

3. Марків В. Я., Беявіна Н. Н. Апаратно-програмний комплекс для дослідження полікристалічних речовин за їх рентгенівськими дифракційними спектрами // Друга міжн. конф. «Конструкційні та функціональні матеріали» (КФМ'97) : 3б. наук. праць – Львів, 1997. – С. 260–261.
4. Синтетические сверхтвердые материалы: в 3 т. Т. 1. Синтез сверхтвердых материалов [под ред. Н. В. Новикова]. – К. : Наукова думка, 1986. – 280 с.

Поступила 25.07.16

УДК: 621.923.02:548.0

**О. І. Чернієнко; Г. А. Петасюк, О. О. Бочечка**, доктори техн. наук;  
**Л. О Романко**, канд. техн. наук; **Т. О. Косенчук**

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

### **ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ, МІЦНІСТЬ ТА МОРФОМЕТРІЯ АЛМАЗУ, КРИСТАЛІЗОВАНОГО В СИСТЕМІ Ni-B-Ti-C**

*Представлено результати дослідження процесу кристалізації алмазних порошків у системі Ni-B-Ti-C та вплив зміни співвідношення компонент шихти на їхні властивості. Введення в систему бору у поєднанні з титаном дозволяє знизити електроопір алмазних порошків з  $10^{12}$  до  $10^6$  Ом·см. При цьому показник міцності та морфометричні характеристики змінюються несуттєво.*

**Ключові слова:** електропровідний алмаз, морфометричні характеристики, показник міцності порошку

#### **Вступ**

Проблема отримання електропровідного алмазу за допомогою технології високого тиску полягає в тому, що при одночасному входженні в ґратку алмазу атомів бору та нітрогену вони взаємодіють між собою, в результаті чого не утворюються центри провідності. Для утворення таких центрів потрібно запобігти потраплянню нітрогену до ґратки алмазу. Тому ідеєю даної роботи є введення компоненту, який би зменшував входження азоту до ґратки алмазу. Таким компонентом може бути титан. Отже, об'єктом дослідження даної роботи є кристалізація алмазу в системі Ni-B-Ti-C. Задача роботи полягає у вивченні впливу зміни вмісту бору та титану в ростовій системі на міцність, електропровідність та морфометричні характеристики синтезованих в ній алмазних порошків.

#### **Методика**

Сплави системи Ni-B-Ti отримували шляхом плавлення при температурі 1500 °С в атмосфері аргону. Вміст бору і титану в досліджуваних сплавах змінювали від нуля до 10 % (ат.). Зливки сплаву піддавали механічному подрібненню до розміру  $\leq 0,5$  мм. Отримані порошки сплаву використовували для синтезу алмазу. Для цього їх змішували з порошком графіту і піддавали термобаричній дії в області стабільності алмазу. Термобаричний вплив здійснювали в апараті високого тиску типу «тороїд» за тиску 5 ГПа і температури 1500 °С.

Для визначення показника міцності використовували алмазні порошки зернистістю 125/100, синтезовані при різних концентраціях бору в шихті. Показник статичної міцності порошків при стиску визначали за допомогою приладу ДДА-33А у відповідності з ДСТУ

3292-95 [1]. Окремі кристали розміщували між лейкосапфіровими опорами діаметром 5 мм та висотою 1,5 мм і піддавали руйнуванню. Дослідження електрофізичних властивостей зразків проводили на стенді на базі електрометра *Agilent 4339B (A)*, розробленого для вимірювання електропровідності порошків надтвердих матеріалів в широкому інтервалі напруг. Діагностику морфометричних характеристик порошків здійснювали, досліджуючи проекції зерен порошку на приладі *DiaInspect, OSM*.

### Результати та обговорення

Питомий електроопір алмазного порошку, синтезованого в системі Ni–C без додавання добавок, становить  $\rho = 2,3 \cdot 10^{12}$  Ом·см, тобто ці порошки є діелектриками. Введення 1% бору до металу-розчинника ростової системи Ni–C не приводить до утворення в ґратці алмазу центрів провідності (D-центри), тоді як додавання 1% (ат.) бору та 5% (ат.) титану (гетера нітрогену) викликає утворення таких центрів. В такому випадку синтезовані

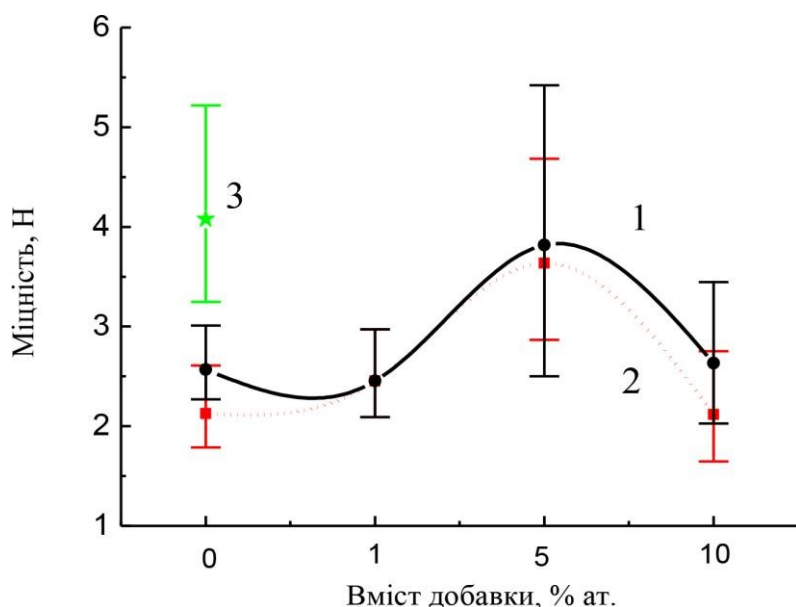


Рис. 1. Залежність показника міцності алмазних порошків від зміни вмісту титану (1) та бору (2) у вихідній шихті, та значення показника міцності алмазного порошку, синтезованого в системі Ni–C без добавок (3)

алмазні порошки стають електропровідними – питомий опір становить  $9,7 \cdot 10^7$  Ом·см. Збільшення вмісту титану в розчиннику до 10 % (ат.) зменшує електроопір алмазного порошку до  $1,2 \cdot 10^7$  Ом·см, тоді як вміст 1 % (ат.) титану і 10 % (ат.) бору дозволяє отримати алмаз з електроопором  $5,4 \cdot 10^6$  Ом·см.

В той же час наявність бору в сплаві-розчиннику може впливати на міцність синтезованих алмазних порошків [2]. Результати дослідження показника міцності отриманих порошків наведено на рис. 1.

Алмазні порошки, синтезовані в даній системі з різним співвідношенням

компонент, відносяться до низькоміцних алмазних порошків. Показник міцності знаходиться в межах від 2 до 4 Н., а його довірчі інтервали практично для всіх порошків перетинаються, тому можна зробити висновок, що введення добавок бору та титану в межах до 10 % ат. в розчинник на основі нікелю несуттєво впливає на показник міцності при синтезі низькоміцних алмазних порошків в даній системі.

Важливе значення при застосуванні алмазних порошків мають їхні морфометричні характеристики. Відомо, що введення добавки бору в ростове середовище кристалізації алмазу впливає на форму отриманих кристалів [3, 4]. Тому в даній роботі також досліджували вплив бору на морфометричні характеристики алмазних порошків. Зовнішній вигляд окремих алмазних кристалів, синтезованих в системі Ni–C без добавок, наведено на рис 2.

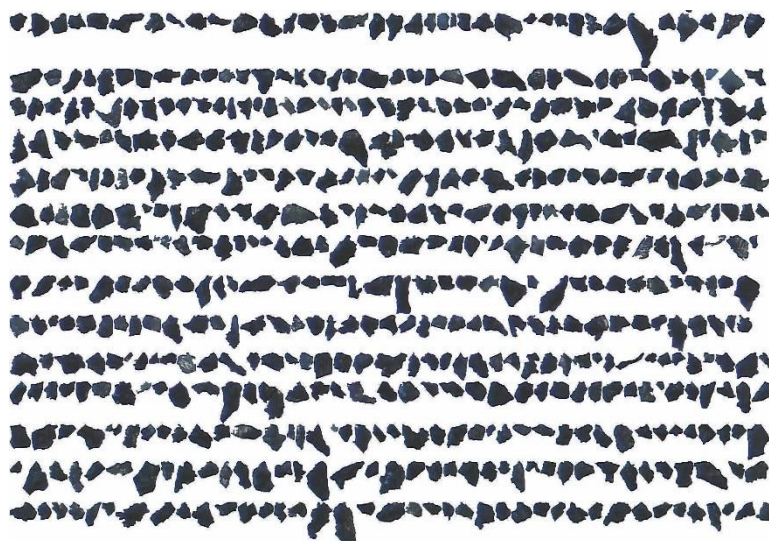


Рис. 2. Загальний вигляд алмазних порошків зернистістю 80/50, синтезованих в системі Ni–C

Результати кількісного аналізу форми кристалів алмазу синтезованих алмазних порошків наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Показник інтегральної формодібності ( $f_k^{(i)}\%$ ) проекції зерен порошків алмазу, синтезованих у ростові системі Ni–B–Ti–C

Характеристика порошків	Склад сплаву-розчинника		
	Ni(100%)–B(0%)–Ti(0%)	Ni(98%)–B(1%)–Ti(1)	Ni(94%)–B(5%)–Ti(1%)
	$f_k^{(i)}, \%$	$f_k^{(i)}, \%$	$f_k^{(i)}, \%$
Овалоподібні фігури*	52,31	52,98	54,69
Прямокутник	<b>78,91</b>	<b>80,80</b>	<b>79,08</b>
Ромб	25,30	29,21	27,66
Трапеція	<b>76,82</b>	<b>77,11</b>	<b>81,88</b>
Квадрат	<b>78,78</b>	<b>76,57</b>	<b>75,93</b>
Правильний п'ятикутник	44,39	39,99	37,69
Правильний шестикутник	64,87	58,81	57,77
Правильний восьмикутник	10,98	11,76	11,42
Трикутник	<b>84,94</b>	<b>87,91</b>	<b>86,53</b>
Паралелограм	32,69	34,87	37,35

Таблиця 2. Морфометричні характеристики кристалів алмазних порошків, синтезованих у ростові системі Ni–B–Ti–C

Характеристика порошків	Склад сплаву-розчинника					
	Ni(100%)–B(0%)–Ti(0%)		Ni(98%)–B(1%)–Ti(1)		Ni(94%)–B(5%)–Ti(1%)	
	середнє	однорідність	середнє	однорідність	середнє	однорідність
Максимальне значення $F_{max}$ , МКМ	88,04	0,26	98,22	0,24	117,01	0,23
Мінімальне значення $F_{min}$ , МКМ	62,43	0,30	64,11	0,29	76,60	0,27
Коефіцієнт форми $K_f$	1,24	0,45	1,31	0,35	1,33	0,31
Питома поверхня $F_{пит}$ , м <sup>2</sup> /кг	86,48		85,31		66,86	
Кількість зерен в одному караті $N$ , шт	485500		387680		224200	
Кількість ріжучих кромок $n$ , шт	9		8		8	
Кут загострення ріжучих кромок $\phi$ , град,	88,60		80,61		86,34	

Коефіцієнт форми ( $K_f$ ) тобто видовження кристалів алмазного порошку, синтезованого в системі Ni–C без добавок, становить 1,24. При введенні бору та титану кристали алмазу стають більш видовженими,  $K_f$  зростає до 1,31. При вмісті більшої кількості бору в шихті коефіцієнт форми алмазних кристалів  $K_f = 1,33$ , тобто, практично не змінюється.

Геометричними фігурами, до яких найбільше наближені форми окремих кристалів алмазних порошків є прямокутник, трапеція, квадрат, та трикутник. Як видно, вони для всіх порошків є однаковими (табл. 2). Тобто формоподібність кристалів алмазу різних порошків залишається однаковою при зміні співвідношення компонент сплаву-розчинника. Отже введення бору в кількості 5% (ат.) не призводить до зміни форми зерен алмазних порошків. Кути різальних кромок та їх кількість є близькими для всіх порошків, що пов'язано з формоподібністю цих порошків.

Значення питомої поверхні  $F_{пит}$  та кількості зерен на карат  $N$  для різних алмазних порошків відрізняються. Ці характеристики мають обернено пропорційну залежність від розміру досліджених кристалів.

## Висновки

Алмазні порошки, отримані в системі Ni–B–Ti–C, відносяться до низькоміцних і мають близькі значення показника міцності.

Питомий електроопір алмазних порошоків, синтезованих в системі Ni–B–Ti–C знижується з  $2,3 \cdot 10^{12}$  до  $5,4 \cdot 10^6$  Ом·см при введенні 1% титану та 10 % бору в сплав-розчинник.

Зростання коефіцієнту видовження кристалів алмазних порошоків, синтезованих в системі Ni–B–Ti–C спостерігається при введенні в сплав добавок бору та титану в межах від 0 до 1% (ат.) При цьому їхня формоподібність не зазнає суттєвого впливу від зміни вмісту бору в межах від 0 до 5%.

*Представлены результаты исследования процесса кристаллизации алмазных порошков в системе Ni-B-Ti-C и влияния изменения соотношения компонент шихты на их свойства. Введение в систему бора в сочетании с титаном позволяет снизить электросопротивление алмазных порошков с  $10^{12}$  до  $10^6$  Ом·см. При этом показатель прочности и морфометрические характеристики изменяются незначительно.*

**Ключевые слова:** *электропроводящий алмаз, морфометрические характеристики, показатель прочности порошка*

## CONDUCTIVITY, STRENGTH AND MORPHOMETRY OF DIAMONDS, SYNTHESIZED IN THE Ni-B-Ti-C SYSTEM

*The results of the study of the diamond powders crystallization process in the Ni-B-Ti-C system and the results of the study impact of changing the ratio of components on diamond powders properties are presented in this article. The introduction of boron and titanium in the charge reduces the electrical resistance of diamond powders from  $10^{12}$  to  $10^6$  Ohm·cm. The strength index and morphometric characteristics vary slightly.*

**Key words:** *electrically conductive diamond, morphometric characteristics, strength index of diamond*

## Література

1. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. ДСТУ 3292–95. - Київ: Держстандарт України, 1995. - 71 с.
2. Міцність алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg-Zn-B-C / О. І. Чернієнко, О. О. Бочечка, М. Г. Лошак та ін. // Сверхтвердые матер. – 2012. – № 2. – С. 29–37.
3. Зміна електроопору алмазних порошоків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C, при пресуванні / К. А. Свирид, Г. А. Петасюк, Л. О. Романко та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009.– Вып. 12.– С. 370–374.
4. Використання алмазного порошку, синтезованого в системі Mg-Zn-B-C, для тонкого шліфування сапфіру / О. І. Чернієнко, С. В. Ковальов, Г. А. Петасюк та ін. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2014. –Вып. 17. – С. 471–476.

*Надійшла 27.07.16*