

**М. О. ЦИСАР, А. П. ЗАКОРА, А. М. БАБАК, С. О. ІВАХНЕНКО, О. О. ЗАНЕВСЬКИЙ,  
Г. Д. ІЛЬНИЦЬКА, Є. О. ЗАКОРА**

### **ЗАЛЕЖНІСТЬ СТАТИЧНОЇ МІЦНОСТІ КРУПНИХ КРИСТАЛІВ СИНТЕТИЧНОГО АЛМАЗУ ТИПУ ІВ ОКТАЕДРИЧНОГО ГАБІТУСУ, ПІСЛЯ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБОК, ВІД ЇХ РОЗМІРУ**

Зростаючі вимоги до якості бурового інструменту змушують переглядати традиційні способи їх виробництва і розробляти нові альтернативні технології. Розглянуто деякі питання, пов'язані із можливістю підвищення ефективності бурового інструменту з використанням монокристалів алмазу. Резерв підвищення якості бурових коронок лежить у сфері використання великих, високоміцних, немагнітних алмазів. Наукові дослідження у цій сфері показали, що ефективність процесу буріння значною мірою залежить від механічних властивостей монокристалів таких, як межа міцності та твердість. Зерна працюють при навантаженні близькому до критичного, що може призвести до повного руйнування монокристалів замість поетапного сколювання з формуванням нових ріжучих кромок. Наведено результати експериментального дослідження впливу окремих етапів технологічного процесу виготовлення бурового інструменту, а саме: хіміко-термічної обробки та відпалу при 1150°C, на величину статичної міцності великих кристалів синтетичних алмазів типу Ів октаедричного габітусу. Вперше отримано залежність цієї величини від геометричних розмірів монокристалів. Максимальне значення статичної міцності, становило 8750 Н. Експериментально підтверджено, що із збільшенням руйнівного навантаження зменшується розмір уламків. З міркування забезпечення достатньої міцності ріжучої частини бурового інструменту доцільно обмежити розмір монокристалів до 1000...1200 мкм оскільки для них значення критичного навантаження вище, ніж для кристалів розмір яких 1300 мкм і більше, що згідно з теорією, пов'язане зі збільшенням числа дефектів та включень відповідно до їх розмірів. Виконаний аналіз дозволив ввести коригування в аспекти прояву масштабного ефекту при випробуваннях властивостей міцності монокристалів алмазу.

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

Возрастающие требования, предъявляемые к качеству бурового инструмента, вынуждают пересматривать традиционные способы их производства и разрабатывать новые альтернативные технологии. Рассмотрены некоторые вопросы, связанные с возможностью повышения эффективности бурового инструмента с использованием монокристаллов алмаза. Резерв повышения качества буровых коронок лежит в области использования крупных, высокопрочных, немагнитных алмазов. Научные изыскания в этой сфере показали, что эффективность процесса бурения в значительной степени зависит от механических свойств монокристаллов таких, как предел прочности и твердость. Зерна работают при нагрузке близкой к критической, что может привести к полному разрушению монокристаллов вместо поэтапного скалывания с формированием новых режущих кромок. Представлены результаты экспериментального исследования влияния отдельных этапов технологического процесса изготовления бурового инструмента, а именно: химико-термической обработки и отжига при 1150°C, на величину статической прочности крупных кристаллов синтетических алмазов типа Ів октаэдрического габитуса. Впервые получена зависимость этой величины от геометрических размеров монокристаллов. Достигнутое максимальное значение статической прочности составило 8750 Н. Экспериментально подтверждено, что при увеличении разрушающей нагрузки уменьшается размер осколков. Из соображения обеспечения достаточной прочности режущей части бурового инструмента целесообразно ограничить размер монокристаллов до 1000...1200 мкм поскольку для них значения критической нагрузки выше, чем для кристаллов размер которых 1300 мкм и более, что согласно теории, связано с увеличением числа дефектов и включений пропорционально размерам. Выполненный анализ позволил внести корректировки в аспекты проявления масштабного эффекта при испытаниях прочностных свойств монокристаллов алмаза.

**Ключевые слова:** физико-механические свойства, НР-НТ метод температурного градиента, синтетический алмаз типа Ів, геологоразведочные работы, алмазный буровой инструмент.

Increasing demands on the quality of drilling tools are forcing us to revise the traditional methods of their production and develop new alternative technologies. Some issues related to the possibility of increasing the efficiency of a drilling tool using diamond single crystals are considered. It has been suggested that a further reserve for improving the quality of drill bits lies in the use of large, high-strength, non-magnetic diamonds. Scientific research in this area has shown that the efficiency of the drilling process largely depends on the mechanical properties of single crystals, such as tensile strength and hardness. The grains operate under a load close to critical, which can lead to the complete destruction of single crystals instead of gradual chipping with the formation of new cutting edges. The results of an experimental study of the influence of individual stages of the drilling tool manufacturing process, namely, chemical-thermal treatment and annealing at 1150°C, on the static strength of large type Іb synthetic diamond crystals with an octahedral habit are presented. The dependence of this quantity on the geometric dimensions of single crystals was obtained for the first time. The achieved maximum value of static strength was 8750 N. It was experimentally confirmed that with an increase in the breaking load, the size of the fragments decreases. In order to ensure sufficient strength of the cutting part of the drilling tool, it is advisable to limit the size of single crystals to 1000–1200 μm, since the critical load values for them are higher than for crystals whose size is 1300 μm or more, which, according to the theory, is associated with an increase in the number of defects and inclusions in proportion to size. The performed analysis made it possible to make adjustments to aspects of the manifestation of the scale effect when testing the strength properties of diamond single crystals.

**Keywords:** physical and mechanical properties, НР-НТ temperature gradient method, type Іb synthetic diamond, geological exploration, diamond drilling tools.

**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 процес 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 графітової 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. В ряді робіт було відмічено 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. 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 термічна 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 відповідне підвищення міцності. Згідно різних джерел 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 збільшується 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 [], так при товщині плівки металу 5...10 мкм статична міцність збільшується на 15...25%.

Полірування застосовується до відбракованих дефектних монокристалів, а також 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 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 85...90%. Метою такої обробки є підвищення експлуатаційних характеристик таких як зносостійкість. Зменшення сил тертя між кристалами та гірською породою під час експлуатації, що сприяє збільшенню глибини занурення за одну проходку.

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 Ib.

**Матеріали та методи.** Монокристали синтетичного алмазу типу Ib 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. Візуальний огляд показав, що кристали мають форму дуже близьку до октаедра. Вихід кристалів розміром 1000 – 1600 мкм становив ~70% від загальної маси алмазного продукту. Загальний вигляд вихідних кристалів отриманої партії представлено рис. 1.

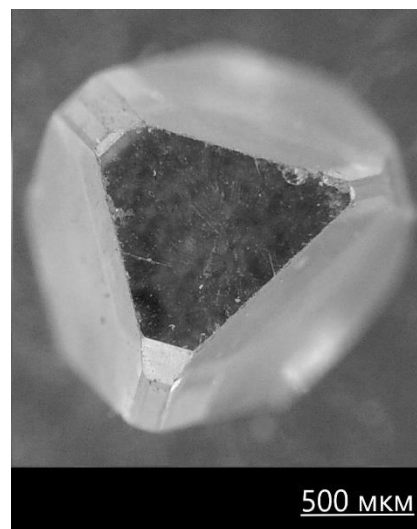


Рис. 1 - Зображення кристалу типу Ib октаедричного габітусу з дослідної партії.

Основною 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 неминуха 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'язані з величиною питомої магнітної сприйнятливості  $\chi$  для неї [90]. Вихід відсортованих немагнітних кристалів усередині такої зернистості становить  $\sim 20\%$ . Партія кристалів синтезованих за заданих умов після сортування за магнітною сприйнятливостю склала 166 штук.

Візуальний аналіз стану поверхні монокристалів, з урахуванням їх малих розмірів, здійснювався на біологічному мікроскопі фірми Skydust модель XSP-1406 із максимальним збільшенням 1200 оснащеному цифровою камерою 5МП. На поверхні було виявлено наступні дефекти: притушення вершин, притупленні або здвоєні грані, сходинок росту та нерівності поверхні (див. рис. 1).

Згідно вимог до вимірювальної апаратури лінійні розміри кристалів [3], плоско паралельність граней, 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 фірми UKS моделі DCzag81520773 з точністю вимірювання, що відповідає вимогам стандарту та похибкою  $\pm 0,01$  мм [3]. Вимірювання проводились на всіх проміжних етапах, а саме: одразу після синтезу та вилучення, після хіміко-термічної обробки та остаточної термічної обробки при температурі 1150°C.

Хіміко-термічна обробка або хімічне полірування здійснювалось в 15% лужному розчині з додаванням бури при температурі 650 °C 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 визначали 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  $T = 1150$  °C протягом 15 хв. в струмі аргону - імітація технології просочення матриць бурових коронок.

Згідно ДСТУ 3292-95 єдиною характеристикою міцності для алмазних порошоків є статична міцність. Стандарт, що регламентує оцінити 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 то що.

При підпорі установки для проведення експериментів з визначення статичної міцності основним критерієм було максимальне зусилля необхідне для руйнування дослідного зразку. Так, згідно вищезгаданого стандарту [], для дослідження статичної міцності алмазних порошоків є розривна машина РМУ-05-1, оснащена реверсом та більш сучасна установка ДДА-33МП [6], що є повністю автоматизованою і

дозволяє швидко проводити серії досліджень для 50 зерен з партії одночасно. Однак ці прилади призначені для дослідження статичної міцності порошоків в діапазоні зернистості 80/63...250/200 критичне навантаження на котрі не перевищує 330 Н.

На рис. 2 представлено графік залежності величини статичної міцності від зернистості, данні значення статичної міцності взято з робіт [].

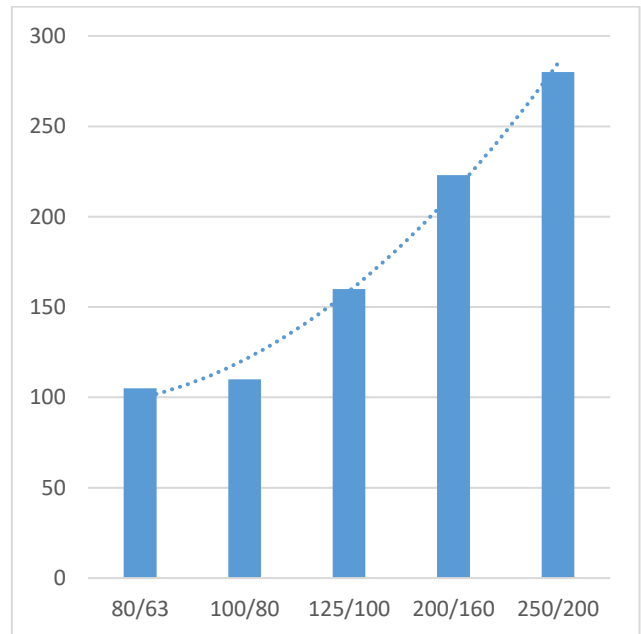


Рис. 2 - Залежність статичної міцності від зернистості.

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 [7]. Однак в такому випадку статична міцність для порошоків зернистістю 80/63 повинна складати 2290 Н що не відповідає результатам експериментальних досліджень. З іншого боку в ряді експериментальних робіт з визначення міцності монокристалів та крупних уламків природніх алмазах [11] було показано, що збільшення розміру суттєво впливає на показник статичної міцності. Для кристалів які відповідають нашим розмірам, а саме 1,2...1,5 мм критичне зусилля стиску складало 4500Н. Було прийняте рішення проводити дослідження на установці FP-10 [4], з максимальним зусиллям випробувань 10 000 Н, похибка 10 Н.

Ця установка не призначена для роботи з мікрооб'єктами і не має відповідної плоско-паралельності опор, тому для досліджень було розроблено та виготовлено спеціальний маніпулятор з твердосплавними опорами (рис. 3). Кульове з'єднання в верхній частині дозволяє створювати співвісне стиснення, навіть при відсутності паралельності між опорами, воно нівелює відхилення і суттєво зменшує похибку вимірювань.

Встановлення зразка монокристалу в такий

маніпулятор здійснюється аналогічно встановленню зразків твердого сплаву. В проміжок між робочою частиною твердосплавних пластин та опорними гранями кристалу встановлюється прошарок з алюмінієвої фольги [4] круглої або квадратної форми з лінійним розміром 5 мм.



Рис. 3 - Маніпулятор оснащений твердосплавними опорами.

Монокристал слід викладати найбільшою бічною стороною до нижньої опори з використанням допоміжного оптичного приладу, а саме окуляри MAGNIFIER 81007-B із збільшуваним склом  $\times 4$ . Після установки верхньої гайки з вмонтованою опорою слід усунути зазор між опорою і зразком для уникнення удару на початковому етапі навантаження для цього в маніпуляторі передбачено оглядове віконце.

**Результати досліджень.** Дослідження виконано на партії ідентичних по формі зразків, відібраних з відсортованих вказаним вище способом монокристалів типу Па у кількості 146 штук, з якої, згідно розміру, було відібрано згідно ДСТУ 3292-95 [5] з виготовленої партії в 166 штук монокристалів довільним шляхом було відібрано 10 штук, що є в межах 5...10% від партії.

Як вже зазначалось раніше довжина ребра для кристалу є величиною не сталою. У одного і того самого кристалу ця величина може змінюватись в межах 0,91...1,29 мм, тому було прийняте рішення за базову величину довжини ребра брати середнє значення за восьма вимірами. Значення розміру ребра октаедру розраховувалось за формулою:

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 + a_7 + a_8}{8}, \quad (1)$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8$  – значення вимірів ребра октаедра. Дані за вимірами занесені до табл. 1.

Попереднє хімічне полірування (хіміко-термічна обробка) здійснювалось згідно режимів зазначених в попередньому розділі. Результатом цієї процедури стало виникнення на бічних гранях виступаючих узорів трикутної форми (див. рис. 3. а), що згідно візуального аналізу 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 в розмірі (див. рис. 3. б). Візуальний аналіз зміни стану поверхні здійснювався за допомогою біологічний мікроскоп фірми Skydust модель XSP-1406 оснащеного цифрою приставкою 5МП апоказам, що ці формування є ні чим іншим як: виступаючих граней октаедра та кубу. 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.

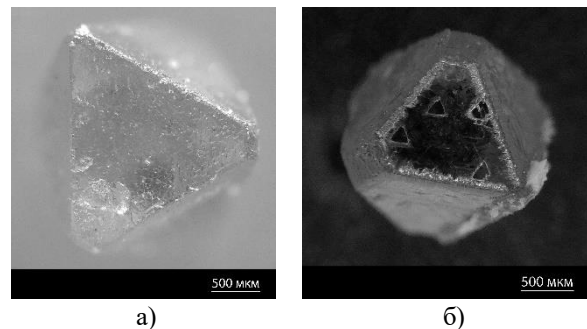


Рис. 4 - Штучні алмази після а) хіміко-термічної б) термічної обробки.

Характер руйнування зразків крихкий. Повне руйнування монокристалу на дрібні уламки відбувається майже миттєво. Слід зазначити, що для кристалів які витримують навантаження 2000...10000 Н зменшується розмір уламків (рис. 5).

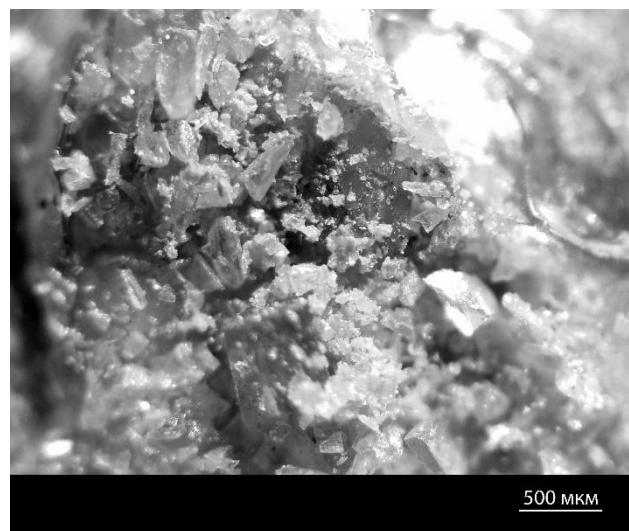


Рис. 5 - Штучні алмази зруйновані в результаті

експерименту з визначення статичної міцності 5700Н.

Згідно ДСТУ 3292-95 статична міцність - це зусилля при якому відбувається руйнування кристалу. Значення вимірювання навантаження руйнування для дослідні монокристали типу Ib октаедричного габітусу підданих термічній обробці наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати випробувань з визначення статичної міцності монокристали типу Ib

№	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

На основі даних табл. 1 ми побудували графік розподілення величини критичного навантаження стискання або статичної міцності від розміру монокристалу (рис. 6).

Згідно рис. 6. найбільшу статичну міцність мають кристали величина довжини ребра для котрих не перевищує 1 мм. Значення статичної міцності для відібраних кристалів суттєво змінюється від кристалу до кристалу. Крім того слід зазначити, що і для кристалів довжина ребра котрих менша за 1 мм є кристали з більш низьким значення м статичної міцності. Метод оптичного аналізу стану поверхні не дає відповідь на питання, з чим це пов'язано, таким чином для кристалів типу Ib одного і того самого габітусу, потрібен додатковий спосіб контролю якості, що дасть змогу оцінити якість кристалів неруйнівним методом і розподілити такі кристали по групах.

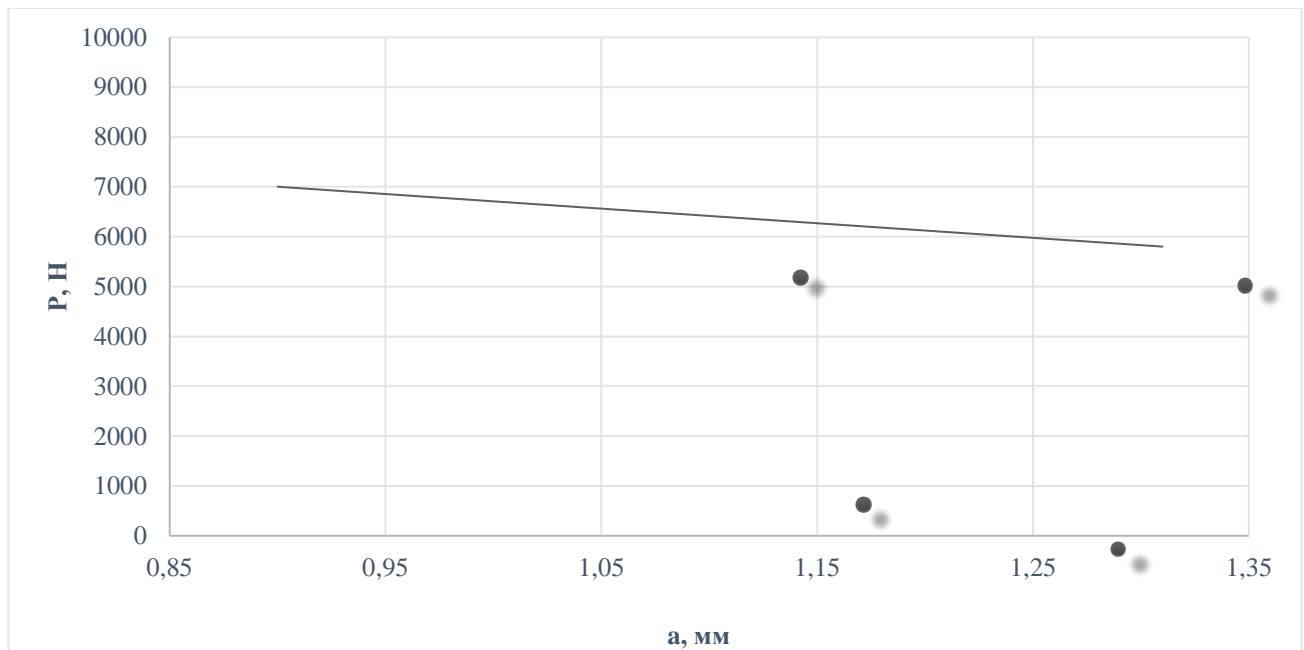


Рис. 6 - Залежність статичної міцності від довжини ребра монокристалів алмазу типу Ib.

**Висновки.** Дослідження впливу окремих етапів технологічного процесу, а саме: хіміко-термічної та термічної обробки на статична 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 більше значення критичного навантаження ніж кристали лінійний розмір котрих 1200 мкм і більше. Серед недоліків таких кристалів

отриманих НРНТ методом можна назвати суттєвий розкид значень статичної міцності навіть для кристалів, які мають однакові розміри. Для кристалів типу Ib відсутність неруйнівних методів контролю якості. Якщо характеристики міцності кристалу типу Ib, алмазні порошки що набули широкого застосування у виробництві бурового та правлячого інструменту, гарно корелюються із результатами вимірювання магнітного сприйняття то для кристалів Ib таку залежність отримати не можна оскільки вони є немагнітними. Питання неруйнівного контролю для таких алмазів є і досі відкритим.

## Список літератури

1. Suprun O. M. Change of dislocations density in single crystals of various types diamonds depending on the growth temperature and rate/ O. M. Suprun, G. D. Il'nikskaya, V. A. Kalenchuk [at all]// Functional materials. – 2016. – №. 4 (23). – P. 552–556.

2. Лошак М. Г. Влияние свойств микропорошков алмаза на прочность и долговечность изготовленных на их основе поликристаллических сверхтвердых материалов/ М. Г. Лошак, А. А. Шульженко, Л. И. Александрова [и др.]// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сб. науч. тр.– К: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2008.–вып. 11. – С.218–221.

3. Новиков, Н. В. Физические свойства алмаза: справочник/ Н. В. Новиков, Ю. А. Кочержинский, Л. А. Шульман [и др.]; под ред. Н. В. Новикова. – К. : Наукова думка, 1987. – 189 с.

4. Шульженко А. А. Механические характеристики алмазных композиционных материалов, полученные с использованием алмазов различных размеров/ А. А. Шульженко, М. Г. Лошак, Л. Н. Девин [и др.]// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления: Сб. науч. тр.– К: Изд-во ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2006.–вып. 9. – С. 139–145.

5. Дронова Н. Д. Характеристика и оценка алмазного сырья/ Н. Д. Дронова, И. Е. Кузьмина //М.: МГТУ. – 2004. – 400 с.

6. Епифанов В. И. Технология обработки алмазов в бриллианты: учеб. Пособие/ В. И. Епифанов, А. Я. Песина, Л. В. Зыков // М.: Высшая школа, 1987. – 337с.

7. Кадомський С. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання деталей машин/ С. В. Кадомський// Київ: НУХТ, 2016. – 169с.

8. ISO 15253:2000 Ophthalmic optics and instruments — Optical devices for enhancing low vision.

9. ISO 4506:2018 Hardmetals — Compression test.

10. ДСТУ 3292-95 Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови.

growth temperature and rate. Functional materials. 2016, №. 4 (23), pp. 552–556.

2. Loshak M.G., Shul'zenko A.A., Aleksandrova L.I., Gargin V.G., Zaika N.I., Lisakovskiy V.S., Gomelyako V.M. Vliyanie svoystv mikroporoshkov almaza na proshnost I dolgovechnost izgotovlenih na ih osnovе polikristalicheskikh sverhtverdih materialov [Influence of the properties of diamond micropowders on the strength and durability of polycrystalline superhard materials made on their basis]. Porodorazrushashiy i metalloobrabatvayushiy instrument – tehnika i tehnologiya yego izgotovleniya – Rock destructive tool from superhard materials and technology of its application. 2008, Vol. 11, pp. 218–22.

3. Novikov N.V., Kocherginskiy U.A., Shulman L.A. at al. Fizicheskie svoystva almaza: spravoshnik [Physical properties of diamond: a reference guide]. Kyiv: Naukova dymka, 1987. 189 p.

4. Shul'zenko A.A., Loshak M.G., Devin L.N. at all Mehanicheskie karakteristiki almaznih kompozitsionnih materialov, poluchenih s ispolzovaniem almazov razlichnih razmerov [Mechanical characteristics of diamond composites obtained using diamonds of various sizes]. Porodorazrushashiy i metalloobrabatvayushiy instrument – tehnika i tehnologiya yego izgotovleniya – Rock destructive tool from superhard materials and technology of its application. 2006, Vol. 9, pp. 139–145.

5. Dronova N.D., Kuzmina I.E. Karakteristika I otsenka almaznogo siryа [Characterization and evaluation of rough diamonds]. Moscow: MGGU, 2004. 400 p.

6. Epifanov V.I., Pesina A.Y., Zykov L.V. Tehnologiya obrabotki almazov v brilianty: uhebnoe posobie [Technology of processing diamonds into polished diamonds: educational methodological guide]. Moscow: High school, 1987. 337 p.

7. Kadomskiy S.V. Vzaemozaminnist, standartizatsiya ta tekhnichni vimiruvannya detalyi mashin [Interchangeability, standardization and technical measurements of machine parts]. Kyiv: NUHT, 2016. 337 p.

8. ISO 15253:2000 Ophthalmic optics and instruments — Optical devices for enhancing low vision.

9. ISO 4506:2018 Hardmetals — Compression test.

10. DSTU 3292-95 Poroshky almazni syntetychni. Zagaljni tekhnichni umovy [Synthetic diamond powders. General technical conditions].

## References (transliterated)

1. Suprun O. M. , Il'nikskaya 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

Надійшла (received) 11.03.2022

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Цисар Максим Олександрович (Цысарь Максим Александрович, Tsysar Maksym Oleksandrovych)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (093) 907-36-68; e-mail: ts\_maxim@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4494-9109>

**Загора Анатолій Петрович (Загора Анатолий Петрович, Zakora Anatolii Petrovych)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (044) 430-33-23; e-mail: apz146@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9380-3042>

**Бабак Антон Миколайович (Бабак Антон Николаевич, Babak Anton Mykolayovych)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", доцент кафедри Динаміки і міцності машин та опору матеріалів; тел.: (050) 685-49-11; e-mail: sorgomat\_dpm@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5088-5578>

**Івахненко Сергій Олексійович (Ивахненко Сергей Алексеевич, Ivakhnenko Sergii Oleksiyovych)** – доктор технічних наук, член кореспондент, провідний науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (044) 432-95-29; e-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4796-3416>

**Заневський Олег Олексійович (Заневский Олег Алексеевич, Zanevskii Oleg Oleksiyovych)** – кандидат хімічних наук, провідний науковий співробітник Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (044) 432-95-29; e-mail: sioz@ismv13.kiev.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6751-866X>

**Ільницька Галина Дмитрівна (Ильницкая Галина Дмитриевна, Il'nitska Halina Dmytriivna)** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (044) 432-95-29; e-mail: gil-ism@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-1646>

**Загора Євгенія Олексіївна (Загора Евгения Алексеевна, Zakora Ievgeniia Oleksiivna)** – провідний інженер, Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, м. Київ; тел.: (044) 430-33-23; e-mail: jaz6591@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-0724-8941>