

Шифр «ШАРП»

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ
СИНТЕТИЧНИХ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ АЛМАЗНИХ КРУГІВ.....	4
РОЗДІЛ 2 ВЛАСТИВОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН.....	9
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕОРІЙ РУЙНУВАННЯ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ.....	13
РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ.....	19
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	31

ВСТУП

Застосування синтетичних надтвердих матеріалів (СНМ) у різноманітних галузях народного господарства є визначальним фактором вдосконалення вже існуючих та створення нових інструментів та інструментальних матеріалів, технологічних процесів, зниження собівартості продукції, покращення її якості, підвищення довговічності та надійності інструментів, деталей машин та приладів. Однак, залишається актуальною проблема ефективності обробки цих матеріалів. Алмазне шліфування як традиційний процес обробки СНМ є дорогим, низькопродуктивним, який часто характеризується нестабільною якістю оброблюваних виробів. Крім того, інструмент, який застосовується при цьому, відрізняється високою невиробничою витратою дороговартісних алмазних зерен в процесі експлуатації.

У теперішній час в Україні є декілька сотень марок зв'язок, які застосовуються в алмазних кругах. Ці зв'язки суттєво відрізняються за своїми властивостями міцності. Наприклад, лише металеві зв'язки мають доволі широкий діапазон міцності від алюмінієвих (ПМ12) до твердосплавних (ВК8). Таким же широким діапазоном характеризуються властивості міцності алмазних шліфпорошків від АС2 до АС160.

Однак, у теперішній час відсутня методологія вибору оптимального поєднання властивостей міцності алмазних зерен та металевої зв'язки стосовно обробки конкретного оброблюваного матеріалу. Існуючі в літературі рекомендації щодо застосування тих чи інших алмазних зерен та металевих зв'язок носять доволі загальний характер та мають великі діапазони. Такі рекомендації, з урахуванням високої вартості алмазних зерен (які відрізняються в залежності від марки зерна в сотні разів), призводять до низької ефективності їх використання та, внаслідок цього, високої собівартості процесу алмазного шліфування, що суттєво знижує його застосування в процесах обробки. До нераціонального використання алмазних зерен приводить також не завжди обґрунтоване призначення рівня їх концентрації в алмазних кругах.

Концентрація алмазних зерен (25, 50, 100, 150, 200 %), яка традиційно застосовується у кругах, що серійно випускаються, потребує суттєвого уточнення. При цьому повинна вирішуватися задача оптимального поєднання властивостей міцності металевої зв'язки та алмазних зерен з точки зору збереження їх цілісності в процесі спікання алмазних кругів.

Тому з метою підвищення роботоздатності алмазних кругів у даній роботі проаналізовані методи їх виготовлення, основні теорії руйнування крихких матеріалів (для дослідження процесу виготовлення з точки зору визначення умов максимального збереження цілісності зерен) та можливості виявлення оптимального поєднання марок, зернистостей, концентрацій алмазних порошоків з типом металевої зв'язки, які забезпечують мінімальну дефектність спечених шліфувальних кругів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ АЛМАЗНИХ КРУГІВ

Найбільш поширеним способом виробництва інструменту з надтвердих матеріалів (НТМ) на металевій зв'язці є спікання виробів у прес-формах з наступним гарячим пресуванням (ущільненням) [1]. Схема технологічного процесу виробництва інструменту цим методом наведена на рисунку 1. При виготовленні ряду інструментів додають ще виготовлення й обміднення проміжного сталевого кільця і закріплення його з нанесеним алмазоносним шаром на корпус. В даний час розроблена широка номенклатура металевих зв'язок.

Для підвищення адгезійної взаємодії металевих зв'язок з абразивними зернами в їх склад вводять поверхнево-активні елементи: титан, цирконій, хром, ванадій, а також рідкоземельні елементи (церій, лантан, неодим і ін.). Недоліком металевих зв'язок є висока схоплюваність їх з оброблюваними металами і сплавами, яка при недостатньому охолодженні призводить до зниження працездатності інструменту. Для запобігання цьому до складу зв'язок вводять тверді неметалеві наповнювачі: абразивні порошки, антифрикційні добавки, тверді мастила [2]. При виборі складу зв'язок і розробці нових складів

поряд з експлуатаційними вимогами, що пред'являються до інструменту, необхідно враховувати необхідність забезпечення технологічності процесу виготовлення інструменту.

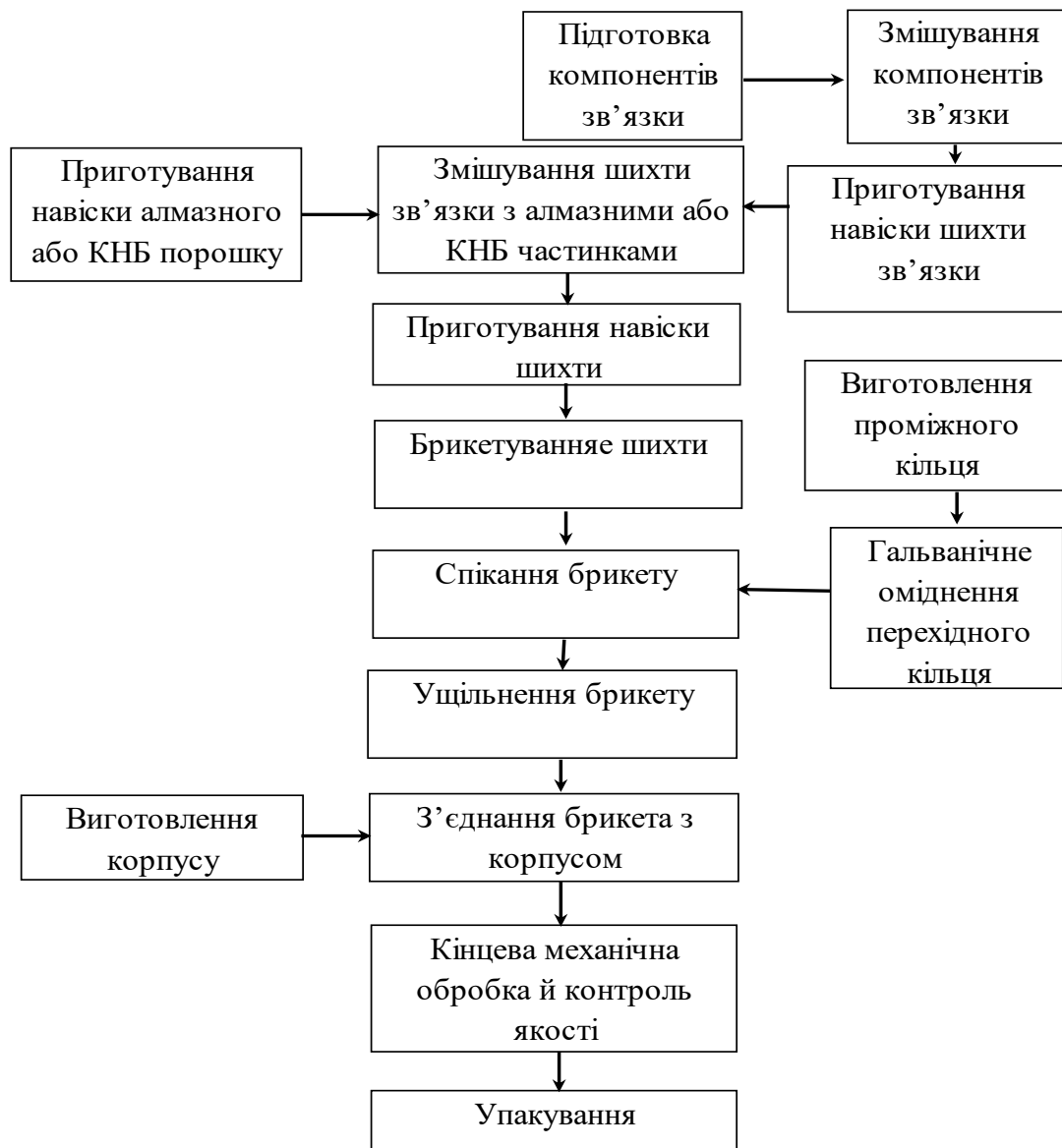


Рис. 1. Технологічна схема виготовлення інструменту з НТМ на металевій зв'язці методом порошкової металургії

Температура спікання алмазозного шару обмежується термостійкістю алмазів і жароміцністю матеріалу прес-форм для спікання і гарячого допресування (не вище 850 °С), що звужує сферу застосування більш тугоплавких металів в якості зв'язок. Шихта для зв'язки повинна мати хорошу здатність до пресування, щоб виходили міцні брикети при помірному тиску пресування, так як при більш високому тиску НТМ буде дробитися. Через ці

обмеження в якості зв'язок не використовують в чистому вигляді залізо, кобальт, нікель, хром, сталь, тверді сплави.

При підготовці формувальної маси спочатку з компонентів готують шихту зв'язки, а потім змішують її з алмазом. Підготовка компонентів включає просіювання через сита, а в деяких випадках і дроблення. Дрібні фракції металевих порошоків (40 мкм і менше) використовують для приготування формувальної маси з мікропорошків, більші фракції (80 мкм і більше) – для формувальної маси з шліфпорошків. Металеві порошки схильні до окислення при зберіганні, що ускладнює їх спікання. Тому металеві порошки, що окислилися, перед використанням піддають відновленню при нагріванні в середовищі водню. Змішують порошкоподібні компоненти зв'язок в змішувачах [1].

Зв'язки на основі алюмінієвих сплавів отримують сплавленням відповідних компонентів з подальшим подрібненням литого сплаву. Змішування металевої зв'язки з порошками НТМ проводиться із застосуванням зволожувача – вазелінового масла, 20 % розчину гліцерину в спирті та ін. Зволожувач додають в кількості 0,5-2,0 % від маси зв'язки для підвищення рівномірності змішування частинок порошку зі зв'язкою і запобігання сегрегації формувальної маси. Шліфпорошки НТМ спочатку ретельно змішують із зволожувачем, потім – зі зв'язкою в змішувачах. Мікропорошки спочатку змішують «всуху» зі зв'язкою, потім отриману суміш 3-4 рази протирають через сито з розміром осередку 160-200 мкм для диспергування грудок і, нарешті, зволожують і змішують в барабанних змішувачах.

Брикетування, спікання та гарячу допресовку (ущільнення) здійснюють в прес-формах. Спікання і гаряча допресовка можуть здійснюватися в тій же прес-формі, що й брикетування. За цією схемою виготовляють дрібними партіями фасонні, а також спеціальні інструменти [1, 2].

При виготовленні інструменту простих форм здійснюють брикетування в одній прес-формі, а спікання і гарячу допресовку – в іншій. Це дозволяє спростити конструкцію прес-форм для спікання, знизити металоємність і трудомісткість їх виготовлення та підвищити їх стійкість. Для більшої

рівномірності щільності брикету по висоті рекомендується застосовувати двостороннє пресування. Для спресованого брикету характерна пружна післядія, сутність якої полягає в тому, що після зняття навантаження брикет розширюється. Для більшості промислових виробів розширення становить 0,15-0,3 % по діаметру і до 0,5 % по висоті брикету.

Нагрівання при спіканні здійснюють в прес-формах, аналогічних прес-формам для брикетування. Температура спікання становить, як правило, 500-830 °С. У промисловому виробництві алмазного інструменту на металевій зв'язці, в основному використовують камерні та тунельні електричні печі, в тому числі із захисною атмосферою. Після ізотермічної витримки прес-форми витягають з печі і встановлюють на гідравлічний прес для гарячої допресовки (ущільнення). В результаті гарячої допресовки виходить безшпаристий алмазозносний шар. Міцність зразків після гарячої допресовки істотно зростає в порівнянні з міцністю після вільного спікання [2].

Спікання під тиском відрізняється від звичайного спікання тим, що до виробів, попередньо спресованим звичайним пресуванням, прикладається невеликий тиск 0,8-5 МПа, як правило, одночасно до декількох виробів, укладених один на один в стопку. Цей метод застосовують для запобігання деформування при спіканні плоских виробів і припікання алмазно-металокерамічних композицій до металевих корпусів (наприклад, при виготовленні алмазних планшайб, алмазних відрізнних кругів).

Гаряче пресування полягає в одночасному пресуванні та спіканні. Його можна застосовувати в тих випадках, коли виготовлення щільних виробів іншими методами ускладнене або неможливе: в композиціях з твердими тугоплавкими сполуками (карбідами, борідами і ін.), які мають вкрай малу пластичність. При гарячому пресуванні витримки під тиском значно подовжуються, що необхідно для спікання. У той же час, тиск при пресуванні знижується в кілька десятків разів у порівнянні з тиском при звичайному пресуванні, так як опір матеріалів пластичній деформації значно знижується з ростом температури.

При виготовленні інструментів методом відцентрового лиття засипають навіску шліфпорошку з НТМ, який розподіляється по периферії форми кільцевим шаром завдяки відцентровій силі. Потім в форму заливають розплав металу-зв'язки, який, завдяки відцентровій і капілярній силам, заповнює порожнечі і пори між частинками НТМ і наливають розплав металу для корпусу круга. Основна перевага способу відцентрового лиття кругів полягає в тому, що тиск, який впливає на частинки НТМ і форму, менше за тиск, що застосовується при методі порошкової металургії (до 1000 разів) [3]. Тому стійкість форм підвищується в десятки, сотні разів. Крім того, форми для лиття значно простіше за конструкцією.

Принцип способу виготовлення інструменту методом металізаційного напилення полягає в тому, що на корпус інструменту, що обертається, з попередньо нанесеними на нього зернами НТМ, через діафрагму подається потік розплавлених частинок металу, завдяки чому відбувається міцне закріплення частинок на корпусі і утворюється робочий шар. Метал розпилюють в металізаторі струменем стисненого повітря. При виготовленні інструменту методом плазмового напилення в зоні електричної дуги газ (аргон, азот або їх суміші) іонізується, утворюючи плазмову дугу. Температура струменя плазми досягає 5000-10000 °С. Шихта, що містить алмазний порошок і зв'язку, подається в плазмовий струмінь з дозатора і напиляється на корпус інструменту. Його застосовують при виробництві інструментів великих зернистостей – від 1000/800 і вище. Перевагою цих методів напилення є можливість використання в якості зв'язок будь-яких відомих металів і матеріалів.

Для механічної обробки алмазоносного шару на металевій зв'язці доцільно застосовувати більш ефективні способи, наприклад, електроерозійний. У якості кола, що править, використовують струмопровідний абразивний круг на металевій зв'язці, який є катодом. Алмазний круг, що піддається правці, є анодом. При цьому методі правки робоча поверхня круга виявляється більш шорсткою, значно оголюються і виступають алмазні зерна.

Виготовлення інструментів електрохімічним способом [3]. При проходженні постійного електричного струму через водні розчини солей, на катоді осідає шар металу, якщо в якості катода використовувати корпус інструменту з розташуванням на ньому стійкої тканини, в яку завантажують алмазний порошок. В товщу порошку занурюють частину корпусу, на яку необхідно нанести робочий шар. До корпусу інструменту прикріплюються тільки ті зерна, які знаходяться в безпосередньому контакті з його поверхнею. Склад електроліту: сірчаноокислий нікель, хлористий нікель, борна кислота. Хлористий нікель вводять для поліпшення електропровідності електроліту, борну кислоту – для стабілізації кислотності електроліту (рН), підвищення пластичності і збільшення блиску осадів. Спочатку на поверхню корпусу осаджують тонкий шар нікелю, а потім прикріплюють зерна НТМ. Час осадження залежить від зернистості алмазу, форми і розмірів інструменту. Після нарощування алмазів з інструменту видаляють захисну ізоляцію, нікелюють корпус, промивають, сушать.

Проведений аналіз методів виготовлення алмазних кругів дозволить у подальшому врахувати всі їх переваги та недоліки, що надасть змогу визначити шляхи підвищення працездатності кругів шляхом створення умов максимального збереження цілісності зерен в них.

РОЗДІЛ 2 ВЛАСТИВОСТІ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН

У теперішній час з синтетичних алмазів у відповідності з ДСТУ виготовляють шліфпорошки, мікропорошки та субмікропорошки 14 марок [4]. Це дозволяє використовувати алмази диференційовано (таблиця 1).

Основним показником якості шліфпорошків з синтетичних алмазів є міцність при статичному стисканні. Алмазні шліфпорошки в залежності від розміру зерен і методу їх отримання ділять на групи [4]:

- шліфпорошки (розмір зерен від 3000 до 40 мкм);
- мікропорошки (розмір зерен від 80 до 1 мкм і дрібніше);

– субмікропорошки (розмір зерен від 1,0 до 0,1 мкм і дрібніше).

Розмір зерен кожної фракції алмазних шліфпорошків визначають номінальними розмірами сторін осередків у світлі двох контрольних сит у мікрометрах, причому через верхнє сито зерна повинні проходити, а на нижньому – затримуватися [3].

Таблиця 1

Характеристика та галузь застосування алмазних шліфпорошків

Марка алмазного порошку	Характеристика	Рекомендована галузь застосування
1	2	3
A1	З природних алмазів, які отримані дробленням, які містять не менше 10 % зерен ізометричної форми	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках при обробці технічного скла, кераміки, каменя, бетону
A2	З природних алмазів, які отримані дробленням, які містять не менше 20 % зерен ізометричної форми	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках при обробці технічного скла, кераміки, каменя, бетону
A3	Ті ж, вміст не менше 30 % зерен ізометричної форми	
A5	З природних алмазів, які отримані дробленням, які містять не менше 50 % зерен ізометричної форми	Виготовлення шліфувальних кругів на металевих зв'язках, в тому числі виготовлені гальванічним методом, для обробки каменю з твердих порід, міцних бетонів, твердої кераміки. Виготовлення виправного, бурового інструментів, інструментів для будівництва та обробки каменю.
A8	З природних алмазів, які отримані дробленням, і містять не менше 50 % зерен ізометричної форми	Виготовлення виправного, бурового інструментів, інструментів для будівництва та обробки каменю
AC2	З синтетичних алмазів підвищеної крихкості, зерна яких представлені агрегатами з розвиненою поверхнею	Виготовлення інструментів на органічних зв'язках, які застосовуються на чистових й остаточних операціях при обробці твердого сплаву
AC4	Ті ж, зерна які представлені агрегатами та зростками	

АС6	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені, в основному, недосконалими кристалами, їх уламками та зростками	Виготовлення інструментів на органічних, металевих, керамічних зв'язках, які застосовуються при обробці твердого сплаву, кераміки, скла і інших крихких матеріалів
АС15	Ті же, зерна яких представлені, в основному, уламками, зростками, агрегатами і окремими суцільними кристалами	
АС20	Ті же, зерна яких представлені уламками досконалих кристалів, зростками, агрегатами	
АС32	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 12%), уламками кристалів, зростками та агрегатами (не більше 15%)	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, застосовувані для шліфування каменя, різання м'яких гірських порід, обробки скла, рубіну, лейкосапфіру, ситалу, корунду, чернового хонінгування
АС50	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 20%), уламками кристалів, зростками та агрегатами (не більше 10%)	
АС65	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 35%), уламками кристалів, зростками і агрегатами (не більше 5%) з коефіцієнтом форми не більше 1.25	
АС80	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 45%), уламками кристалів, зростками і агрегатами (не більше 12%) з коефіцієнтом форми не більше 1.20	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, застосовувані при обробці будматеріалів, гірських порід середньої твердості, кераміки, скла, природного каменя, бетону, в буровому інструменті, свердлах
АС100	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 55 %), уламками кристалів, зростками (не більше 8 %) з коефіцієнтом форми не більше 1.18	
АС125	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалими кристалами (не менше 70 %), уламками кристалів, зростками (не	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, застосовувані для різки, свердління природного каменя, бетону, скла, кераміки,

	більше 6 %) з коефіцієнтом форми не більше 1.18	правки шліфувальних кругів, обробки вогнеупорів, в буровому інструменті
АС160	З синтетичних алмазів, зерна яких представлені досконалыми кристалами (не менше 85%), уламками кристалів, зростками (не більше 4%) з коефіцієнтом форми не більше 1.15	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, застосовувані для різки, свердління природного каменю, бетонів, скла, кераміки, правки шліфувальних кругів, обробки вогнеупорів, в буровому інструменті
АРВ1	З синтетичних полікристалічних алмазів типу «баллас»	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, застосовувані для чорного хонінгування чавунів, різки та шліфування склопластиків та інших неметалевих матеріалів
АРК4	З синтетичних полікристалічних алмазів типу «карбонадо»	Виготовлення інструментів на низькотемпературних металевих зв'язках, застосовувані для різки та обробки каменя низької і середньої твердості, вогнеупорів
АРС3	З синтетичних полікристалічних алмазів типу «спеки»	Виготовлення інструментів на металевих зв'язках, які застосовуються при обробці природного каменя, бетону, будматеріалів, правки шліфувальних кругів, бурінні порід середньої твердості

Розмір зерен алмазних мікропорошків і субмікропорошків визначається напівсумою довжини та ширини прямокутника, умовно описаного навколо проекції зерна таким чином, щоб більша сторона прямокутника відповідала найбільшій довжині проекції зерна [3].

Алмазні шліфпорошки залежно від виду сировини, з якого вони виготовлені, позначаються наступними буквеними індексами: А – природні алмази; АС – синтетичні алмази; АР – синтетичні полікристалічні алмази.

Додаткові літерні індекси позначають тип полікристалічного алмазу: В – «баллас»; К – «карбонадо»; С – «спеки».

Цифровий індекс, що стоїть після літерного, виражає:

– у шліфпорошках з природних алмазів – вміст зерен ізометричної форми, виражений десятками відсотків;

– у шліфпорошках з синтетичних алмазів – середнє арифметичне значення показників міцності на стискання всіх зернистостей певної марки, виражене в ньютонах;

– у шліфпорошках з синтетичних полікристалічних алмазів – середнє арифметичне значення показників міцності на стискання всіх зернистостей певної марки, виражена в сотих частках ньютонів.

Існують додаткові індекси, що характеризують відмінні властивості цієї марки, наприклад: Т – термостійка, Д – динамічно стійка, О – овалізована, Н – немагнітна.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕОРІЙ РУЙНУВАННЯ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ

При виготовленні деталей з крихких неметалевих матеріалів основними процесами для отримання якісних поверхонь є шліфування та полірування за допомогою абразивних порошоків у вільному та зв'язаному стані. Забезпечення ефективності процесу формоутворення виробів в кожному конкретному випадку можливе, якщо з'ясовані фізичні аспекти процесу руйнування крихких матеріалів при абразивній обробці.

Існуючі теорії руйнування твердих тіл засновані на уяві про її міцність. Більшість досліджень для крихких неметалевих матеріалів виконані для скла, як найбільш давно і широко поширеному у цій категорії матеріалів. Дослідженням міцності та механізму руйнування матеріалів на основі скла присвячено велика кількість робіт [5, 6, 7]. Під міцністю твердих крихких тіл розуміють опір розриву, завдяки тому, що саме розтягуючі напруження або максимальні нормальні напруження є тими, що обмежують міцність крихких матеріалів і можуть служити критерієм руйнування [4]. Руйнування тіла є складним процесом, розвиток якого залежить від температури, швидкості навантаження, характеру напруженого стану, структури тіла, навколишнього середовища і т. ін. [6, 7, 8].

До вирішення проблеми міцності в даний час існують два основних підходи, які умовно називаються механічним та кінетичним. Засновником механічної концепції є Гриффітс. Згідно його теорії, запропонованої для скла, руйнування є результатом втрати стійкості твердим тілом, яке знаходиться в полі зовнішніх та внутрішніх напружень. При цьому тіло розглядається як суцільне середовище, яке містить багаточисельні найдрібніші дефекти у вигляді мікротріщин, що діють як концентратори напружень [9]. Причому, на краях мікротріщин під дією прикладеного розтягуючого напруження σ виникають перенапруження σ_k , які можуть в багато разів перевищувати середні напруження. Коли величина перенапружень у вершини найбільш небезпечної мікротріщини, що обумовлена прикладеним середнім напруженням, досягає рівня теоретичної міцності, відбувається катастрофічне (зі швидкістю, близькою до швидкості звуку) поширення тріщини та зразок руйнується на частини. Прикладене середнє напруження при цьому відповідає критичному напруженню σ_k . За Гриффітсом умова зростання тріщини, яка призводить до руйнування, має вид:

$$\frac{d}{d_a} \left(\frac{\pi a^2 \sigma^2}{2E} \right) > \frac{d}{d_a} (2\gamma_k a), \quad (1)$$

де E – модуль Юнга;

σ – енергія утворення нової поверхні руйнування при розриві;

a – глибина тріщини;

γ_k – поверхнева енергія руйнування.

Таким чином, критична напруга росту тріщини буде дорівнювати:

$$\sigma_k = \beta_k \left(\frac{E\gamma_k}{a} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де β_k – постійна.

Якщо розповсюдження тріщини супроводжується пластичною деформацією матеріалу перед її вершиною, то у виразі γ_k замінюється величиною ефективною поверхневою енергією руйнування $\gamma_{ke} = \gamma_k + \gamma_{кр}$, яка враховує роботу

пластичної деформації $\gamma_{кр}$. Аналогічними залежностями можуть бути враховані впливи на величину $\gamma_{ке}$ теплового руху та поверхнево-активного середовища.

Основоположником *кінетичної концепції* є С. Н. Журков, в подальшому вона отримала розвиток в роботі [10]. Згідно з цією концепцією, руйнування розглядається як результат процесу, який розвивається в матеріалі протягом часу, тобто як кінцевий етап поступового розвитку і накопичення субмікроскопічних руйнувань, або як процес розвитку мікротріщин на молекулярному рівні. Цей процес відбувається в напруженому тілі під дією так званих теплових флуктуацій і механічних напружень. В процесі теплового руху розподіл енергії по окремим частинкам, які складають тіло, весь час змінюється. Тому кінетична енергія окремої частинки W , наприклад, атома в полімерному ланцюгу скла, з плином часу змінюється, досягаючи в деякі відрізки часу досить великих значень W^* , щоб розірвати хімічний зв'язок між атомами. Відхилення кінетичної енергії частинок W від середнього значення й називають флуктуаціями.

При цьому довговічність знаходження під навантаженням, тобто час τ , необхідний для розвитку руйнування від моменту навантаження тіла до його руйнування при розриві, зв'язана з величиною розривного напруження σ та температурою T° співвідношенням:

$$\tau = \tau_0 \exp \left[\frac{(U_0 - \chi_k \sigma)}{kT^\circ} \right], \quad (3)$$

де U_0 – енергетичний бар'єр (залежить від природи матеріалу,

для металів, близький до сублімації енергії, для

полімерів – до енергії термічної деструкції);

τ_0 – постійна, близька до періоду теплових коливань атомів,

приблизно рівна $10^{-13} - 10^{-11}$ с;

χ_k – коефіцієнт, що визначає ступінь зниження початкового

бар'єру U_0 під дією руйнівної напруги σ ;

k – постійна Больцмана.

Тривалість тимчасового процесу, який проходить у тілі від моменту навантаження до його руйнування, визначається згідно з (3) величиною

активаційного бар'єру $U = U_0 - \chi_k \sigma$ та температурою T° . Чим вище напруга, тим більше знижується бар'єр і менший час потрібний для руйнування.

Різні фізичні теорії, що пояснюють тимчасові ефекти міцності твердих тіл, які ґрунтуються на положенні, що процес руйнування є активаційним процесом розриву тих чи інших зв'язків, коли енергія активації знижується, а ймовірність і швидкість руйнування зростають при збільшенні прикладеної напруги. Щоб зв'язати між собою атомно-молекулярні процеси та мікроскопічне руйнування крихких матеріалів, вводиться певний локальний критерій, який встановлює основну причину руйнування більшості конструкційних матеріалів, що перебувають у крихкому стані. Зазвичай в таких матеріалах завжди є велика кількість різних початкових мікротріщин і найбільш небезпечна з них є ініціатором руйнування [11].

У монографії Р.М.Бартенєва наведена молекулярна модель мікротріщини, що є узагальненням відомих моделей тріщин Гриффітса і Ребіндера [12]. При крихкому або квазікрихкому руйнуванні тріщини (рис. 2) у її вершині відбувається послідовний розрив (та відновлення) хімічних зв'язків, які супроводжуються витратою кінетичної енергії на подолання потенційних бар'єрів.

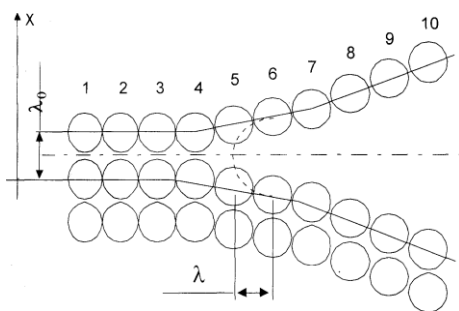


Рис. 2. Молекулярна модель мікротріщини

У навантаженому матеріалі, коли $\sigma \neq 0$, розтягуючі напруження сприяють розриву зв'язків та перешкоджають їх відновленню. Отже, для розриву зв'язків потрібна менша U , а для їх відновлення – більша U' , ніж в ненавантаженому стані. При зростанні розтягуючого напруження ймовірність розриву зв'язків зростає, а відновлення – зменшується; більш ймовірним стає розрив зв'язків і мікротріщина росте: $U < U'$. Напруження $\sigma = \sigma_{сТ}$ (де $\sigma_{сТ}$ – напруження відновлення зв'язків), при якій ймовірність розриву та відновлення зв'язків рівні, є безпечним напруженням тріщини. При цьому потенційні енергії активації U_* та рекомбінації U'_* є рівними: $U_* = U'_*$.

При навантаженні крихкого матеріалу, коли розтягуюче напруження $\sigma > \sigma_{ст}$, мікротріщина починає рости. Швидкість її росту залежить від того, наскільки величина напруження розтягування σ більше величини безпечної напруги $\sigma_{ст}$. При невеликому перевищенні σ відносно $\sigma_{ст}$ на першій стадії внаслідок повільного зростання мікротріщини на поверхні розриву утворюється гладка або дзеркальна зона руйнування. Поступово, зі зростанням мікротріщини, навіть при стаціонарному навантаженні, ростуть локальні напруження σ_l біля кінчика тріщини. Внаслідок цього збільшується швидкість росту тріщини, так як зі зростанням локальних напружень зростає нерівність: $U < U'$ [12].

На другій стадії руйнування, що протікає зі швидкістю, близькою до швидкості поширення поперечних пружних хвиль у твердому тілі, виникає шорстка зона руйнування [9]. Руйнування на другій стадії відбувається за механізмом, який Гриффітс вважав єдиним і характерним для крихких тіл.

У цьому випадку локальна напруження біля вершини тріщини стає критичною, енергія активації перетворюється в нуль і відбувається перехід від активаційного термофлуктуаційного механізму розриву зв'язків до безактиваційного атермічного, при якому відбувається розрив зв'язків під дією механічної сили, і для розриву не потрібно теплових флуктуацій. Тобто, узагальнивши положення кінетичної теорії, можна зробити висновок, що процес руйнування складається з наступних стадій: збудження міжатомних зв'язків, розрив цих зв'язків під дією теплової флуктуації, утворення субмікроскопічних тріщин, виникнення магістральної тріщини під дією механічної сили та розрив зразка.

Наведена вище залежність (3) отримана за умови дії на крихкі матеріали постійних (стаціонарних) навантажень (напружень) і є фундаментом для з'ясування природи та механізмів руйнування цих матеріалів [12].

Розглядаючи механізми руйнування скломатеріалів при абразивній обробці, цікавими є інші тимчасові режими деформації, які виникають при циклічних навантаженнях або багаторазових деформаціях, що супроводжують процес взаємодії абразивних зерен з оброблюваною поверхнею, який можна характеризувати як динамічний режим з періодичним законом зміни параметрів. 17 Якщо механізм руйнування

один і той же при статичних і циклічних навантаженнях, то для умов крихкого руйнування наближено вірний так званий «інтегральний критерій руйнування Бейлі», який враховує довжину початкової тріщини в тілі до прикладання навантаження, концентрацію напружень у мікроефекті та величину флуктуаційного об'єму, який визначається структурою матеріалу, та може бути визначений залежністю [12]:

$$\int_0^{\tau_p} \left[\frac{1}{\tau}(\sigma, T, l_0) \right] dt = 1 \quad (4)$$

де τ_p – довговічність зразка при будь-якому нестационарному режимі випробування;

$\tau(\sigma, T^\circ, l_0)$ – довговічність при постійному (стаціонарному) напруженні, яке визначається за основним рівнянням довговічності для зразка з початковою мікротріщиною l_0 при $T^\circ = const$.

Критерій Бейлі справедливий у разі, якщо:

1) розглядаються матеріали, для яких руйнування є незворотнім процесом, тобто для них пошкодження, що накопичилися в зразку при припиненні дії навантаження, не зникають;

2) швидкість руйнування, під якою розуміють швидкість росту тріщин, залежить тільки від прикладеної напруги, а не від ступеня вже наявних пошкоджень.

Перша умова для матеріалів на основі скла виконується повністю, друга – частково, так як для крихких твердих тіл, строго кажучи, швидкість руйнування залежить не тільки від напруги, але й від ступеню вже наявного руйнування в матеріалі $[l(t)]$. Тому для крихкого руйнування критерій (4) вірний лише наближено для досить швидких руйнувань, коли дзеркальна зона займає малу частку поверхні розриву. Абразивна обробка скломатеріалів є прикладом саме такого швидкого руйнування. В цьому випадку практично можна вважати, що швидкість процесу руйнування визначається номінальним напруженням σ , близькою до напруги σ' , яка розрахована на незруйнований поперечний переріз зразка [11].

За даними [7] порівняння міцності твердого тіла при статичному та динамічному способі впливу на нього певної сили (навантаження) можливо тільки при одній і тій же величині переданої енергії. У полі цієї тези знаходяться результати досліджень Р. Румфа. Він стверджує, що руйнування скла обумовлено двома умовами: силовим та енергетичним. Силова умова передбачає, що при руйнуванні скла повинні бути подолані молекулярні сили зчеплення, які на один-два порядки більше фактичної міцності скла, яка обумовлена наявністю дефектів і мікротріщин Гриффітса. Енергетична умова полягає в тому, що при диференціальному розвитку тріщин підведена і споживана енергія повинні бути рівні одна одній. Позначаючи кінетичну енергію, віднесену до одиниці довжини фронту тріщини через W/l , автор отримав загальну енергетичну умову, пов'язану з поширенням тріщини [7]:

$$\sum G_i = 2\gamma_0 + \frac{dW}{dt}, \quad (5)$$

де $\sum G_i$ – сума сил, що впливають на поширення тріщини;

γ_0 – питома поверхнева енергія.

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

4.1 Методика рекуперації алмазного порошку з алмазозного шару шліфувальних кругів

При проведенні експериментальних досліджень за методикою [13], був досліджений алмазозний шар шліфувального круга 12А2 – 45° (150×10×3×32) ГОСТ 16172-80 АС6 200/160 М2-014 в об'ємі ~ 1см³, подрібнений до порошкоподібного стану. Для очищення алмазозного порошку було приготовано суміш азотної та соляної кислот (у співвідношенні 1:3) з розрахунку 100-150 мл суміші на 200-300 каратів алмазозного порошку. Алмазозмісткий порошок, масою близько 4,5 каратів, заливався сумішшю кислот на 1/3 об'єму ємності порцелянової чашки. Після кип'ятіння протягом

30-45 хвилин та відстоювання отриманої суміші, відпрацьовані кислоти зливалися. Алмазний порошок промивався гарячою (60-70°C) водою 3-4 рази.

На другому етапі готувалася «хромова суміш», яка складається зі 100-150 мл концентрованої сірчаної кислоти та 3 гр. $K_2C_2O_7$. Алмазний порошок заливався «хромовою сумішшю» з розрахунку 100-150 мл на 200-300 каратів порошку, та кип'ятився, не доводячи до повного видалення води. Відпрацьована «хромова суміш» зливалася, а алмазний порошок промивався гарячою дистильованою водою до повного зникнення промивних вод. Після цього алмазний порошок заливався 10 % розчином NaOH на 1/3 об'єму порцелянової чашки та кип'ятився протягом 30-45 хв. Розчин луги зливався, а алмазний порошок знову промивався дистильованою водою до нейтральної реакції шляхом багатократного повторення операцій. Потім ємність з алмазним порошком підлягала сушінню у сушильній шафі протягом 1 години при температурі 100°C до отримання псевдотекучого стану.

У таблиці 2 наведені матеріали та обладнання, які використовувалися під час очищення алмазного порошку.

Сто зерен, виділені таким чином із алмазоносного шару круга, вимірювалися на двопроменевому мікроінтерферометрі В. П. Лінника МІІІ-4М, оптична схема якого має збільшення 490 разів та поле зору 0,32 мм.

На рис. 3 наведено оптичну схему мікроінтерферометра. Промені від лампи направляються конденсатором 2 через світлофільтр 3 в площину апертурної діафрагми 4. Паралельний пучок світла після виходу з об'єктиву 5 падає на напівпрозору розділювальну пластинку 6. Відбита від пластинки частина світлового потоку, яка проходить через першу гілку інтерферометру, збирається в фокальній площині об'єктиву 10 на поверхні зерна 11, що підлягає вимірюванню.

Після відбивання від неї пучок світла знов проходить через об'єктив 10 та пластину 6 та збирається в фокусі об'єктива 12. Після цього пучок променів потрапляє в окуляр-мікромір 13 візирного тубусу, за допомогою якого спостерігається збільшене зображення вимірюваного алмазного зерна.

Таблиця 2

Матеріали, обладнання та засоби захисту

	Назва	ГОСТ
Матеріали	Алмазний порошок	ДСТУ 3292-95
	Дистильована вода	ГОСТ 6709-72
	Кислота соляна	ГОСТ 3118-77
	Кислота азотна	ГОСТ 4461-77
	Кислота сірчана	ГОСТ 4204-77
	Калій двохромовокислий	ГОСТ 4220-75
	Їдкий натр	ГОСТ 4328-77
Обладнання	Витяжна шафа типу Ш2НЖ	ТУ 95-7028-73
	Лабораторна сушильна шафа СНОЛ 3.5.3.5.3.5/3-53	ГОСТ 13474-79
	Ваги лабораторні 2-го класу	ГОСТ 24104-80
	Ваги 2-3-го класів	ГОСТ 7328-82
	Плитка електрична	ГОСТ 14919-83
	Термічна конічна колба	ГОСТ 19908-80
	Випарювальна порцелянова чашка	ГОСТ 19908-80
	Термостійкий скляний стакан	ГОСТ 19908-80
	Ексикатор з вологопоглинаючим вкладнем	
	Універсальний індикаторний папір «Рифан»	
	Совок	
	Мірні циліндри	ГОСТ 1170-74 Е

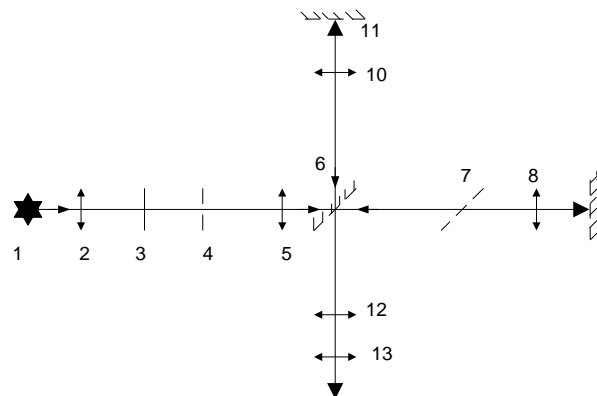


Рис. 3. Оптична схема мікроінтерферометру МІІ-4М

Алмазні зерна по одному розташовувалися між тонкими скляними пластинками та у такому вигляді поміщалися на предметний столик інтерферометра, де зерно орієнтувалося для зміни свого найбільшого та найменшого розмірів у даній площині. Після фокусування мікроскопу на вимірюваній поверхні потрібні напрямки зерна по чергові суміщалися зі шкалою окуляр-мікрометру

обертанням навколо вертикальної вісі та переміщенням у горизонтальній площині предметного столика приладу. Ціна ділення шкали окуляр-мікрометра – 0,3 мкм. Розмір зерна визначався як різниця відрахувань, які знімалися по шкалі та барабану окуляр-мікрометра у двох крайніх точках контуру зерна.

Отримані таким чином розміри 100 алмазних зерен були розбиті на шість груп. Результати наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Розмір навіски зерен

Розміри, мкм	55×125	85×200	115×160	135×200	165×255	185×310
Кількість зерен	2	3	9	24	51	11

За цими даними побудовано гістограму розподілу отриманих розмірів за зернистістю (рис. 4, а). Нормований алмазний порошок зернистістю 200/160

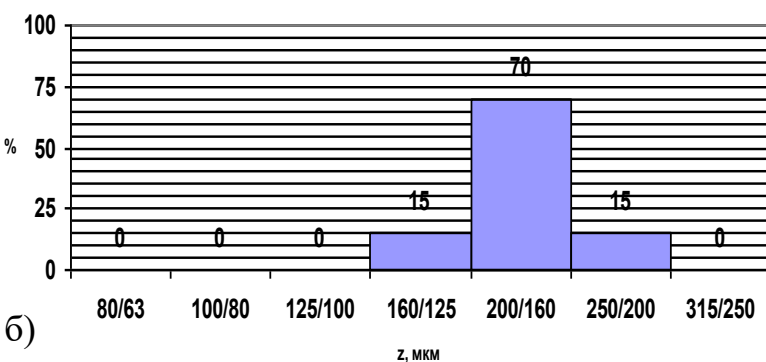
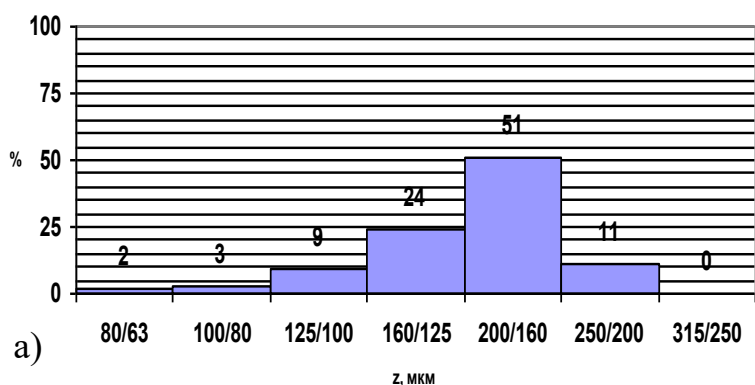


Рис. 4. Розмір навіски зерен 200/160:
а) вимірний; б) за ДСТУ 3292-95

повинен містити не менш 70 % зерен основної фракції, великої та мілкої фракцій – у кількості не більше 15 % кожної, граничної фракції – не допускається [4]. Гістограма такого розподілу розмірів показана на рис. 4, б. З рисунку видно, що кількість зерен основної (200/160) фракції зменшилася на 19 %, великої – на 4 %, а мілкої – зросла на 9 %. Крім того, з'явилися три ще більш мілкі фракції у наступній кількості: 125/100 – 9 %; 100/80 – 3 %; 80/63 – 2 %.

Ступінь пошкодження, яка визначається по аналогії з Н.В. Новіковим для композиційних алмазовмістких матеріалів як відношення зруйнованих зерен до їх загальної кількості [14], складає приблизно 0,28.

4.2 Визначення питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен

Традиційно застосовуване поняття питомого зносу алмазів пов'язано з загальним об'ємом алмазних зерен, які витрачені на знімання визначеного об'єму оброблюваного матеріалу, тобто він враховує сумарний об'єм зношених зерен та зерен, які випали зі зв'язки [4]. Такий показник не дає відповіді на питання, наскільки ефективно використовуються потенційні різальні властивості алмазних зерен, тобто, яка їх частина зношується, а яка випадає зі зв'язки.

В.С. Пташніков запропонував розділити цю питому витрату на дві частини – питомий знос q_{II} (фактичне співвідношення об'ємів диспергованих зерен та НТМ) та неефективні витрати q_B (відношення об'ємів випавших зі зв'язки круга та знятого НТМ) [8]:

$$q = q_{II} + q_B, \quad (6)$$

Відношення об'ємів диспергованих зерен V_d до об'єму усіх витрачених зерен V_z прийнято називати коефіцієнтом використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен $K_{\dot{E}}$:

$$K_{II} = \frac{V_d}{V_z} \quad (7)$$

Цей коефіцієнт є одним з головних показників ефективності процесу алмазного шліфування. За даними Т. Н. Лоладзе та Г. В. Бокучави [15] при традиційних способах шліфування $K_{\dot{E}}$ не перевищує 5-10 %. Виходячи з вищенаведеного, визначення коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен та пошук шляхів його збільшення є дуже важливою задачею. Особливо це важливо для процесів алмазного шліфування надтвердих матеріалів, коли контактують практично рівнотверді алмазні зерна та НТМ. Для визначення найбільш ефективних пар «марка зерна-марка НТМ»

визначальним показником є величина питомого зносу, так як величина питомої витрати більшою мірою визначається властивостями зв'язки.

При обробці цих матеріалів питома витрата досягає значної величини. Наприклад, при шліфуванні АСПК зернами марки АС6 кругами на різноманітних органічних та металевих зв'язках q може досягати відповідно 50-30 кар./карат, тобто для того, щоби зняти 1 карат АСПК необхідно витратити 50-30 карат алмазних зерен. Вочевидь, собівартість обробки у цьому випадку буде дуже високою.

Оскільки шліфування НТМ – це, в основному, процес взаємного крихкого мікроруйнування елементів системи «НТМ - зерно» [14], то питомий знос q_{II} визначається відношенням об'єму зруйнованих алмазних зерен V_1 до об'єму матеріалу, що оброблюється V_2 .

Методика визначення K_E заснована на особливостях шліфування НТМ кругами на металевих зв'язках. Ця особливість полягає в тому, що відсутнє впровадження алмазних зерен у матеріал, що оброблюється. Знос робочої поверхні вкритого кола (наприклад, електрохімічним способом) здійснюється в межах однієї висоти виступання зерен та при цьому зв'язка не зношується, тому що до визначеного періоду не контактує з оброблюваним НТМ.

Для перевірки достовірності результатів застосування описаної методики використовувалася розроблена система 3D-моделювання робочої поверхні кола, а також методика експериментального визначення потенційних ріжучих властивостей алмазних зерен. Для такої оцінки вивчався шлам, вилучений зі змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР), які містять залишки зерен, що випали зі зв'язки. Для відділення їх від «стружок» оброблюваного НТМ використовували металізовані зерна, відходи яких вилучали з ЗОР за допомогою магніту. Знаючи витрату алмазу P_1 (за вагою за досліджуваний період шліфування) та порівнявши його з вагою шламу P_2 , можна визначити коефіцієнт ефективності використання зерен K_E . Вага шламу – неефективно використана частина зерен P_2 .

4.3 Визначення динамічної міцності зерен

Показник динамічної міцності характеризує здатність алмазного порошку протистояти ударним динамічним навантаженням, які зазнають алмази при роботі алмазного інструменту. Цей технологічний показник застосовується переважно для характеристики якості шліфпорошків марок АС50 та більше та зернистостей 200/160 та вище [16]. Динамічну міцність можна визначити різними методами, але найбільш поширеним є метод випробувань алмазів при вібраційному навантаженні на пристроях типу «Фрайтестер» (рис. 5), [17].



Рис. 5. Прилад для визначення динамічної міцності алмазних порошків типу Фрайтестер

Пробу порошку масою 2 карати завантажують у вузький сталевий циліндр із сталеву кулькою, що вільно переміщується усередині циліндра. Циліндр встановлюють на вал електромотору в спеціальний пристрій. При його обертанні забезпечується зворотно-поступове

переміщення шарика в капсулі вздовж її осі. Пристрій фіксує по кількості обертів кількість циклів навантаження проби кулькою. При випробуванні зерна трощаться. Після визначеної кількості циклів пробу вивантажують, просіюють на ситах та визначають відсотковий вміст зерен на контрольних ситах.

В результаті випробувань визначали кількість ударів кульки по зернам, які необхідні для руйнування 50 % зерен проби порошку. Проводиться, як правило, не менше двох випробувань. Зафіксована кількість циклів характеризує динамічну міцність порошку (індекс по Фрайтестеру F_i). Результати кореляційного співставлення показників F_i та міцності на розплющення зерен деяких марок вітчизняних синтетичних алмазів наведені в табл. 4 та на рис. 6 [17, 20].

У закордонній практиці динамічну міцність порошку після одиничного ударного навантаження в приладі Фрайтестер протягом заданого часу оцінюють показником, який дорівнює відсотковому вмісту зерен, які зберегли початковий розмір [18, 20].

Таблиця 4

Діапазон зміни показника міцності F_i порошків різних марок, встановлений на приладі Фрайтестер (данні ІНМ НАН України)

Марка алмазу	Показник F_i , відносн. один.	Зернистість порошку		
		400/315	315/250	250/200
АС50	$F_i \min$	22	35	45
	$F_i \max$	65	77	81
	$F_i \text{cp}$	35	47	54
АС65	$F_i \min$	26	45	59
	$F_i \max$	48	76	97
	$F_i \text{cp}$	39	58	73
АС80	$F_i \min$	31	44	63
	$F_i \max$	70	88	104
	$F_i \text{cp}$	50	64	81

При проведенні контролю на установці "Friatester" необхідно враховувати наступне. Оскільки застосування частоти вібрацій капсули призводить до отримання різних результатів, то пристрій сконструйований таким чином, щоб можна було забезпечувати постійність визначеної частоти вібрацій з точністю до 0,1 %.

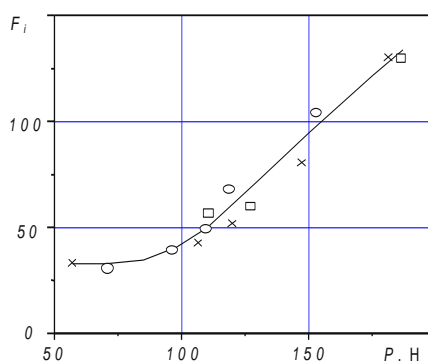


Рис. 6. Залежність між показниками, отриманими на приладах Фрайтестер та ДА-2М для шліфпорошку алмазу зернистістю 315/250:
 ○ – АС50; × – АС65; □ – АС80

Маса кульки та форма капсули також дуже впливають на результати контролю. Все це зумовлює складність апаратного оформлення установки та її

високу вартість. З врахуванням сказаного було розроблено експрес-метод визначення динамічної міцності зерен порошку на базі іншого, відмінного від описаного апарату, в якому руйнування зерен відбувалося б більшою кількістю тіл, що трощать. Можна очікувати, що в цьому випадку стабільність контролю буде вищою. Тому був вибраний вихровий апарат, сконструйований в ІНМ НАН України сумісно з НДІ «Емальхіммаш» для спеціальної обробки алмазних порошків [14, 20].

Вихровий апарат призначений для процесів диспергування багатокомпонентних систем, змішування сухих сипучих матеріалів, вибіркового дроблення, корегування форми та овалізації зерен порошкових матеріалів, включаючи мікропорошки у сухому повітрі або в рідині. Матеріал в апараті обробляється шляхом впливу змінного магнітного поля на суміш оброблюваного матеріалу та феромагнітних часточок. Робоча камера апарату являє собою ємність у виді циліндру, виготовленого з міцного немагнітного матеріалу (ситалу). Камера встановлюється у пристрій, який створює магнітне поле, що обертається, з величиною магнітної індукції 0,15 Тл. До неї одночасно завантажуються нерівновісні феромагнітні частинки та навіска оброблюваного матеріалу в співвідношенні не більше 1:10. Під впливом електромагнітного поля феромагнітні частинки набувають обертального руху з частотою обертання 3000 об/хв. та частотою коливань 1000 Гц відносно вектору магнітної індукції. Суміш феромагнітних частинок та часточок оброблюваного матеріалу знаходяться у зваженому стані з утворенням великої кількості зустрічних потоків. Оброблювані частинки на великих швидкостях співударяються між собою, а також із феромагнітними частинками та стінками робочої камери, в результаті чого відбувається інтенсивне подрібнення продукту.

Для рівномірного подрібнення матеріалу на протязі всієї довжини робочої камери конструкцією апарату передбачено її зворотно-поступове переміщення у напрямку, паралельному її вісі. Робочими тілами є шматки сталевого дроту діаметром 2-2,1 мм та довжиною 18-20 мм, які рухаються хаотично під дією магнітного поля, що обертається. Робоча камера складається з набору п'яти

циліндричних ячіжок діаметром 80 та довжиною 30 мм, у кожній з яких можна проводити одночасно незалежні випробування [20].

Ступінь руйнування зерен порошку контролюється за допомогою аналізу на 120-міліметрових ситах. Цим же визначалася й вага навіски порошку – 50 карат, яка є оптимальною для сит такого діаметру. Зменшення об'єму проби можливо тільки при зменшенні перерізу полотна сита та підвищенні стабільності віброапарату. При виборі навіски робочих тіл виходили з того, що інтенсивність обробки зерен порошку повинна бути досить високою, щоб зменшити час контролю динамічної міцності. З іншого боку, руйнування повинно йти не дуже інтенсивно, для того, щоб можна було проводити вивчення кінетики цього процесу. Попередні випробування показали, що найбільш оптимальною для цих цілей є навіска робочих тіл масою 15г. Випробування проводилися з п'ятьма марками алмазних шліфувальних порошоків (АС2 - АС20) зернистістю 125/100 та з сьома марками (АС15 - АС100) зернистістю 315/250.

Обробка даних за методом найменших квадратів дала наступну апроксимацію залежності між статичною міцністю P_{cm} , динамічною міцністю P_{ϕ} , отриманою на установці "Friatester", та коефіцієнтом k , отриманим на вихровому апараті конструкції ІНМ:

$$P_{cm} = 4069 + 11144/K; \quad (8)$$

$$P_{\phi} = 23,05 + 75,14/K \quad (9)$$

Причому, коефіцієнт кореляції між P_{cm} и k^I , P_{ϕ} и k^I відповідно дорівнює 0,987 й 0,988. Ступінь відхилення експериментальних значень від розрахованих за формулою 2 для P_{cm} не перевищує 9 %, а для P_{ϕ} – 6 %.

Значення статичної міцності P_{cm} , динамічної міцності P_{ϕ} , отриманої на установці «Friatester», та коефіцієнта k , отриманого на вихровому апараті для алмазних порошоків АС50 – АС100 зернистістю 315/250, наведені в таблиці 5.

Таким чином, з проведених досліджень можна зробити висновок, що міцність алмазних шліфпорошків можна контролювати на основі вимірювання коефіцієнту k , який визначається за формулою 9. У якості апарату, який

використовується для механічної обробки порошків, може слугувати вихровий апарат ІНМ, а також типу АВС [20].

Таблиця 5

Значення статичної $P_{ст}$, динамічної $P_{ф}$ міцностей та коефіцієнту k

Марка порошку	$P_{ст}$, Н	$P_{ф}$, число циклів	$k \times 10^3$, 1/с
АС100	11110	70	1,56
АС80	9300	60	2,44
АС65	8360	50	3,17
АС50	6460	40	3,00

Для отримання високоміцних алмазів використана ростова система Ni-Mn-C [18]. При оптимальних значеннях тиску та температури в ній утворюються правильні, гарно огранені кристали, середній вміст яких в продукті синтезу досягає 25-30%, а максимальний – 40%. Відомо, що в алмазній сировині, яка вилучена з продуктів синтезу, звичайно містяться зерна, які відрізняються за геометричними параметрами, а також зростки [19]. Для виділення високоякісних кристалів застосовується технологічна схема, яка включає вибіркоче (механічне та ультразвукове) дроблення алмазної сировини, розділення її за розмірами та формою зерен, а також сепарацію за шорсткістю їх поверхні. Механічне дроблення здійснюється в роторній дробарці безперервної дії, яка забезпечує вибіркочий процес руйнування зростків та дефектних зерен. Для класифікації за розмірами зерен застосовуються вібросити конструкції ІНМ з віброуючою нахиленою декою, яка оснащена спеціальним покриттям. При цьому досягається вміст частинок основної фракції в порошку кожної зернистості не менше 80 %. З урахуванням вказаних властивостей алмазним шліфпорошкам АС50, АС80 присвоєна вища категорія якості. Ці порошки призначені для виготовлення інструментів на металевих зв'язках, які застосовуються при обробці будівельних матеріалів, кераміки, кварцового скла, виробництва геологорозвідницьких коронок.

Порошки вказаних марок можуть бути рекомендовані для виготовлення виправного інструменту різноманітних видів, а також для використання при

виготовленні високоефективних композиційних матеріалів. Динамічна міцність шліфпорошків нових марок наведена в таблиці 6.

Таблиця 6

Динамічна міцність шліфпорошків нових марок

Зернистість порошку	АС50	А С 65	АС80
500/400	15	20	25
400/315	25	30	35
315/250	40	45	70
250/200	45	60	80
200/160	50	70	90
160/125	60	80	100
125/100	70	90	110
100/80	80	100	120

Висновки. Аналіз властивостей зерен, що застосовуються при виготовленні алмазних кругів з НТМ, є основою досліджень напружено-деформованого стану процесу спікання з метою підвищення ефективності процесу алмазного шліфування. Доведено, що в експлуатацію потрапляють шліфувальні круги з характеристиками, які суттєво відрізняються від наведених у маркуванні, мають вихідну дефектність у вигляді зруйнованих у процесі спікання алмазних зерен. Такі круги не можуть реалізовувати необхідні показники алмазно-абразивної обробки, тобто, визначення умов виготовлення алмазних кругів з максимальною цілісністю зерен є актуальним і доцільним.

Основою вивчення та описання процесів руйнування крихких неметалевих матеріалів є кінетична теорія руйнування, для перевірки достовірності якої використані методики визначення питомого зносу та коефіцієнту використання потенційних різальних властивостей алмазних зерен k , отримано формулу його визначення, що дозволяє аналізувати стан алмазного зерна залежно від режимів спікання, марки металевої зв'язки, марки зерна, його концентрації та зернистості. Для механічної обробки порошків використовували вихровий апарат ІНМ (або типу АВС). Підвищена міцність, висока ізометричність, переважно гладкі грані кристалів порошків АС50, АС80 обумовлюють необхідність створення нових зв'язок, які забезпечили б надійне утримання зерен в інструменті, а також проведення досліджень з вибору оптимальних складів зв'язок для кожної з марок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента: Учебн. пособие для техникумов по спец. «Производство абразивного и алмазного инструмента» / Ю.М. Ковальчук, В.А. Букин, Б.А. Глаговский и др.; Под общей ред. Ю.М. Ковальчука. -М.: Машиностроение, 1984.- 288 с.
2. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т., Т. 1. Синтез сверхтвердых материалов / Редкол.: Новиков Н.В. (отв. ред.) и др. - Киев: Наук. думка, 1986. - 280 с.
3. Кизиков Э.Д. и др. Алмазно-металлические композиции / Э.Д. Кизиков, Е.Б. Верник, Н.С. Кошевой. - К.: Техника, 1988.-.135 с.
4. ДСТУ 3292-95. Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. - 2007. - 17 с.
5. Сушко О.В. Аналіз властивостей алмазних зерен в абразивних інструментах / О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, ТДАТУ, 2017. - Вип. 17, Т. 2. - с. 177-181.
6. Ардамацкий А.Л. Алмазная обработка оптических деталей / А.Л. Ардамацкий. - Л: Машиностроение. Ленингр. отд., 1978. - 232 с.
7. Си Г. Математическая теория хрупкого разрушения / Г.Си, Г. Либовиц // Разрушение. - М.: Мир, т. 2, 1975. - с. 13-82.
8. Механика разрушения и прочность материалов. Справ. пособие в 4-х томах (под ред. В.В. Панасюка). - Киев: Наукова думка, 1988, т. 1-3.
9. Griffith A.A. The phenomenon of rupture and flow in solids / A.A. Griffith // Phil. Trans. Roy. Soc., ser. A. - 2000, V.221. - P.163-198.
10. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел (Термофлуктуационный механизм разрушения) / С.Н. Журков // Вестник АН СССР. - М. - 1978, 3№. - с. 46 -52.
11. Тарасенко В.В., Сушко О.В. Аналіз існуючих теорій руйнування крих-

ких матеріалів / В.В.Тарасенко, О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, ТДАТУ, 2016. - Вип. 16, Т. 2. - с.131-139.

12. Дунаев И.М. Общий энергетический анализ хрупкого разрушения для критерия типа Гриффитса / И.М. Дунаев, В.И. Дунаев // Известия вузов: Сев.-Кавк. регион, 2000, №3. - с. 60-63.

13. Сушко О.В. Методика рекуперації алмазного порошку з алмазоносного шару шліфувальних кругів. / О.В. Сушко // Праці ТДАТУ. - Мелітополь, ТДАТУ, 201. - Вип. 18, Т. 1. - с.37-43/

14. Новиков Н.В. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов / Н.В. Новиков, А.Л. Майстренко, В.Н. Кулаковский. - Киев: Наук. думка, 2003. - 220 с.

15. Лоладзе Т.Н, Износ алмазов и алмазных кругов / Т.Н. Лоладзе, Г.В. Бокучава - М.: Машиностроение, 1967. - 112 с.

16. Семко М.Ф. и др. Основы алмазного шлифования / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, А.Ф. Раб, М.Д. Узунян, М.С. Пивоваров - К.: Техника, 1978. - 192 с.

17. Доброскок В.Л. Наукові основи формоутворення робочої поверхні кругів на струмопровідних зв'язках у процесі шліфування: автореф. дис. д-ра техн. наук / В.Л. Доброскок. - Київ, НТУ, 2001. - 33 с.

18. Федорович В. А. Разработка научных основ и способов практической реализации управления приспособляемостью при алмазном шлифовании сверхтвердых материалов: Дисс. доктора технических наук: 05.03.01. - Харьков, 2003. - 394 с.

19. Новиков Н.В. Методика определения прочности и трещиностойкости поликристаллических сверхтвердых материалов / Н.В. Новиков, И.М. Андросов, А.Л. Майстренко // Сверхтвердые материалы. - 1982. - № 2. - С. 33-37.

20. O. Sushko, S. Kiurchev and oth. Grains Dynamic Strength Determination and the Optimal Combination of Components of a Diamondiferous Layer of Grinding Wheels / Sushko O // Modern Development Paths of Agricultural Production. Trend and Innovations. - Tavria State Agrotechnological University, Melitopol, 2019. - p. 259-266.