дослідниками було встановлено, що інтенсивність ультразвуку понад  $\sim 10$  Вт/мм<sup>2</sup> призводить, насамперед, до збільшення густини дислокацій і точкових дефектів в металах і сплавах. Структурні перетворення, а також прискорення дифузійних процесів під дією ультразвуку, надали можливість цілеспрямованого впливу на фізико-механічні властивості функціональних і конструкційних матеріалів. Було встановлено, що сумісна дія ультразвуку високої інтенсивності і статичних навантажень стиску або розтягу призводить до зменшення напружень при деформації металів. Так, у 1955 році Блаха і Лангенеккер відкрили ефект зниження зусилля деформації при розтягуванні кристалів цинку з накладенням ультразвуку [1]. Ефект Блаха – Лангенеккера відкрив перспективи практичного використання ультразвуку в технологічних процесах, спрямованих на зміну форми металевих виробів, наприклад, при волочінні дроту, виробництві труб і т.п. Це відкриття викликало широкомасштабні дослідження в різних країнах світу, перш за все, в Росії, Україні та Білорусі. Були опубліковані численні статті та монографії [2-7], в яких основна увага приділялася вивченню особливостей структурних і фазових перетворень при дії ультразвуку, питанням прискорення дифузії, а також становленню нових ультразвукових технологій. Результати щодо впливу ультразвуку на фізичні властивості металів і сплавів узагальнені в огляді [8].

Проте, не дивлячись на значні успіхи в розумінні механізмів дії ультразвукових коливань на речовини в твердій фазі, широкого поширення в промисловості ультразвук не набув. Необхідно підкреслити, що промислові ультразвукові установки працюють на низьких ультразвукових частотах (17 –22 кГц), а магніострикційні або п'єзокерамічні