

Т. О. Пріхна, член-кор. НАН України; **Г. Д. Ільницька**, канд. техн. наук;
В. І. Лавріненко, д-р техн. наук; **О. Б. Логінова**, д-р хім. наук; **О. М. Соколов**,
І. М. Зайцева, **В. В. Смоквина**, **А. П. Закора**, кандидати технічних наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України,
вул. Автозаводська 2, 04074, м. Київ, e-mail: izaitseva@ukr.net*

ПІДВИЩЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ЗА ХАРАКТЕРИСТИКАМИ МІЦНОСТІ ШЛІФПОРОШКІВ АЛМАЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРАВЛЯЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

Розглянуто фізико-механічні та експлуатаційні характеристики синтетичних алмазів, які отримано в ростовій системі Fe–Co–C. Проведені дослідження показали, що термічна обробка алмазів при температурі 0,8 температури плавлення сплаву-розчинника вуглецю дозволяє збільшити кількість електропровідних металевих частинок, що адгезійно закріплюються на поверхні кристалів алмазу і, як наслідок, підсилюють селективність розділення на 10–20 % і підвищують коефіцієнт однорідності за міцністю не менше ніж на 10 %. Встановлено, що проведення попередньої термічної обробки зерен алмазу перед сортуванням алмазів марки AC100 зернистості 315/250 сприяє збільшенню виходу шліфпорошків алмазу з високою міцністю марки AC125 і вище приблизно в 1,4 рази і зниженню виходу з низькою міцністю (марки AC65) на 7 %, що забезпечує підвищення однорідності за міцністю. На підставі проведених досліджень розроблена технологія, що дозволяє отримувати термостійкі алмазні шліфпорошки з високою однорідністю за міцністю і лінійними розмірами. Показано, що при розділенні алмазних шліфпорошків марки AC200 зернистості 500/400 за розробленою технологією отримано порошки, що відрізняються між собою за величиною коефіцієнта поверхневої активності від 0,03 до 0,29 %; показник міцності при статичному стисненні зерен алмазу знижується в 1,9 рази. Вміст домішок у вигляді неспаленого залишку (н/з) в 1-му продукті в порівнянні з вихідним порошком зменшується майже в 2 рази, що сприяє збільшенню термостабільності алмазів 1-го продукту в порівнянні з вихідним порошком на 13 %. За коефіцієнтом однорідності за міцністю шліфпорошки алмазів відрізняються в порівнянні з вихідними порошками приблизно в 1,50–1,25 рази, за коефіцієнтом однорідності за лінійними розмірами – в 1,35–1,14 рази. За результатами випробування шліфпорошки алмазу зернистості 500/400, що виділені в 1-й продукт з високою міцністю 469,0 Н, термостійкістю ($K_{TC} = 96\%$), однорідністю за міцністю ($K_{одн.міц.} = 79\%$) і лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.} = 80\%$), відповідні елітній марці алмазів AC250-E, показали найвищу зносостійкість. Питома витрата складала 4,5 мг/кг, що приблизно в 1,5 разів нижче, ніж питома витрата вихідних шліфпорошків марки AC200.

Ключові слова: *фізико-механічні та експлуатаційні характеристики синтетичних алмазів, однорідність шліфпорошків алмазу за міцністю і за лінійними розмірами, розділення за величиною дефектності поверхні, зносостійкість правлячого інструменту.*

Вступ

Працездатність алмазного інструменту, як правило, значною мірою визначається властивостями алмазів. У свою чергу, властивості алмазних порошків обумовлюються технологіями синтезу, вилучення, класифікації за розмірами і формою, сортування за фізико-хімічними властивостями, що забезпечують отримання порошків із заданими властивостями. У міру розвитку і вдосконалення процесу синтезу, а також у міру зростання вимог до алмазного інструменту, зростають вимоги до характеристик якості алмазних порошків [1, 2]. Виходячи з вимог, що пред'являються до сучасного алмазного інструменту, основними характеристиками якості шліфпорошків алмазу є крупність у вигляді зернистості і зернового

складу, а також характеристики міцності: міцність і термостабільність. Однак для поліпшення роботи алмазного інструменту велике значення має отримання шліфпорошків алмазу, однорідних за цими характеристиками.

Однорідність є важливою характеристикою якості порошків надтвердих матеріалів, що дозволяє об'єктивно відображати стан їх якості. На даний час спостерігається тенденція підвищення інтересу до однорідності порошків за різними технологічними характеристиками. Для оцінки величини однорідності розроблені методи, що дозволяють оцінювати однорідність шліфпорошків за основними технологічними характеристиками якості і, перш за все, за характеристиками міцності і геометричними (у вигляді лінійних розмірів зерен алмазу) характеристиками зерен шліфпорошків алмазу [3–6]. Порошки синтетичного алмазу, що мають високу однорідність за міцністю, лінійними розмірами і мають високу термостабільність, належать до розряду елітних порошків.

Вітчизняними та зарубіжними дослідниками показано істотний вплив на характеристики міцності алмазних шліфпорошків включень металу-розчинника, інших об'ємних і поверхневих дефектів форми зерен. Тому для отримання алмазних порошків різних марок необхідне застосування процесів класифікації за розміром зерен і різних способів сортування за певними властивостями. Найбільше застосування у вітчизняних і зарубіжних технологіях знайшов спосіб сортування алмазних порошків за формою на вібростолі, крім того, широко використовується розділення алмазних порошків в магнітному полі за вмістом в них внутрішньокристалічних включень.

Аналіз відомої інформації про методи отримання нових матеріалів і їх властивості дозволяє зробити висновок, що подальший розвиток способів сортування надтвердих матеріалів для отримання шліфпорошків з високою однорідністю за міцністю ґрунтується на створенні і виявленні нових властивостей поверхні зерен порошків. Розроблені і застосовуються різні методи сортування алмазних зерен за дефектністю їх поверхні. Так, в методі флотації зернистих матеріалів використовуються фізико-хімічні властивості поверхні зерен, які визначають вибірковість прилипання зерен алмазу до бульбашок повітря [7].

В Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України розроблені і промислово освоєні адгезійно-магнітний та адгезійно-електричний способи сортування, що засновані на відмінності кристалів алмазу за рівнем дефектності їх поверхні [8–11]. Дефектність поверхні тісно пов'язана з міцністю кристалів. У той же час поверхня кристала алмазу містить багато активних зв'язків, які за певних умов, міцно утримують тверді мікрочастинки. При цьому мікрочастинки, що наносяться, мають сильні магнітні або електричні властивості, що призводять до посилення магнітних або електричних властивостей шліфпорошків алмазу, яке пропорційне ступеню дефектності їх поверхні і дозволяє розділяти їх у відповідних полях на кілька фракцій, що відрізняються між собою за дефектністю поверхні і за міцністю.

В результаті вдосконалення процесу синтезу рядом провідних зарубіжних фірм отримані синтетичні алмази з дуже високою міцністю, з яких можуть бути виготовлені високоміцні шліфпорошки алмазу марок до АС300 [3]. Зазвичай такі високоміцні шліфпорошки алмазу виготовляються із застосуванням при їх синтезі феросплавів в якості каталізаторів розчинення вуглецю.

Тому метою даної роботи було дослідження фізико-механічних властивостей високоміцних шліфпорошків синтетичних алмазів, синтезованих з використанням феросплавів, що застосовуються для оснащення прецизійного правлячого інструменту, і розробка методів підвищення їх однорідності.

Матеріали і методи дослідження

Дослідження проводили на алмазах марки АС100 зернистості 315/250, синтезованих в системі Fe–Co–C. Алмазні шліфпорошки оцінювали за зерновим складом, міцністю (P),

коефіцієнтом форми (K_f), дефектністю поверхні алмазів (K_a); для вимірювання електрофізичних характеристик: питомої магнітної сприйнятливості (χ), питомого електроопору (ρ), використовувалися методики, розроблені в ІНМ ім. В. М. Бакуля [12–15]. Елементний склад домішок і включень в шліфпорошках алмазу визначали шляхом рентгенофлуоресцентного інтегрального аналізу з використанням растрового електронного мікроскопа BS-340 і енергодисперсного аналізатора рентгеновських спектрів Link-860, а елементний склад домішок – за допомогою вдосконаленої програми кількісного аналізу ZAF-4FLS, яка розроблена фірмою «Link», Великобританія [16]. Термостійкість шліфпорошків алмазу оцінювали за коефіцієнтом термостабільності (K_{TC}), який дорівнює відношенню статичної міцності алмазного порошку після термообробки до показника міцності при статичному стисненні зерен шліфпорошку до термообробки. Коефіцієнт термостабільності є характеристикою алмазних порошків, що дозволяє оцінювати здатність порошку зберігати міцність після нагрівання [17]. Коефіцієнт однорідності за міцністю ($K_{одн.міц.}$) певної зернистості і марки визначали за сумарним вмістом зерен, руйнівне навантаження яких знаходиться в інтервалах міцності для номінальної марки відповідно до ДСТУ 3292 та ТУ У 28.4-05417344-075 [18]. Коефіцієнт однорідності за лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.}$) певної зернистості оцінювали за сумарним вмістом зерен із середнім лінійним розміром в пробі. За лінійний розмір зерна алмазу ρ приймається напівсума довжини (l) і ширини (b) проекції зерна: $\rho = (l+b)/2$ [19]. Для випробування на зносостійкість правлячого інструменту застосований круглошліфувальний верстат мод. ЗБ151 та спеціально замовлені та закуплені абразивні круги ПП 600×63×305 24А40СТ1К6 підвищеної твердості (СТ1). Режими правки: швидкість обертання круга – 35 м/с, подовжня подача – 1,0 м/хв., поперечна подача – 0,02 мм/хід.

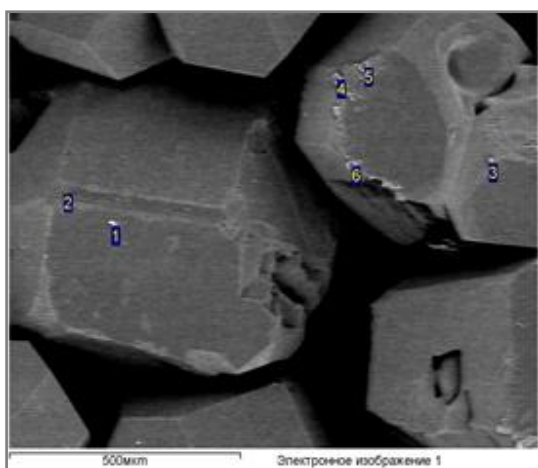
Результати досліджень

На дефектні ділянки поверхні кристалів алмазу марки АС100 зернистості 315/250, вихідних і підданих термічній обробці в інертному середовищі при температурі 0,8 температури плавлення сплаву-розчинника вуглецю, наносили тонкодисперсні металеві порошки нікелю. Температура термічної обробки склала 1100 °С (при температурі плавлення сплаву Fe–Co 1400 °С).

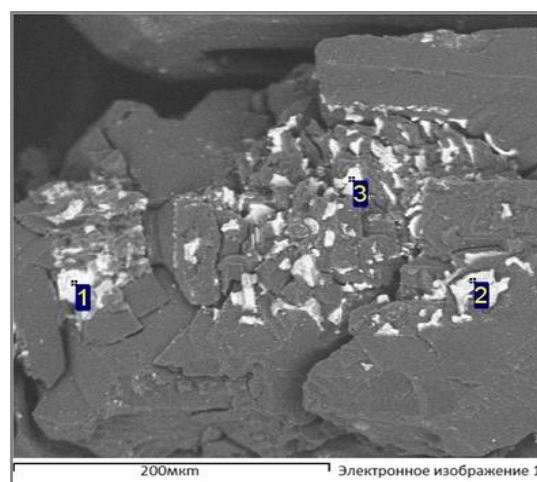
На рис. 1 представлені фотографії алмазів марки АС100 зернистості 315/250 після термообробки (1, а) а також з закріпленими тонкодисперсними металевими частинками на поверхні зерен алмазу після їх термічної обробки (1, б). В алмазах визначали елементний склад виплавлених включень на поверхні алмазів після їх термообробки, а також після закріплення на цих ділянках поверхні кристалів алмазу частинок нікелю.

Як впливає з рис. 1, в результаті селективного адгезійного закріплення тонкодисперсні частинки нікелю переважно закріплювалися на поверхні виплавлених при термічній обробці включень сплаву-розчинника вуглецю (Fe–Co), про що свідчать елементні склади включень, виплавлених на поверхні алмазів після термічної обробки, і з закріпленими на цих ділянках поверхні металевими частинками нікелю.

Поява на поверхні таких утворень може бути пояснена явищем капілярного виштовхування. При високих температурах це явище можливо, якщо захоплені в процесі росту кристала алмазу домішки металу-розчинника, починають плавитися. Завдяки силам поверхневого натягу вони виштовхуються на поверхню капілярними силами. Особливості змочування вуглецевих матеріалів розплавами металів VIII групи за різних концентрацій вуглецю в розплавах описано в роботі [22]. У складі виплавлених включень на поверхні алмазів після термічної обробки нікель не виявлено. У той же час після селективного адгезійного закріплення частинок нікелю на поверхні термооброблених алмазів вміст нікелю склав 12,9 мас. %.



a



б

Спектр	Елементний склад, мас.%				
	C	O	Fe	Co	Cu
1	69.6	7.11	17.8	5.0	0.53
2	74.5	6.12	11.13	7.5	0.75
3	61.8	8.12	19.77	8.9	1.41
4	80.1	5.1	10.63	3.8	0.37
5	75.1	6.5	13.49	4.5	0.41
6	69.8	8.5	11.19	9.4	1.11
Усереднене значення	71.8	6.91	14.0	6.5	0.76

Спектр	Елементний склад, мас.%					
	C	O	Fe	Co	Cu	Ni
1	54.11	6.22	15.0	6.86	0.76	16.2
2	80.42	3.55	7.08	1.28	1.12	6.6
3	67.81	2.96	7.85	4.46	1.06	15.9
Усереднене значення	67,4	4.24	10.0	4.2	0.98	12.9

Рис. 1. Закріплення металевих тонкодисперсних частинок нікелю на поверхні кристалів алмазу марки АС100 зернистості 315/250, синтезованих в системі Fe-Co-C: *a* – поверхня алмазу після термообробки, *б* – закріплення частинок нікелю на поверхні алмазу після їх термообробки

Було проведено сортування за дефектністю поверхні шліфпорошків алмазу, що пройшли термічну обробку, і з закріпленими на їх поверхні частинками нікелю, які розділяли в електричному полі при різній напруженості з отриманням 5-ти продуктів розділення, що відрізняються між собою за дефектністю поверхні і за характеристиками міцності [9].

Паралельно при тих же умовах проводили розділення алмазів без попередньої термічної обробки з закріпленими частинками нікелю на поверхні зерен.

Результати характеристик міцності шліфпорошків алмазу марки АС100 зернистості 315/250 після їх розділення за ступенем дефектності поверхні вихідних і після попередньої термічної обробки представлені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати розділення за дефектністю поверхні шліфпорошків алмазу марки АС100 зернистості 315/250, синтезованих в системі Fe-Co-C, вихідних і після попередньої термічної обробки

Фракції розділення	Вихід, γ , %	Міцність, P , Н	Однорідність за міцністю, Кодн. міц., %	Марка
1	2	3	4	5
Без попередньої термічної обробки				
1	7,3	237,7	63,1	АС160
2	16,9	195,1	69,6	АС125
3	33,2	158,5	67,5	АС100

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
4	32,1	127,7	63,1	АС80
5	10,5	94,2	51,1	АС65
Вихідна	100,0	153,9	36,2	АС100
З попередньою термічною обробкою				
1	9,6	249,7	75,2	АС160
2	21,1	191,8	71,1	АС125
3	29,3	148,3	70,4	АС100
4	30,2	120,7	70,2	АС80
5	9,8	84,9	65,3	АС65
Вихідна	100,0	153,9	36,2	АС100

Як випливає з табл. 1, проведена попередня термічна обробка зерен алмазу сприяє збільшенню виходу шліфпорошків алмазу з високою міцністю марки АС125 і вище приблизно

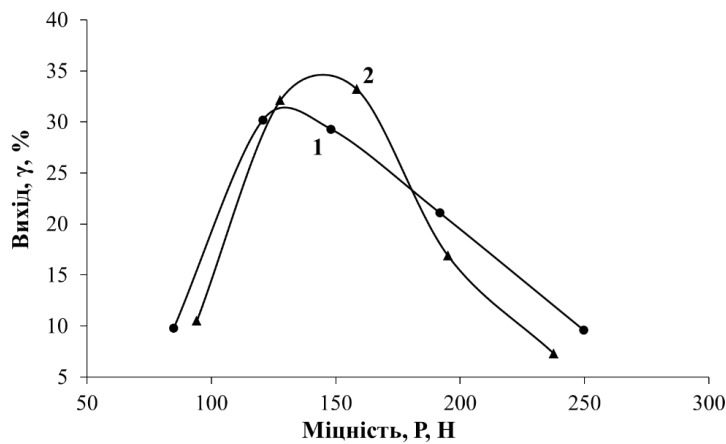


Рис. 2. Вихід шліфпорошків алмазу, синтезованих в системі Fe–Co–C, марки АС100 зернистістю 315/250 після розділення зерен алмазу за дефектністю поверхні: 1 – що пройшли попередню термічну обробку в інертному середовищі, 2 – без термічної обробки

в 1,4 рази і зниженню виходу з низькою міцністю (марки АС65) на 7 %, що забезпечує підвищення однорідності за міцністю. Так, однорідність за міцністю порошків алмазу після розділення їх за дефектністю поверхні без термічної обробки в порівнянні з однорідністю вихідних порошків збільшилася в 1,74–1,41 рази, а з попередньою термічною обробкою в 2,1–1,8 разів.

На рис. 2 графічно представлені результати розділення шліфпорошків алмазу, синтезованих в системі Fe–Co–C, марки АС100 зернистістю 315/250 після

розділення зерен алмазу за дефектністю поверхні, що пройшли термічну обробку в інертному середовищі (1) і без попередньої термічної обробки (2).

Як видно з рис. 2, розділення за дефектністю поверхні шліфпорошків алмазу, виконане після попередньої термічної обробки в інертному середовищі (1) більш ефективно, ніж сортування без попередньої термічної обробки (2), через посилення селективності процесу розділення, що дозволило збільшити вихід шліфпорошків алмазу з високою міцністю АС125 і вище і знизити вихід з низькою міцністю (АС65).

Результати проведених досліджень лягли в основу технології отримання шліфпорошків синтетичного алмазу елітних марок АС400-Е – АС50-Е, синтезованих в різних ростових системах [21].

За розробленою технологією алмази марки АС200 зернистістю 500/400, синтезовані в ростовій системі Fe–Co–C, при виготовленні високоміцних термостійких шліфпорошків синтетичного алмазу з високою однорідністю за міцністю та лінійними розмірами, вихідні порошки сортували за дефектністю поверхні їх зерен з проведенням попередньої термічної

обробки зерен алмазу в інертному середовищі. При розділенні за дефектністю поверхні зерен для підвищення контрастності властивостей шліфпорошків алмазу, що розділяються, синтезованих із застосуванням феросплавів для розчинення вуглецю, застосовували електропровідні тонкодисперсні порошки нікелю. Формування за допомогою селективного адгезійного закріплення електропровідних частинок на дефектних ділянках поверхні посилені електричних властивостей порошоків дозволяє розділити порошок в електричному полі на чотири фракції, що відрізняються між собою за дефектністю поверхні і за характеристиками міцності.

Для збільшення вмісту основної фракції і підвищення коефіцієнта однорідності за розмірами зерен алмазу використовували остаточну класифікацію за зернистостями на ситах ряду R-20 з метою виділення вузьких класів зернистостей або додаткову класифікацію за формою зерен алмазу на вібраційному столі.

В отриманих порошках, вихідних і після розділення, визначали вихід отриманих окремих продуктів, їх фізико-механічні характеристики: міцність у вигляді руйнуючого навантаження при статичному стисненні при кімнатній температурі (P , Н) за методиками ДСТУ 3292, розраховували термостійкість (K_{TC}), коефіцієнт однорідності за міцністю ($K_{одн. міц.}$), коефіцієнт однорідності за лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.}$), вимірювали питому магнітну сприйнятливість (χ) і оцінювали дефектність поверхні зерен алмазу за коефіцієнтом поверхневої активності (K_a), вміст домішок в зернах алмазу у вигляді неспаленого залишку (н/з), які визначали за методиками, розробленими в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

Результати розділення за дефектністю поверхні алмазів марки АС200 зернистості 500/400, синтезованих в системі Fe-Co-C, представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Результати розділення за дефектністю поверхні алмазів марки АС200 зернистості 500/400, синтезованих в системі Fe-Co-C

Продукти розділення	Вихід, %	K_a , %	$\chi \times 10^{-8}$, м ³ /кг	P , Н	K_{TC} , %	н/з	Марка
1	11,2	0,03	7,5	469,0	96	0,08	АС250-Е
2	71,3	0,10	20,5	415,7	89	0,10	АС200-Е
3	10,1	0,16	30,7	327,8	87	0,11	АС160-Е
4	7,4	0,29	41,3	250,4	80	0,18	АС125
Вихідний	100,0	–	25,0	409,8	83	0,15	АС200

Як випливає з табл. 2, при розділенні алмазних шліфпорошків за дефектністю їх поверхні алмазів марки АС200 зернистості 500/400 отримано 4 продукти, що відрізняються між собою за величиною K_a , і що дозволило виділити з вихідної маси порошки алмазів з різними характеристиками міцності. При збільшенні дефектності поверхні зерен алмазу знижуються їх характеристики міцності. Так, при збільшенні K_a від 0,03 до 0,29 % показник міцності при статичному стисненні зерен алмазу знижується в 1,9 рази. Вміст домішок у вигляді неспаленого залишку (н/з) в 1-му продукті порівняно з вихідним порошком зменшується майже в 2 рази, що сприяє збільшенню термостабільності (K_{TC}) алмазів 1-го продукту в порівнянні з вихідним порошком на 13 %.

Проведене сортування забезпечило можливість підвищення однорідності шліфпорошків алмазу за міцністю і за лінійними розмірами.

На рис. 3 наведено зміни коефіцієнтів однорідності за міцністю і лінійними розмірами алмазів марки АС200 зернистості 500/400.

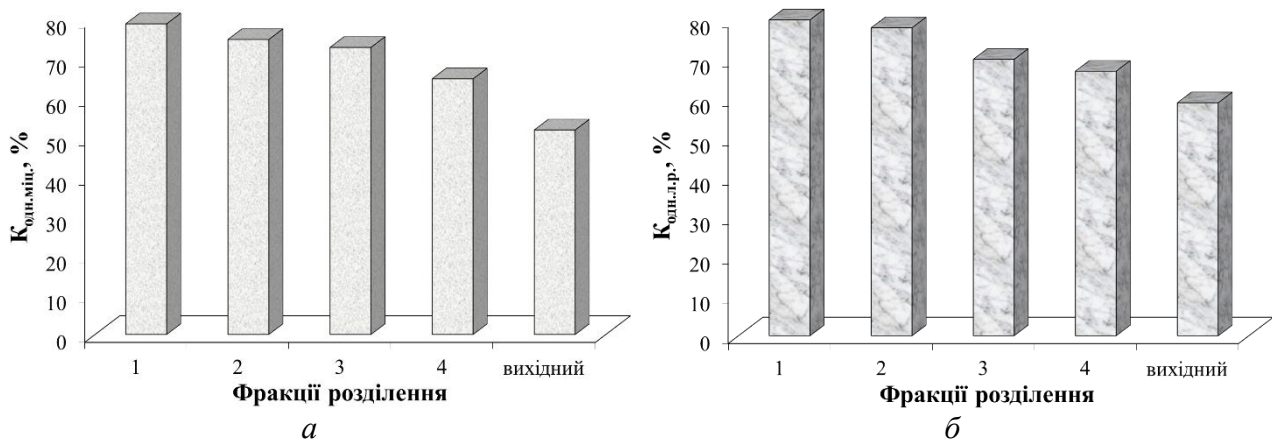


Рис. 3. Однорідність шліфпорошків алмазу марки AC200 зернистості 500/400 за міцністю (а) і за лінійними розмірами (б)

Як випливає з рис. 3, після розділення за дефектністю поверхні зерен алмазу за коефіцієнтом однорідності за міцністю шліфпорошки алмазів відрізняються у порівнянні із вихідними порошками приблизно в 1,50–1,25 рази, за коефіцієнтом однорідності за лінійними розмірами – в 1,35–1,14 рази.

Таким чином, в результаті проведення розділення високоміцних шліфпорошків алмазу марки AC200 зернистості 500/400, синтезованих в системі Fe–Co–C, були отримані високоміцні термостабільні шліфпорошки алмазу з високою однорідністю за міцністю і лінійними розмірами зерен алмазу, які відповідають технічним умовам ТУ У 23.9-05417377-367:2020 «Шліфпорошки з синтетичних алмазів елітні для оснащення алмазного інструменту».

Шліфпорошки алмазу зернистості 500/400 вихідні і виділені в 1-й продукт були використані для оснащення правлячих роликів. Виготовлені правлячі ролики були випробувані. При випробуваннях оцінювалася зносостійкість роликів у вигляді питомої витрати алмазів. Результати випробувань представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати фізико-механічних та експлуатаційних характеристик шліфпорошків алмазу зернистості 500/400 вихідних та виділених в 1-й продукт розділення

Продукти розділення	Характеристики міцності			$K_{одн.л.р.}, \%$	Марка	Питома витрата алмазів, мг/кг
	$P, Н$	$K_{ТС}, \%$	$K_{одн.міц.}, \%$			
1	469,0	96	79	80	AC250-E	4,5
Вихідний	409,8	83	52	59	AC200	6,5

Як випливає з результатів випробування, шліфпорошки алмазу зернистості 500/400 з високою міцністю 469,0 Н, термостійкістю ($K_{ТС} = 96 \%$), однорідністю за міцністю ($K_{одн.міц.} = 79 \%$) і лінійними розмірами ($K_{одн.л.р.} = 80 \%$), відповідні елітній марці алмазів AC250-E, показали найвищу зносостійкість. Питома витрата склала 4,5 мг/кг, що приблизно в 1,5 разів нижче, ніж питома витрата вихідних шліфпорошків марки AC200.

Висновки

1. Вперше виявлено, що термічна обробка алмазів, синтезованих в системі Fe–Co–C, при температурі 0,8 температури плавлення сплаву-розчинника вуглецю дозволяє збільшити

кількість електропровідних металевих частинок, що адгезійно закріплюються на поверхні кристалів алмазу і, як наслідок, підсилюють селективність розділення на 10–20 % і підвищують коефіцієнт однорідності за міцністю не менше ніж на 10 %.

2. Встановлено, що проведена попередня термічна обробка зерен алмазу перед сортуванням алмазів марки AC100 зернистості 315/250 сприяє збільшенню виходу шліфпорошків алмазу з високою міцністю марки AC125 і вище приблизно в 1,4 рази і зниженню виходу з низькою міцністю (марки AC65) на 7 %, що забезпечує підвищення однорідності за міцністю. Так, однорідність за міцністю порошків алмазу після розділення їх за дефектністю поверхні без термічної обробки в порівнянні з однорідністю вихідних порошків збільшилася в 1,74–1,41 рази, а з попередньою термічною обробкою в 2,1–1,8 разів.

3. Встановлено, що при розділенні алмазних шліфпорошків марки AC200 зернистості 500/400 за дефектністю їх поверхні отримано 4 продукти, що відрізняються між собою за величиною коефіцієнта поверхневої активності (K_a) від 0,03 до 0,29 %, показник міцності при статичному стисненні зерен алмазу знижується в 1,9 рази. Вміст домішок у вигляді неспалимого залишку (н/з) в 1-му продукті в порівнянні з вихідним порошком зменшується майже в 2 рази, що сприяє збільшенню термостабільності (K_{TC}) алмазів 1-го продукту в порівнянні з вихідним порошком на 13 %. За коефіцієнтом однорідності за міцністю шліфпорошки алмазів відрізняються в порівнянні з вихідними порошками приблизно в 1,50–1,25 рази, за коефіцієнтом однорідності за лінійними розмірами – в 1,35–1,14 рази.

4. Показано, за результатами випробування, що шліфпорошки алмазу зернистості 500/400, які виділені в 1-й продукт з високою міцністю 469,0 Н, термостійкістю ($K_{TC} = 96$ %), однорідністю за міцністю ($K_{\text{одн.міц.}} = 79$ %) і лінійними розмірами ($K_{\text{одн.л.р.}} = 80$ %), відповідні елітній марці алмазів AC250-E показали найвищу зносостійкість. Питома витрата складала 4,5 мг/кг, що приблизно в 1,5 разів нижче ніж питома витрата вихідних шліфпорошків марки AC200.

T. Prikhna, H. Ilnytska, V. Lavrinenko, O. Loginova, A. Sokolov, I. Zaitseva, V. Smokvyna, A. Zakora

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

IMPROVING THE UNIFORMITY OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF DIAMOND GRINDING POWDERS TO IMPROVE THE RULING TOOL EFFICIENCY

The physico-mechanical and operational characteristics of synthetic diamonds obtained in the Fe–Co–C growth system are considered. The conducted studies have shown that the heat treatment of diamonds, at a temperature of 0.8 of the melting point of the carbon solvent alloy, allows to increase the number of electrically conductive metal particles that adhere to the surface of diamond crystals and, as a result, increase the selectivity of separation by 10–20% and the coefficient of uniformity in strength by at least 10 %. It was found that the preliminary heat treatment of diamond grains before sorting AC100 grade diamonds with a grain size of 315/250 increases the yield of diamond grinding powders with high strength of the AC125 grade and higher by approximately 1.4 times and reduces the yield with low strength (AC65 grade) by 7 %, which increases the uniformity in strength. Based on the conducted research, a technology has been developed that makes it possible to obtain heat-resistant diamond grinding powders with high uniformity in strength and linear dimensions. It is shown that when separating diamond grinding powders of the AC200 grade with a grain size of 500/400 according to the developed technology, powders are obtained that differ in the value of the surface activity coefficient from 0.03 to 0.29%, and the strength index under static compression of diamond grains decreases by 1.9 times. The content of impurities in the form of a non-combustible residue (n/r) in 1 product in comparison with the initial powder is reduced by almost 2 times, which contributes to an increase in the thermal stability of diamonds of the 1st product by 13 % in comparison with the initial powder. In terms of the coefficient of uniformity in strength, diamond grinding powders differ in comparison with the original powders by about 1.50–1.25 times, in terms of the coefficient of uniformity in linear dimensions – by 1.35–1.14 times. According to the test results, diamond grinding powders of 500/400 grain size isolated in the 1st product with high strength of 469.0 N, thermostability ($C_{TS} = 96$ %), uniformity in strength ($C_{\text{un.str.}} = 79$ %) and linear dimensions ($C_{\text{un.l.d.}} = 80$ %), which correspond to the elite brand of diamonds AC250-E, showed the highest

wear resistance. The specific consumption was 4.5 mg/kg, which is approximately 1.5 times lower than the specific consumption of the original AC200 grinding powders.

Key words: physico-mechanical and operational characteristics of synthetic diamonds, uniformity of diamond grinding powders in strength and in linear dimensions, separation by the size of the surface defect, wear resistance of the ruling tool.

**Т. А. Прихна, Г. Д. Ильницкая В. И. Лавриненко, О. Б. Логинова,
А. Н. Соколов, И. Н. Зайцева, В. В. Смоквина, А. П. Загора**

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины

ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ПО ПРОЧНОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ШЛИФПОРОШКОВ АЛМАЗА, ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Рассмотрены физико-механические и эксплуатационные характеристики синтетических алмазов, полученных в ростовой системе Fe–Co–C. Проведенные исследования показали, что термическая обработка алмазов при температуре 0,8 температуры плавления сплава-растворителя углерода позволяет увеличить количество электропроводных металлических частичек, адгезионно закрепившихся на поверхности кристаллов алмаза и, как следствие, усиливают селективность разделения на 10–20 % и повышают коэффициент однородности по прочности не менее чем на 10 %. Установлено, что проведенная предварительная термическая обработка зерен алмаза перед сортировкой алмазов марки AC100 зернистости 315/250 способствует увеличению выхода шлифпорошков алмаза с высокой прочностью марки AC125 и выше приблизительно в 1,4 раза и снижению выхода с низкой прочностью (марки AC65) на 7 %, что обеспечивает повышение однородности по прочности. На основании проведенных исследований разработана технология, позволяющая получать термостойкие алмазные шлифпорошки с высокой однородностью по прочности и линейным размерам. Показано, что при разделении алмазных шлифпорошков марки AC200 зернистости 500/400 по разработанной технологии получены порошки, отличающиеся между собой по величине коэффициента поверхностной активности от 0,03 до 0,29 %; показатель прочности при статическом сжатии зерен алмаза снижается в 1,9 раза. Содержание примесей в виде несгораемого остатка (н/о) в 1-м продукте по сравнению с исходным порошком уменьшается почти в 2 раза, что способствует увеличению термостабильности алмазов 1-го продукта по сравнению с исходным порошком на 13 %. По коэффициенту однородности по прочности шлифпорошки алмазов отличаются по сравнению с исходными порошками примерно в 1,50–1,25 раза, по коэффициенту однородности по линейным размерам – в 1,35–1,14 раза. По результатам испытания, шлифпорошки алмаза зернистости 500/400, выделенные в 1-й продукт с высокой прочностью 469,0 Н, термостойкостью ($K_{TC} = 96\%$), однородностью по прочности ($K_{одн.пр.} = 79\%$) и линейными размерами ($K_{одн.л.р.} = 80\%$), соответствующие элитной марке алмазов AC250-Э, показали наивысшую износостойкость. Удельный расход составил 4,5 мг/кг, что приблизительно в 1,5 раз ниже, чем удельный расход исходных шлифпорошков марки AC200.

Ключевые слова: физико-механические и эксплуатационные характеристики синтетических алмазов, однородность шлифпорошков алмаза по прочности и по линейным размерам, разделение по величине дефектности поверхности, износостойкость правящего инструмента.

Література

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: монография: в 6 т. Т. 2 / под общ. ред. Н. В. Новикова – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, ИПЦ «АЛКОН» НАН Украины, 2004. – 288 с.
2. Лавріненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: енциклопедичний довідник. – К.: ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. – 456 с.

3. ТУ У 28.4-05417344-075-2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
4. Novikov N. V., Shulzhenko A. A., Bogatyreva G. P., Sokolov A. N., Nevstruev G. F., Ilnitskaya G. D. Uniformity of superhard material grinding powders // NATO Innovative Superhard Materials and Sustainable Coatings for Advanced Manufacturing, 2005. – P. 391–402.
5. Новиков Н. В., Никитин Ю. И., Петасюк Г. А. Однородность шлифпорошков синтетических алмазов и критерии ее количественной оценки // Сверхтвердые материалы. – 1999. – №5. – С. 65–74.
6. Новиков Н. В., Невструев Г. Ф., Ильницкая Г. Д. и др. Оценка качества порошков сверхтвердых материалов. Часть 1. Теоретические основы метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 5. – С. 74–83. и Часть 2. Практическое применение нового метода оценки характеристик качества // Сверхтвердые материалы. – 2006. – № 6. – С. 58–67.
7. Богатырева Г. П. Сортировка алмазов по прочности флотацией // Синтетические алмазы. – 1972. – Вып. 3. – С.23–25.
8. Патент на винахід 65128 А Україна, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 № 200703805. Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен / М. В. Новіков, Г. Д. Ільницька, Г. П. Богатирьова, Г. Ф. Невструєв – Заявл. 12.01.2009; Опубл.12.01.2009, Бюл. № 1.
9. Патент на винахід 85284 Україна, МПК В03С 7/00, В03С 1/00 № 2003065195. Спосіб розподілу зернистого матеріалу за дефектністю поверхні зерен. / М. В. Новіков, Г. П. Богатирьова, Г. Ф. Невструєв, Г. Д. Ільницька – Заявл. 05.06.2003, Опубл.15.03.2004, Бюл. № 3.
10. Ильницкая Г. Д. Влияние структуры кристаллов алмаза на физико-механические свойства алмазных порошков // Надтверді матеріали: створення та застосування. К.: ІНМ НАН України. – 2007. – С. 189–196.
11. Ильницкая Г. Д., Богатырева Г. П., Невструев Г. Ф. Получение высококачественных алмазных шлифпорошков // Сб. науч. тр. «Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов». – К.: ИСМ НАН Украины, 2005. – С. 63–71.
12. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазные синтетические. Общие технические условия. Введ. 01.01.96. – К.: Госстандарт Украины. – 1995. – 71 с.
13. М 88 Украины 90.258-2004. Методика определения коэффициента поверхностной активности порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ НАН Украины, 2004. – 11 с.
14. М 88 Украины 90.256-2004. Методика определения удельной магнитной восприимчивости порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К.: ИСМ НАН Украины, 2004. – 9 с.
15. М 23.9-303:2014. Методика определения удельного электрического сопротивления дисперсных порошков сверхтвердых материалов. – К.: ИСМ НАН Украины, 2014. – 6 с.
16. Loubser J. H. A., Wik J. A. Electron spin resonance in the study of diamond // Rep. Progr. Phys. – 1978. – 41. – P. 1201–1248.
17. М 26.8-299:2010. Определение коэффициента термостабильности шлифпорошков синтетических алмазов. Методика; Введ. 01.01.10. – ИСМ НАН Украины, 2010. – 7 с.
18. М 28.5-272:2008 «Методика аналитической оценки прочностных характеристик шлифпорошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К: ИСМ НАН Украины, 2008. – 14 с.
19. М 28.5-271:2008. Методика аналитической оценки линейных размеров зерен порошков сверхтвердых материалов (СТМ). – К: ИСМ НАН Украины, 2008. – 18 с.

20. Perevertailo V. M., Loginova O. B. Contact interaction in Carbon-metal systems for joining and integration. // *Ceramic integration and joining technologies: from macro to nanoscale*. – Publisher: John Wiley & Sons Inc., 2011. – P. 193–229.
21. ТУ У 23.9-05417377-367:2020. Шліфпорошки з синтетичних алмазів елітні для оснащення алмазного інструменту. Технічні умови. – К.: Держстандарт України, 2020. – 8 с.

Надійшла 16.05.21

References

1. *Sverkhverdye materialy. Polucheniie i primeneniie* [Superhard materials. Obtaining and applying]. (2004). N. V. Novikova (Ed.) (Vols. 1–6). Kiev: ISM im. V.N. Bakulia NAN Ukrainy. IPTs «ALKON» NAN Ukrainy [in Russian].
2. Lavrinenko, V. I., & Novikov, M. V. (2013). *Nadtverdi abrazivni materialy v mekhanobrobtsi* [Superhard abrasive materials in machining]. Kyiv: INM im. V. M. Bakulia NAN Ukrainy [in Ukrainian].
3. Shlifporoshki sinteticheskikhalmazov marok AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Tekhnicheskie usloviia [Grinding powders of synthetic diamonds of grades AS200, AS250, AS300, AS350, AS400. Technical conditions]. (2003). *TUU 28.4-05417344-2003*. – Kiev: Hosstandart Ukrainy [in Russian].
4. Novikov, N. V., Shulzhenko, A. A., Bogatyreva, G. P., Sokolov, A. N., Nevstruev, G. F., Ilnitckaya, G. D. (2005). Uniformity of superhard material grinding powders – *NATO Innovative Superhard Materials and Sustainable Coatings for Advanced Manufacturing*, 391–402.
5. Novikov, N. V., Nikitin, Yu. I., & Petasiuk, G. A. (1999). Odnorodnost shlifporoshkov sinteticheskikhalmazov i kriterii yeie kolichestvennoi otsenki [Uniformity of synthetic diamond grinding powders and criteria for its quantitative assessment]. *Sverkhverdye materialy*. – *Superhard materials*, 5, 65–74 [in Russian].
6. Novikov, N. V., Nevstruev, G. F., Ilnitckaia, G. D., et al. (2006). Otsenka kachestva poroshkov sverhtverdyykh materialov [Evaluation of the quality of powders of superhard materials]. Part 1. Teoreticheskie osnovy metoda otsenki harakteristik kachestva – Theoretical foundations of the method for evaluating quality characteristics / *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 5, 74–83. Part 2. Prakticheskoe primenenie novogo metoda ocenki harakteristik kachestva – Practical application of a new method for evaluating quality characteristics / *Sverhtverdye materialy – Superhard materials*, 6, 58–67 [in Russian].
7. Bogatyreva, G. P. (1972). Sortirovkaalmazov po prochnosti flotatsiei [Sorting diamonds by strength by flotation]. *Sinteticheskiiealmazy – Synthetic diamonds*, 3, 23–25 [in Russian].
8. Novikov, M. V., Ilnytska, H. D., Bogatyreva, G. P., & Nevstruev, G. F. (2009). Patent of Ukraine 65128 A. [in Ukrainian].
9. Novikov, M. V., Bogatyreva, G. P., Nevstruev, G. F., & Ilnytska, H. D. (2004). Patent of Ukraine 85284 [in Ukrainian].
10. Ilnitckaia, G. D. (2007). Vliianie struktury kristallovalmazana fiziko-mekhanicheskie svoistvaalmaznykhporoshkov [Influence of the structure of diamond crystals on the physical and mechanical properties of diamond powders]. *Nadtverdi materialy: stvorenniia zastosuvannia – Superhard Materials: creation and application*. Kyiv: INM NAN Ukrainy, 189–196 [in Russian].
11. Ilnitckaia, G. D., Bogatyreva, G. P., & Nevstruev, G. F. (2005). Poluchenie vysokokachestvennykhalmaznykhshlifporoshkov [Obtaining high-quality diamond grinding powders]. *Sintez, spekanie i svoistva sverhtverdyykh materialov*. – *Synthesis*,

- sintering and properties of superhard materials*. Kiev: ISM NAN Ukrainy, 63–71 [in Russian].
12. Poroshki almaznye sinteticheskie. Obshchie tekhnicheskie usloviia [Synthetic diamond powders. General specifications]. (1995). *DSTU 3292-95*. Kiev: Hosstandart Ukrainy [in Russian].
 13. Metodika opredeleniia koeffitsienta poverkhnostnoi aktivnosti poroshkov sverkhтверdykh materialov (STM) [Method for determining the surface activity coefficient of superhard material powders (STM)]. (2004). *M88 Ukrainy 90.258-2004*. Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 14. Metodika opredeleniia udel'noi magnitnoi vospriimchivosti poroshkov sverhtverdykh materialov (STM) [Method for determining the specific magnetic susceptibility of powders of superhard materials (SHM)]. (2004). *M88 Ukrainy 90.256-2004*. Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 15. Metodika opredeleniia udel'nogo elektricheskogo soprotivleniia dispersnykh poroshkov sverkhтверdykh materialov [Method for determining the electrical resistivity of dispersed powders of superhard materials]. (2014). *M 23.9-303:2014*. Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 16. Loubser, J. H. A., Wik, J. A. (1978). Electron spin resonance in the study of diamond – *Rep. Progr. Phys*, 41, 1201–1248.
 17. Metodika opredeleniya koefficienta termostabil'nosti shlifporoshkov sinteticheskikhalmazov [Method for determining the coefficient of thermal stability of synthetic diamond grinding powders]. (2010). *M 26.8-299:2010*. – Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 18. Metodika analiticheskoi otsenki prochnostnykh harakteristik shlifporoshkov sinteticheskogo almaza [Method for the analytical evaluation of the strength characteristics of synthetic diamond grinding powders]. (2008). *M 28.5-272:2008*. – Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 19. Metodika analiticheskoi otsenki lineinykh razmerov zeren poroshkov sverkhтверdykh materialov (STM) [Method of analytical estimation of linear grain sizes of superhard material powders (STM)]. (2008). *M 28.5–271:2008*. Kiev: ISM NAN Ukrainy [in Russian].
 20. Perevertailo, V. M., Loginova, O. B. (2011). Contact interaction in Carbon-metal systems for joining and integration. – *Ceramic integration and joining technologies: from macro to nanoscale*. Publisher: John Wiley & Sons Inc.
 21. Shlifporoshky z syntetychnykhalmaziv elitni dlia osnashchenniaalmaznoho instrumentu. Tekhnichni umovy [Elite synthetic diamond grinding powders for equipping diamond tools. Technical specifications]. (2020). *TV Y 23.9-05417377-367:2020*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].