

**М.О. Цисар<sup>1</sup>, А.П. Закора<sup>1</sup>, А.М. Бабак<sup>2</sup>**, кандидати технічних наук,  
**С.А. Івахненко<sup>1</sup>**, член-кор. НАН України, **В. В. Лисаковський<sup>1</sup>**, д-р техн. наук;  
**Г.Д. Ільницька<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, **О.О. Заневський<sup>1</sup>**, канд. хім. наук, **В.Ю. Клочок<sup>1</sup>**, асп.

<sup>1</sup>Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, вул. Автозаводська 2,  
04047, м. Київ, e-mail: [ts\\_maxim@ukr.net](mailto:ts_maxim@ukr.net)

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря  
Сікорського», пр. Перемоги 37, 03056 м. Київ, e-mail: [sopromat\\_dpm@ukr.net](mailto:sopromat_dpm@ukr.net)

## ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ТА ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБОК МОНОКРИСТАЛІВ АЛМАЗУ ТИПУ Ib НА СТАТИЧНУ МІЦНІСТЬ

Зростаючі вимоги до продуктивності бурового інструменту вимагають розробляти способи отримання алмазів з високими та стабільними показниками міцності, від яких залежать ефективність та швидкість бурових робіт. Наукові дослідження у цій сфері показали, що ефективність процесу буріння значною мірою залежить від міцності та твердості монокристалів алмазу, які працюють при навантаженні, близькому до критичного. Це може призводити до повного руйнування кристалів без типового для процесу буріння поетапного сколювання з можливістю формування нових ріжучих кромок. Отримано результати експериментального дослідження впливу хіміко-термічної обробки та відпалу при 1150 °С на величину статичної міцності великих кристалів алмазів типу Ib октаедричного габітусу, отриманих методом НТНР-кристалізації. Експериментально підтверджено, що збільшення значення критичного навантаження призводить до зменшення частинок, що утворюються в результаті руйнування. Максимальне значення статичної міцності, що було отримано, становило 8750 Н. Встановлено, що для забезпечення достатньої поверхні ріжучої частини бурового інструменту доцільно використовувати монокристали розміром до 1–1,6 мм.

**Ключові слова:** фізико-механічні властивості, НР-НТ метод температурного градієнта, синтетичний алмаз типу Ib, геологорозвідувальні роботи, алмазний буровий інструмент.

### Вступ

Найбільш розповсюдженими технологіями виробництва алмазних коронок є дві: інфільтраційна та гарячого пресування. Обидві ці технології передбачають просочування розплавленим металом матриці – в першому випадку вже спресованої, в другому випадку процесі пресування та просочування суміщають.

Процес складається з декількох етапів. На дно графітової форми в задалегідь насвердлені отвори встановлюють крупні монокристали. На викладені алмази насипають шихту твердого сплаву, після цього йде пресування. Сформовану коронку в графітовій прес-формі сушать при температурі 150–200 °С. Останнім етапом є спікання в електричній печі при температурі в 1150 °С. Це мінімальна оптимальна температура для розплаву та придання достатнього рівня текучості просочуючому металу (зв'язки). Час цього процесу залежить від розміру коронки і складає 15–45 хв. Витримка при високій температурі в заданий проміжок часу може мати негативний вплив на вихідну алмазну сировину.

Так само може мати негативний вплив і попередня обробка алмазів [1]. В ряді робіт було відмічена можливість використання в якості сировини для виготовлення бурових коронок природніх та штучних монокристалів алмазів або їх уламків без будь-якої додаткової обробки; в інших роботах наведено цілий ряд попередніх обробок, спрямованих на підвищення якості таких монокристалів. Такими видами обробки є: овалізація, відпал,

криогенна обробка, металізація, полірування та хіміко-термічна обробка [2]. Для розуміння сутності цих процесів розглянемо їх більш детально.

Овалізація алмазів виконується на спеціальному обладнанні з метою отримання зерен округленої витягнутої форми. Мета – надання випадкової форми, спрацювання сколів, дефектних кромки.

Сутність методу термічної обробки в послідовному ступеневому нагріві алмазів в середовищі інертного газу або низького вакууму до температури 920...940 °С з наступним повільним охолодженням. Мета цієї операції в знятті внутрішніх напружень і, відповідно, підвищенні міцності. Згідно з різними джерелами, статична міцність при стисканні після обробки збільшується на 20–40 %.

Криогенна обробка – це обробка окремих кристалів або готового виробу рідким азотом. Мета цієї операції в знятті залишкових напружень. Зафіксовано підвищення статичної міцності в межах 15–30%.

Металізація – покриття алмазу тонким, в декілька мікрон шаром тугоплавких металів або їх сполук. Мета цієї операції в підвищенні адгезії монокристалів до матеріалів матриці. Також має місце ефект так званого «зарощування» тріщин та мікротріщин для підвищення міцності. В наукових працях було визначено оптимальну товщину покриття [1] – так, при товщині півки металу 5–10 мкм статична міцність збільшується на 15–25%.

Полірування застосовується до відбракованих дефектних монокристалів з метою зменшення сили тертя алмазів в коронці та гірської породи, що сприяє зменшенню зносу алмазів. Полірування полягає в обробці кристалів алмазу суспензією мікропорошку алмазу зернистістю 1–40 мкм. Алмази засипають в сталеві стакани, заливають суспензією, стакани встановлюють в центрифуги і починають обертати, монокристали та зерна в суспензії притискаються до стінок стакану і починають тертись один відносно одного. Цей процес триває 10 годин. Вихід полірованої сировини складає 83%.

Хіміко-термічна обробка або хімічне полірування полягає в обробці поверхні монокристалів лужним розчином із додаванням бури при високих температурах 450–600 °С протягом 15–30 хв. Результатом такої обробки є розчинення виступаючих мікронерівностей, частин здвоєних граней, підвищення округлення, формування гладкої поверхні. Вихід полірованої сировини становить 85–90%. Метою такої обробки є підвищення експлуатаційних характеристик, таких як зносостійкість. Зменшення сил тертя між кристалами та гірською породою під час експлуатації сприяє збільшенню глибини занурення за одну проходку.

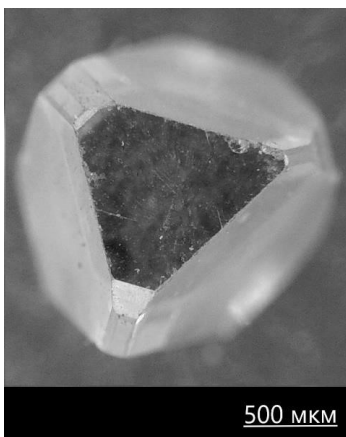


Рис. 1. Зображення кристалу типу Ів октаедричного габітусу з дослідної партії

В деяких випадках використовується комбінація таких методів попередньої обробки для отримання максимально якісних готових виробів. Дану статтю присвячено визначенню впливу технологічних процесів на статичну міцність алмазів типу Ів.

#### Матеріали та методи

Монокристали синтетичного алмазу типу Ів 1600/1000 мкм були отримані в апараті високого тиску типу «тороїд» шляхом стимульованої спонтанної розчин-розплавної кристалізації з використанням дрібнодисперсних сумішей графіту та розчинника на основі сплаву залізо-кобальт при тиску 5,8–6,2 ГПа та температурах 1450–1480 °С. Монокристали було відділено від продуктів синтезу шляхом хімічного витравлювання. Шляхом сортування та класифікації алмазної сировини було відібрано кристали з формою, близькою до октаедру.

Вихід кристалів розміром 1–1,6 мм становив ~70% від загальної маси алмазного продукту. Загальний вигляд вихідних кристалів отриманої партії представлено на рис. 1.

Причиною зниження статичної міцності є захоплення включень розчинника. Тому основним завданням отримання високоміцних алмазів є створення умов вирощування, які мінімізують кількість таких включень. Для спонтанної кристалізації при вирощуванні множини алмазних частинок в одному циклі ця ситуація неминуча, і тому необхідно сортувати отриману продукцію з метою виділення більш якісної та структурно досконалої сировини. Об'ємні дефекти в кристалах алмазу обумовлені присутністю включень сплаву-розчинника, їх кількість кожної частки тісно пов'язана з величиною питомої магнітної сприйнятливості  $\chi$  для неї [3]. Вихід відсортованих немагнітних кристалів усередині такої зернистості становить ~20%. Партія кристалів, синтезованих за заданих умов, після сортування за магнітною сприйнятливістю склала 166 штук.

Візуальний аналіз стану поверхні монокристалів, з урахуванням їх малих розмірів, здійснювався на мікроскопі моделі XSP-1406 від фірми Skydust із максимальним збільшенням  $\times 1200$ , оснащеному цифровою камерою 5 МП. На поверхні було виявлено наступні дефекти: нерівності поверхні, притуплення вершин гранями кубу, ребра здвоєні або притуплені, сходи росту (рис. 1).

Згідно з вимогами до вимірювальної апаратури [4], лінійні розміри та плоскопаралельність граней кристалів вимірюються за допомогою цифрових мікрометрів та/або цифрових штангенциркулів із ціною поділки не менше 0,01 мм. В даній роботі вимірювання проводились за допомогою цифрового штангенциркуля моделі DCzag-81520773 фірми UKS. Вимірювання проводились на всіх проміжних етапах, а саме: одразу після синтезу та вилучення, після хіміко-термічної обробки та остаточної термічної обробки.

Хіміко-термічна обробка або хімічне полірування здійснювалось в 15% лужному розчині з додаванням бури при температурі 650 °С протягом 30 хв. Нагрів здійснювався в лабораторній печі горизонтального завантаження марки СНОЛ 2,5.4.1/4 з керамічним покриттям внутрішньої камери, що витримує вплив агресивного середовища, а саме парів лужного розчину.

Для дослідження впливу температурної обробки зразків СА дозволяється використовувати будь-яку піч, що забезпечує відповідний режим. В нашому випадку використовувалась трубчаста лабораторна піч марки СУОЛ 025 25/14. Термообробка проводилась при температурі  $T = 1150$  °С протягом 15 хв в середовищі аргону, що імітувало технології просочення матриць бурових коронок.

Згідно з ДСТУ 3292-95, єдиною характеристикою міцності для алмазних порошків є статична міцність [5]. Стандарт, що регламентує характеристики міцності крупних монокристалів алмазу, відсутній. Таким чином, відсутні: вимоги до дослідної апаратури із відповідним діапазоном навантажень, умови проведення експериментів, необхідні додаткові маніпулятори для проведення експериментів тощо.

При підборі випробувального устаткування для проведення досліджень механічних властивостей, а саме визначення статичної міцності, основним критерієм було забезпечення достатнього зусилля, необхідного для руйнування дослідного зразку. Так, згідно з вищезгаданим стандартом [6], для дослідження статичної міцності алмазних порошків рекомендується РМУ-05-1 та більш сучасна установка ДДА-33МП [5]. Максимальне навантаження, яке може бути реалізоване на вищезазначених приладах, складає 330 Н, тому вони можуть використовуватись для дослідження статичної міцності порошків в діапазоні зернистості 80/63 – 250/200.

На рис. 2 представлено графік залежності величини статичної міцності від зернистості, дані значення статичної міцності взято з робіт [3-5].

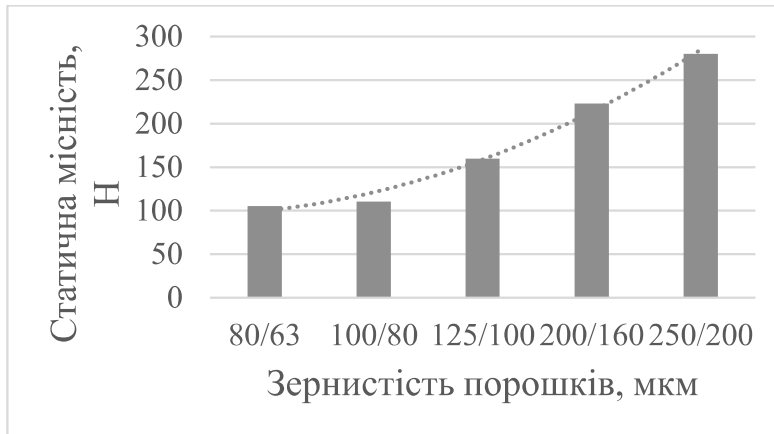


Рис. 2. Залежність статичної міцності від зернистості

Однак, наші монокристали суттєво більші і, відповідно, повинні витримувати суттєво більші навантаження, ніж 330 Н. Додатковою реперною точкою в цьому пошуку може слугувати теоретична міцність алмазу, що складає 114 ГПа [1]. Однак, в такому випадку статична міцність для порошків зернистістю 80/63 повинна складати 2290 Н, що не відповідає результатам експериментальних досліджень. Аналіз друкованих праць в цьому напрямку дозволив з'ясувати, що для кристалів алмазу природнього походження розміром 1,2–1,5 мм критичне навантаження складає 4500 Н [7]. Таким чином, для проведення експериментів потрібне обладнання, система навантаження котрого може забезпечити 9 кН – цим вимогам відповідає FP-10 (максимальне зусилля 10 кН, похибка  $\pm 10\text{Н}$ ).

Розривна машина FP-10 призначена для дослідження фізико-механічних властивостей металів та сплавів і не має в своїй комплектації маніпулятора для роботи з мікрооб'єктами [8, 9].



Рис. 3. Маніпулятор, оснащений твердосплавними опорами

Виготовлений для цих досліджень маніпулятор циліндричної форми (рис. 3) має ряд особливостей конструкції, однією з яких є кульове з'єднання в верхній частині, що забезпечує максимально співвісне стискання та нівелює відхилення паралельності між опорами.

Для більш надійної фіксації та уникнення впливу мікронерівностей опорної поверхні твердосплавних пластин, як точкових концентраторів, що можуть викликати передчасне руйнування зразку, використовують фольги [10]. Ми використовували алюмінієву фольгу товщиною 0,5 мм, вирізану в формі кола діаметром 5 мм.

Встановлення досліджуваних кристалів слід здійснювати, спираючись на відомості про їх геометричну форму, а саме розміри бічних граней. Для збільшення стабільності досліджень необхідно викладати зразок гранню з найбільшою площею до нижньої опори з використанням допоміжного оптичного приладу [9], а саме окулярів моделі 81007-В

фірми MAGNIFIER із збільшуваним склом  $\times 4$ .

Для запобігання динамічному навантаженню – удару при проковзуванні верхньої твердосплавної пластини потрібно впевнитись у відсутності зазору між нею та верхньою гранню монокристалу. Це необхідно, оскільки удар викликає спонтанне утворення мікротріщин і навіть може призвести до передчасного часткового або повного руйнування дослідного зразку.

### Результати досліджень

Стандарт України для крупних кристалів алмазу відсутній, тому спираючись на стандарти для інших матеріалів, зокрема для гірських порід будівельного призначення, було прийняте рішення відібрати з партії не менше 10 кристалів. Так, для дослідної партії з 166 штук вибірка в 10 зразків знаходиться в межах 5–10%.

Кристали алмазу октаедричного габітусу природнього або синтетичного походження в жодному разі не будуть мати форму ідеального октаедру з ребрами однакової довжини. Дослідним шляхом було з'ясовано, що довжина ребер для одного і того самого кристалу може варіюватися в діапазоні 0,87–1,29 мм. Для побудови залежності було прийнято рішення в якості базового брати середнє арифметичне по кристалу, величина котрого обчислюється за формулою:

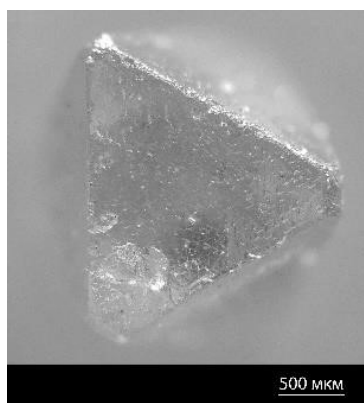
$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (1)$$

де  $a_i$  – значення вимірів ребра октаедра,  $n$  – кількість ребер ( $n=12$  – кількість ребер октаедра). Дані вимірювань наведено в таблиці.

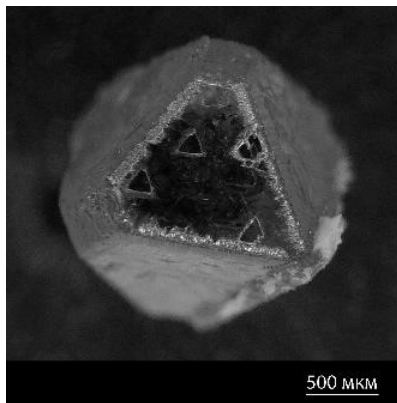
### Результати випробувань з визначення статичної міцності монокристалів типу Ів, підданих комбінованій хіміко-термічній та термічній обробці

№	Довжина ребра а, мм	Зусилля, Н	Характер руйнування
1	1,31	6900	Повністю крихке
2	0,93	5350	Повністю крихке
3	0,90	8750	Повністю крихке
4	1,02	5500	Повністю крихке
5	0,97	8700	Повністю крихке
6	1,29	5700	Повністю крихке
7	0,91	7200	Повністю крихке
8	0,95	6900	Повністю крихке
9	1,01	5700	Повністю крихке
10	1,10	5250	Повністю крихке

Попереднє хімічне полірування (хіміко-термічна обробка) здійснювалось згідно з режимами, зазначеними в попередньому розділі. Результатом цієї процедури стало



а



б

Рис. 4. Штучні алмази після а) хіміко-термічної б) термічної обробки

виникнення на бічних гранях виступаючих узорів трикутної форми (див. рис. 4 а), що, згідно з візуальним аналізом, пов'язано із спонтанним масопереносом. Маса вихідних кристалів та кристалів після обробки не змінилась. Геометричні розміри, а саме довжина ребра та плоскопаралельність граней, також не змінились.

В результаті остаточної термічної обробки формування збільшились у розмірі

(рис. 4 б). Візуальний аналіз зміни стану поверхні здійснювався за допомогою біологічного мікроскопа фірми *Skydust* моделі *XSP-1406*, оснащеного цифровою приставкою 5 МП, і показав, що ці формування є не чим іншим, як виступами граней октаедра та кубу. Оскільки розмір виступів склав лише мікрони, було прийняте рішення не враховувати вплив цього фактору на плоскопаралельність та не проводити додаткову механічну обробку граней перед механічними випробуваннями.

Алмаз при стисканні працює майже пружно, деформації зростають пропорційно стискаючій силі. На дуже малій ділянці деформації починають зростати швидше, що пов'язано із розвитком вже накопичених в процесі експерименту ушкоджень (так звана ділянка

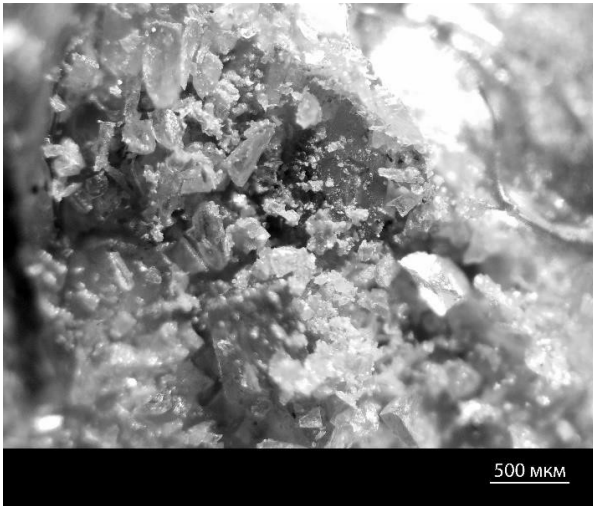


Рис. 5. Штучний алмаз, зруйнований в результаті експерименту з визначення статичної міцності (5700 Н)

пластичного деформування). Руйнування відбувається при максимальному навантаженні в результаті втрати стійкості. Така поведінка характерна для крихких матеріалів. На користь цього твердження також свідчить факт зменшення розмірів уламків (рис. 5) при зростанні критичного навантаження від 2 до 10 кН.

Статична міцність за ДСТУ 3292-95 – критичне навантаження, необхідне для повного або часткового руйнування кристалу. Дослідження фізико-механічної характеристики після комбінації хіміко-термічної та термічної обробок, а саме статичної міцності, здійснювалось, як уже відзначалось, на установці *FP-10*. Результати статистичних обрахунків та механічних випробувань наведено в табл. 1.

Графічно представлений розподіл статичної міцності – максимального руйнівного навантаження від середньої арифметичної по кристалу довжини ребра, який було побудовано на основі даних табл. 1, з накладанням лінії тренду зображено на рис. 6.

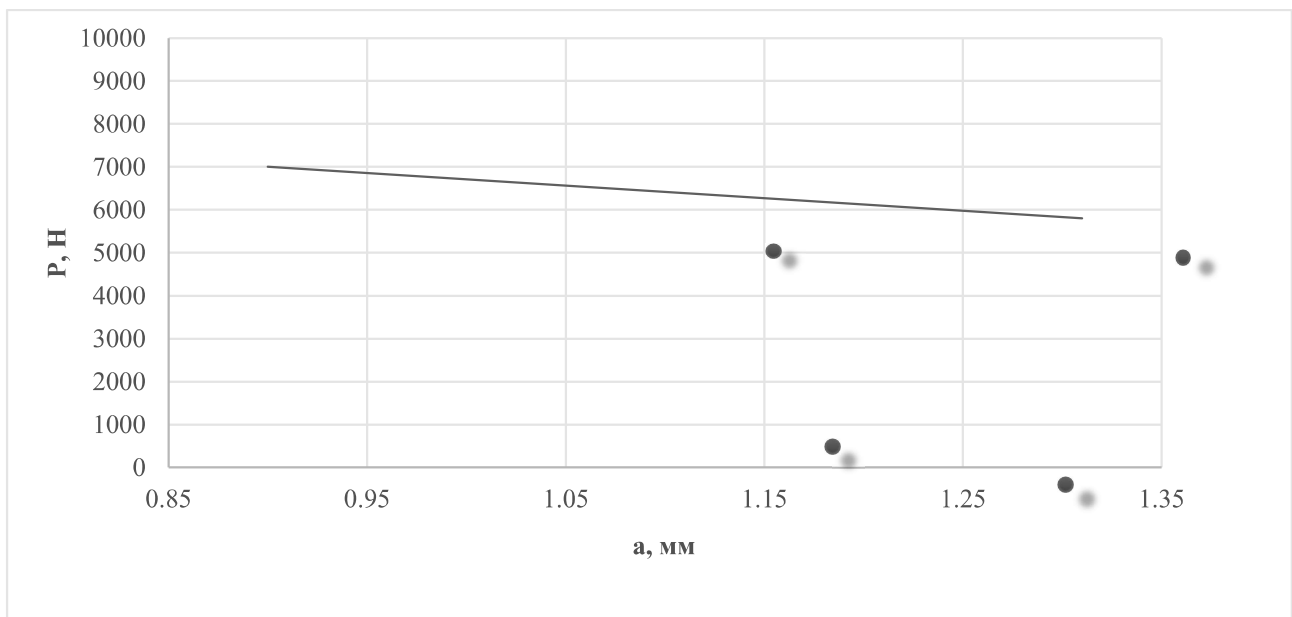


Рис. 6. Залежність статичної міцності від довжини ребра монокристалів алмазу типу Ib

Як можна побачити, лінія тренду має від'ємний нахил, що свідчить про зниження статичної міцності при збільшенні розмірів кристалу. Повторюваність експериментальних даних від зразку до зразку досить низька, навіть для зразків із довжиною ребра 0,9–0,93 розкид сягає 15–25%. Візуальні методи дослідження стану поверхні з математичним апаратом, що в широкому діапазоні дають змогу аналізувати мікронерівності, не дають відповідь на питання, з чим пов'язані ці розбіжності. Очевидно, що розходження в значеннях статичної міцності, скоріш за все, пов'язані із внутрішніми дефектами, їх концентрацією та будовою. Оскільки ці кристали немагнітні, метод магнітної сприйнятливості, що широко застосовується для сортування кристалів Ib, для кристалів Ib не підходить.

### Висновки

Дослідження впливу окремих етапів технологічного процесу, а саме хіміко-термічної та термічної обробки, на статичну міцність немагнітних синтетичних алмазів типу Ib октаедричного габітусу розміром 1600/1100 показали, що вони придатні для виготовлення бурового та правлячого інструменту. Також зазначимо, що результат проведення таких операцій не впливає на факт зниження статичної міцності із збільшенням розміру кристалів. Отримані результати підтверджують, що кристали 950–1000 мкм мають більші значення критичного навантаження, ніж кристали, лінійний розмір котрих становить 1200 мкм і більше.

Кожен з кристалів, отриманих методом НРНТ-кристалізації, є неповторним з унікальними властивостями, що, на жаль, стосується і величини статичної міцності, яка варіюється в широкому діапазоні  $\pm 0,75$  кН для кристалів аналогічних геометричних розмірів. Таким чином, аналіз геометричних особливостей форми та розмірів дефектів на гранях не дає змогу робити прогнози про максимальне критичне навантаження. Оскільки метод механічних досліджень призводить до повного руйнування кристалу, потрібно знайти альтернативний метод неруйнівного контролю для немагнітних алмазів типу Ib.

**M.O. Tsysar<sup>1</sup>, A.P. Zakora<sup>1</sup>, A.M. Babak<sup>2</sup>, S.A. Ivakhnenko<sup>1</sup>, V.V. Lysakovskiy<sup>1</sup>, H.D. Ilnytska<sup>1</sup>,  
O.O. Zanevskyy<sup>1</sup>, V.Yu. Klochok<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*N.V. Bakul Institut for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine*

<sup>2</sup>*National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky», Ukraine*

### INFLUENCE OF HEAT AND CHEMICAL-THERMAL TREATMENT OF DIAMOND TYPE Ib SINGLE CRYSTALS ON STATIC STRENGTH

*The growing requirements for the performance of drilling tools require developing methods of obtaining diamonds with high and stable strength rates, as the efficiency and speed of drilling operations depend on it. Scientific research in this area has shown that the efficiency of the drilling process largely depends on the strength and hardness of diamond single crystals, which work under a load close to the critical one. This can lead to the complete destruction of crystals without the step-by-step chipping with the possibility of forming new cutting edges, which is typical for the drilling process. The results of an experimental study of the effect of chemical-thermal treatment and annealing at 1150 °C on the value of the static strength of large type Ib diamond crystals of octahedral habit, obtained by the method of HTHP crystallization, were obtained. It has been experimentally confirmed that an increase in the value of the critical load leads to a decrease in the size of particles formed as a result of destruction. The maximum value of static strength that was obtained was 8750 N. It was established that to ensure a sufficient surface of the cutting part of the drilling tool, it is advisable to use single crystals up to 1-1.6 mm in size.*

**Key words:** *physical and mechanical properties, HP-HT temperature gradient method, type Ib synthetic diamond, geological exploration, diamond drilling tools.*

### Література

1. Физические свойства алмаза: справочник / под ред. Н. В. Новикова. – К.: Наукова думка, 1987. – 189 с.
2. Епифанов В. И., Песина А. Я., Зыков Л. В. Технология обработки алмазов в бриллианты – М.: Высшая школа, 1987. – 337с.
3. Suprun O.M., Il'nitskaya G.D., Kalenchuk V.A., Zanevskii O.A., Shevchuk S.N., Lysakovskii V.V. Change of dislocations density in single crystals of various types diamonds depending on the growth temperature and rate // *Functional materials*. – 2016. – Vol. 23, N 4. – P. 552–556.
4. Шульженко А. А., Лошак М. Г., Девин Л. Н. и др. Механические характеристики алмазных композиционных материалов, полученные с использованием алмазов различных размеров // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления*. Сб. науч. тр.– Выпуск 9. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – С. 139–145.
5. Лошак М. Г., Шульженко А. А., Александрова Л. И. и др. Влияние свойств микропорошков алмаза на прочность и долговечность изготовленных на их основе поликристаллических сверхтвердых материалов // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления*: Сб. науч. тр.– Выпуск 11. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – С. 218–221.
6. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови: ДСТУ 3292-95. – [Введений в дію 01.01.1997]. – К.: ДП «УкрНДНЦ, 1995. – 48 с.
7. Дронова Н. Д., Кузьмина И. Е. Характеристика и оценка алмазного сырья – М.: МГГУ, 2004. – 400 с.
8. Кадомський С. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання деталей машин. – К.: НУХТ, 2016. – 169 с.
9. Ophthalmic optics and instruments - optical devices for enhancing low vision iso: 15253:2000. – [Superseded date 07-21-2021]. – Comite Europeen de Normalisation, 2021. – 21 p.
10. Hardmetals – Compression test: ISO 4506:2018. – Comite Europeen de Normalisation, 2018. – 6 p.

Надійшла 16.08.22

### References

1. Novikov, N.V. (Eds.). (1987). *Fizicheskie svoistva almaza: spravoshnik [Physical properties of diamond: a reference guide]*. Kyiv: Naukova dymka.
2. Epifanov, V.I., Pesina, A.Y., & Zykov, L.V. (1987). *Tehnolohia obrabotkialmazov v brilianty [Technology of processing diamonds into polished diamonds]*. Moscow: High school.
3. Suprun, O. M., Il'nitskaya, G. D., Kalenchuk, V. A., et al. (2016). Change of dislocations density in single crystals of various types diamonds depending on the growth temperature and rate. *Functional materials*, 23,4, 552–556.
4. Shul'zenko, A.A., Loshak, M.G., Devin, L.N., at al. *Mehanicheskie harakteristiki almaznih kompozitsionnih materialov, poluchenih s ispolzovaniemalmazov razlichnih razmerov [Mechanical characteristics of diamond composites obtained using diamonds of various sizes]. Porodorazrushaiushchii i metalloobratyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 9, 139–145 [in Russian].
5. Loshak, M.G., Shul'zenko, A.A., Aleksandrova, L.I., et al. (2008). Vliianie svoistv mikroporoshkov almaza na prochnost i dolhovechnost izhotovlenykh na ikh osnove polikristalicheskikh sverhtverdykh materialov [Influence of the properties of diamond

- micropowders on the strength and durability of polycrystalline superhard materials made on their basis]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 11, 218–221 [in Russian].
6. Poroshky almazni syntetychni. Zahalni tekhnichni umovy [Synthetic diamond powders. General technical conditions]. (1995). *DSTU 3292-95 from 01<sup>th</sup> January 1997*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].
  7. Dronova, N.D., & Kuzmina, I.E. (2004). *Harakteristika i otsenka almaznogo siria [Characterization and evaluation of rough diamonds]*. Moscow: MGGU [in Russian].
  8. Kadomskii, S.V. (2016). *Vzayemozaminnist, standartizatsiia ta tekhnichni vimiruvannia detalei mashin [Interchangeability, standardization and technical measurements of machine parts]*. Kyiv: NUKhT [in Ukrainian].
  9. Ophthalmic optics and instruments - optical devices for enhancing low vision (2021). *ISO 15253:2000 from 21<sup>th</sup> July 2021*. Comite Europeen de Normalisation.
  10. Hardmetals – Compression test (2018). *ISO 4506:2018*. Comite Europeen de Normalisation.

УДК 621.921.3, 621.921.34-492.2:621.922.02

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-192-199

**В.Г. Полторацький**, канд. техн. наук; **О.О. Бочечка**, **В.І. Лавріненко**, доктори технічних наук; **О.В. Лешенко**; **В.П. Білоченко**; **Я.Л. Сільченко**; **С.О. Лисовенко**, **О.О. Пасічний**, **Г.Д. Ільницька**, **І.М. Зайцева**, кандидати технічних наук

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України  
04074, Київ, вул. Автозаводська, 2, E-mail: [vg.poltoratsky@gmail.com](mailto:vg.poltoratsky@gmail.com); [olesh@ism.kiev.ua](mailto:olesh@ism.kiev.ua)*

## **ФОРМУВАННЯ ТЕРМОСТАБІЛЬНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ НА ПОВЕРХНІ ЗЕРЕН ШЛІФПОРОШКІВ З СУМІШЕЮ РОЗЧИННИХ ТА НЕРОЗЧИННИХ КИСНЕ-, СИЛКАТО- ТА КАРБІДОВІСНИХ АКТИВОВАНИХ КОМПОНЕНТІВ**

*Задача дослідження – розробка процесу рідиннофазного нанесення на зерна шліфпорошків багатокомпонентних комбінованих кисне-, силікато- та карбідовмісних речовин (розчинні оксиди та силікати, нерозчинні оксиди і карбіди, активовані механохімічним методом), в результаті чого на зернах абразиву утворюються термостабільні зносостійкі покриття.*

*Розроблено базову технологію формування комбінованих термостабільних зносостійких покриттів на шліфпорошки (алмаз, cBN, композиційні порошки). До складу покриття входять кисне- ( $B_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO$ ,  $CaO$ ,  $ZnO$ ,  $CeO_2$ ,  $SnO_2$ ), силікато- ( $Na_2O(SiO_2)_n$ ,  $K_2O(SiO_2)_n$ ) та карбідовмісні ( $SiC$ ,  $TiC$ ,  $B_4C$ ) сполуки у різних поєднаннях.*

*Визначено термостабільність, магнітні та електрофізичні характеристики, технологічні властивості досліджуваних зразків шліфпорошків – первинних та з нанесеним покриттям.*

*Надано результати використання абразивних порошків з комбінованими покриттями (з модифікованою поверхнею зерен) в алмазно-абразивному інструменті.*

**Ключові слова:** шліфпорошки, синтетичний алмаз, кубічний нітрид бору (cBN), композиційні шліфпорошки, оксиди, силікати, карбіди, багатокомпонентні комбіновані покриття, термостабільність, зносостійкість, експлуатаційні показники.