

**СУКУПНІСТЬ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОВИБОЇН  
НА РОБОЧІЙ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО  
ІНСТРУМЕНТУ, ЯК КРИТЕРІЙ ЙОГО ЗНОСОСТІЙКОСТІ**

**О. П. Виноградова**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, Україна. E-mail: vinelen@ro.ru.

Розглянуто характер утворення мікроборозенок на робочій поверхні породоруйнівного інструменту при різному хімічному складі алмазоутримуючої матриці: WC–96%, 4%–Co в породоруйнівному елементі «Славутич», виготовленому методом гарячого пресування та Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) в елементі, виготовленому методом електроспінання. На робочій поверхні двох елементів в результаті мікроскопічних досліджень виявлена присутність серій мікроборозенок, що складаються з мікровибойн, подібних до вибойн на поверхні гірської породи, утворених в результаті динамічного навантаження на буровий інструмент. Зафіксовано серію мікроборозенок на поверхні алмазу глибиною до 75 мкм, що свідчить про зменшення твердості поверхневого шару алмазу. Сукупність геометричних параметрів мікровибойн на робочій поверхні породоруйнівного інструменту може бути використана для оцінювання його зносостійкості та ресурсу.

**Ключові слова:** руйнування, гірська порода, знос, алмазовмісна матриця, алмаз.

**СОВОКУПНОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
МИКРОБОРОЗДОК НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
АЛМАЗНОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА,  
КАК КРИТЕРИЙ ЕГО ИЗНОСОСТОЙКОСТИ**

**Е. П. Виноградова**

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля

ул. Автозаводская, 2, г. Киев, 04074, Украина. E-mail: vinelen@ro.ru.

Рассмотрен характер образования микробороздок на рабочей поверхности бурового породоразрушающего инструмента при различном химического составе алмазоудерживающей матрицы: WC – 96%, 4% – Co в породоразрушающем элементе «Славутич», изготовленном методом горячего прессования и Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) в элементе, изготовленном методом электроспекания. На рабочей поверхности исследуемых элементов в результате микроскопических исследований обнаружено присутствие серий микробороздок, состоящих из микровыбоин, подобных выбоинам на поверхности горной породы в результате динамической нагрузки на буровой инструмент. Зафиксирована серия микробороздок на поверхности алмазного зерна глубиной до 75 мкм, что свидетельствует об уменьшении твердости поверхностного слоя алмаза. Совокупность геометрических параметров микровыбоин на рабочей поверхности породоразрушающего инструмента может быть использована для оценки его износостойкости и ресурса.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

---

**Ключевые слова:** разрушение, горная порода, износ, алмазосодержащая матрица, алмаз.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Ступінь відповідності зносостійкості матриці алмазного породоруйнівного інструменту абразивним властивостям гірської породи є, насамперед, основним критерієм при виборі хімічного складу алмазовмісної матриці.

Аналіз особливостей накопичення пошкоджень та опору матеріалів діючим навантаженням з позиції синергетики приводить до заключення про можливість управління властивостями композиційних матеріалів шляхом ціленаправленого використання кооперативних ефектів пластичного деформування і руйнування структурних елементів, тобто, ефектів, що відображують властивість самоорганізації дисипативних структур [1].

Діагностика і аналіз характеру аномального зношування алмазів та матриць бурових коронок забезпечують основу для розробки шляхів удосконалення проектування та експлуатації алмазного інструменту у конкретних геолого-технічних умовах: зміна геометрії ріжучої частини коронок, розробка композицій матриць з заданими властивостями, зміна схеми армування коронок алмазами, вибір оптимальних режимів відпрацювання коронок, створення методики та технічних можливостей для контролю зносу алмазних коронок [2].

Матриця породоруйнівного інструменту [3] зношується або контртілом (гірською породою, або третім елементом, що розташовується між ними (частинкою шламу).

При використанні електронного растрового мікроскопу «САМСКАН-4DV» зносостійкість робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту у вигляді вдавлених подряпин досліджував Ісонкін О.М. [4]. Глибина деформування матеріалу, у значній мірі, обумовлюється геометричними розмірами частинок шламу, їх міцнісними характеристиками та матеріалом матриці. Автором зроблено висновок, що до різкого підвищення зносу матриці бурових імпрегнованих коронок та до створення передумов для погіршення рельєфу поверхні коронки призводить зниження висоти виступання алмазів із матриці, а раціональне співвідношенням параметрів режиму буріння і підвищення міцнісних характеристик алмазів дозволяє знизити витрати енергії на руйнування гірської породи та зменшити інтенсивність зношування матриці [5]. Інтенсивність зношування авторами роботи [6] визначається як відношення витрати маси композиту до об'єму вибуреної гірської породи.

Як зазначалось у роботі [7] механічне зношування матриці породоруйнівних елементів бурового інструменту відбувається аналогічно руйнуванню вибою гірської породи індентором – з утворенням мікроборозенок на робочій поверхні матриці у вигляді низок мікробибоїн, що чергуються зі змінним кроком  $T$ , при відколюванні продуктів руйнування у вигляді мікрочастинок матеріалу крихкої матриці, що характеризуються всіма складовими геометричними параметрів одичної частини шламу гірської породи: зоною заглиблення індентора, боковими

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

та кінцевою частиною [8], а характер утворення та геометричні параметри мікробиїн на поверхні матриці породоруйнівного елемента може свідчити про ступінь інтенсивності зношування інструменту, в цілому.

Метою даної роботи є визначення механізму зношування робочої поверхні алмазовмісного породоруйнівного інструменту від хімічного складу його компонентів.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** Випробування на зносостійкість експериментальних бурових елементів проводились при руйнуванні пісковику Торезького родовища IX категорії буримості, на спеціальному стенді, створеному на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДПП-200.



Рисунок 1 – Загальний вигляд спеціального стенда, створеного на базі токарно-гвинторізного верстата моделі ДПП-200 в процесі досліджень:

- 1 – циліндричний блок пісковику Торезького родовища;
- 2 – циліндричний породоруйнівний елемент; 3 – система охолодження породоруйнівного елемента; 4 – динамометричний пристрій

На початку випробувань вибурили kern пісковику Торезького родовища діаметром 76 мм та довжиною 400 мм, буровою коронкою діаметром 93 мм.

Зразок породоруйнівного елемента, що досліджувався, закріплювався в патроні спеціального пристосування та підводився до поверхні керн гірської породи, де й здійснювалось його поздовжнє руйнування із заданою глибиною впровадження 1,0 мм при частоті обертання керну –  $355 \text{ хв}^{-1}$ . Детально методику проведення експериментальних досліджень описано в [9].

В якості гірської породи для випробування зносостійкості зразків породоруйнівних елементів із НТМ вибрали пісковик Торезького родовища IX категорії буримості (твердість по штампу  $P_{ш} = 2,90 \text{ ГПа}$ ), що характеризується стабільними фізико-механічними властивостями, високою твердістю та абразивністю – 35 мг.

Для проведення порівняльних лабораторних випробувань зносостійкості експериментальних породоруйнівних елементів з різним хімічним складом алмазовмісної матриці виготовлялись циліндричні породоруйнівні елементи діаметром 10 мм: 1: методом гарячого пресування зі «Славутича», рис. 2 а, з зернисті-

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

стю 800/630 мкм природних алмазів 1 та їх відносною концентрацією 100 % елемент зі складом матриці 2: WC-96%, 4%-Co та породоруйнівний елемент, рис. 2 б, виготовлений методом електроспінання, оснащений термостійкими монокристалічними синтетичними алмазами 1 АС160Т 415/350 мкм, з відносною концентрацією 100 % зі складом матриці 2 : Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%). Обидва елементи були запаєні в державки 3 довжиною 25 мм.

Таку істотну відмінність зернистості алмазних зерен в інструменті було прийнято спеціально, для зосередження на зношуванні, саме, матричного матеріалу.



а

б

Рисунок 2 – Експериментальний зразок після відпрацювання, вид зверху:  
зі «Славутича», 1– алмазне зерно; 2 – матриця; 3–державка;  
– а; зі складом матриці: Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%), оснащений  
термостійкими моно-кристалічними синтетичними алмазами  
АС160Т 415/350 мкм

Породоруйнівні елементи, робочу поверхню яких представлено на рис. 2 закріплювались паянням до державки для встановлення у динамометричний пристрій.

Мікроскопічному дослідженню підлягає робоча поверхня породоруйнівних елементів, а саме, конфігурація подряпин на поверхні алмазовмісної матриці в результаті руйнування блоку пісковика Торезького родовища вищезазначеними елементами. Рельєф робочої поверхні матриці породоруйнівних елементів вищевказаних бурових коронок ретельно досліджували при застосуванні мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного ССD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеного до ПЕОМ.

Як показали дослідження робочих поверхонь відмінних за хімічним складом матриць: породоруйнівного елемента зі «Славутича» та матриці породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспінання, характер утворення вибоїн на робочій поверхні має спільний, борозноподібний характер.

Робочу поверхню матриці породоруйнівного елемента зі «Славутича» з відколотими на відстані  $h$  одна від одної мікроборозенками, що складаються із мікробибоїн шириною  $a$  з зоною заглиблення індентору радіусом  $r$ , утвореними зі швидкостями  $v_1 - v_7$ , зображено на рис. 3а,б. Звертає увагу хвильова зміна ширини утворених мікробибоїн, що підтверджує не тільки послідовний, а й хвильовий характер відколювання мікрофрагментів матеріалу матриці.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Ідентичну картину утворення мікробибоїн на робочій поверхні елемента, виконаного методом електроспінання, представлено на рис. 4 а,б, а хвильовий процес зміни ширини  $a$  мікробибоїн матриці породоруйнівного елемента, відображує рис. 4,в.

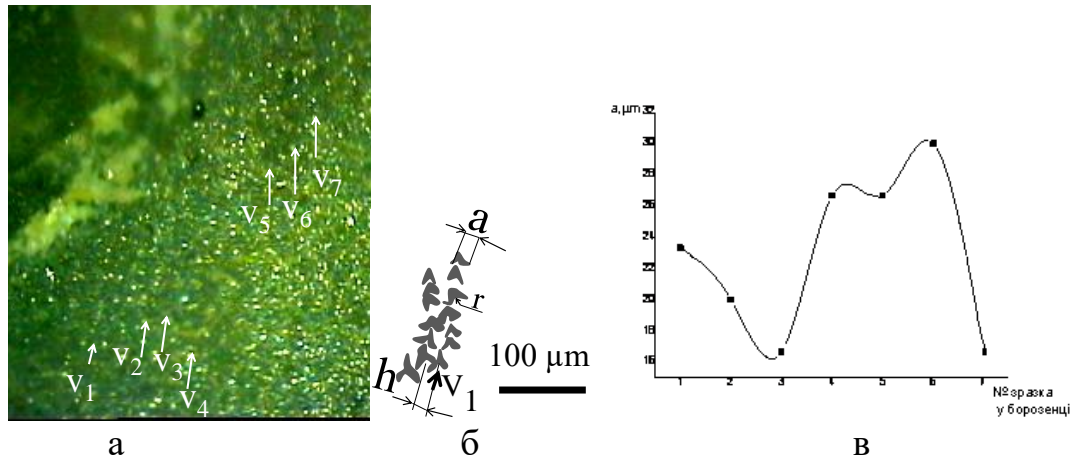


Рисунок 3 – Загальний вигляд: а) робочій поверхні матриці породоруйнівного елемента зі «Славутича»; б) схематичного зображення мікробибоїн у вигляді борозенок на поверхні матриці:  $a$  – ширина лунки,  $h$  – відстань між борозенками,  $v_1 - v_7$  – вектори швидкості відколювання мікрочастинок що утворюють мікроборозенки,  $r$  – радіус зони заглиблення індентора, що відколює мікрочастинку матеріалу матриці; в) зміни ширини відбитків у мікроборозенці, утвореній зі швидкістю  $v_1$ , на поверхні матриці породоруйнівного елемента

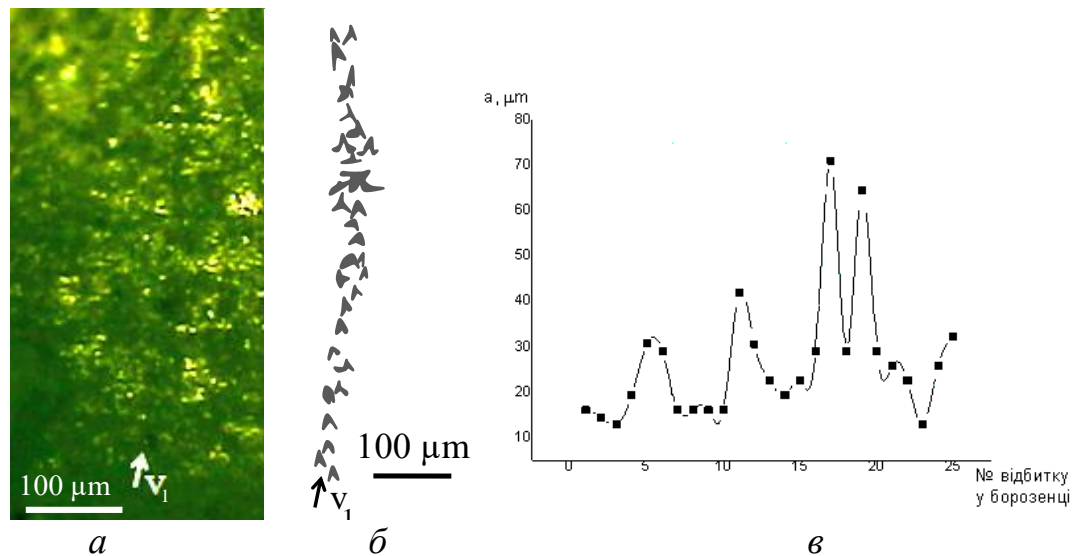


Рисунок 4 – Загальний вигляд: робочій поверхні матриці породоруйнівного елемента, виконаного методом електроспінання – а,  $v_1$  – вектор швидкості відколювання мікрочастинок матриці, що утворюють мікроборозенки; схематичного зображення мікробибоїн матриці у вигляді борозенки на її поверхні – б; зміни ширини відбитків у мікроборозенці, утвореній зі швидкістю  $v_1$ , на поверхні матриці породоруйнівного елемента – в,  $a$  – ширина мікробибоїн

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Отже, найбільше значення ширини мікровідбитків складає 70 мкм на робочій поверхні елемента, виконаного методом електроспінання, тоді як аналогічне значення робочої поверхні зразка зі «Славутича» становить 30 мкм, а хвилеподібний характер зміни ширини мікроборозенок є незалежним від хімічного складу матриці алмазовмісного породоруйнівного елемента.

Побудова частотограм розподілу ширини  $a$  мікровибойн у мікроборозенках на поверхні матриць досліджуваних породоруйнівних елементів, рис. 5,6 свідчить про відмінність моди на гістограмі у 2 рази ( 25 та 12,5 мкм, відповідно).

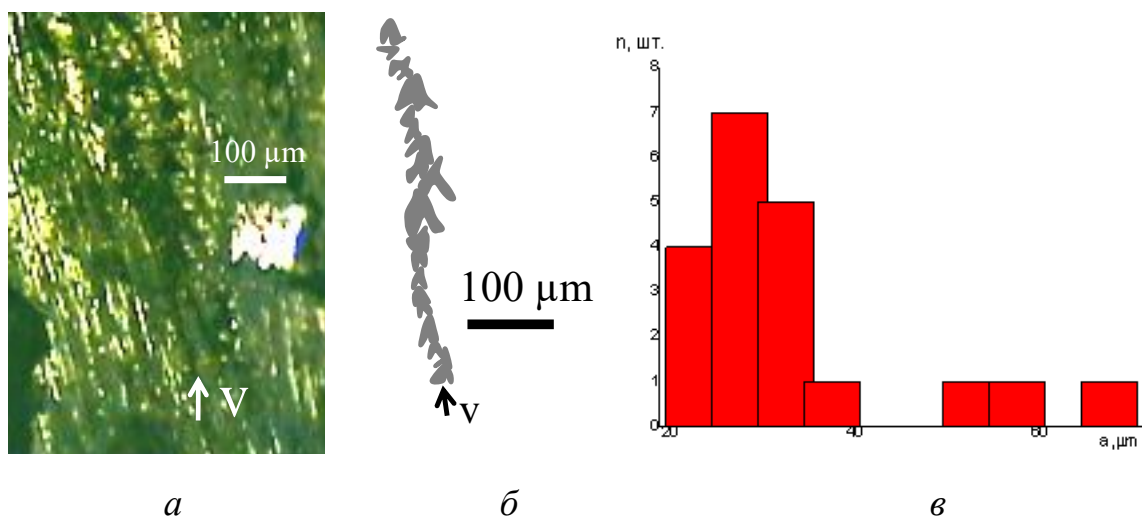


Рисунок 5 – Загальний вигляд: робочої поверхні матриці породоруйнівного елемента, виготовленого методом електроспінання – а; схематичного зображення мікровибойн у вигляді борозенок на її поверхні – б, частотограми розподілу ширини  $a$  мікровибойн у мікроборозенці – в

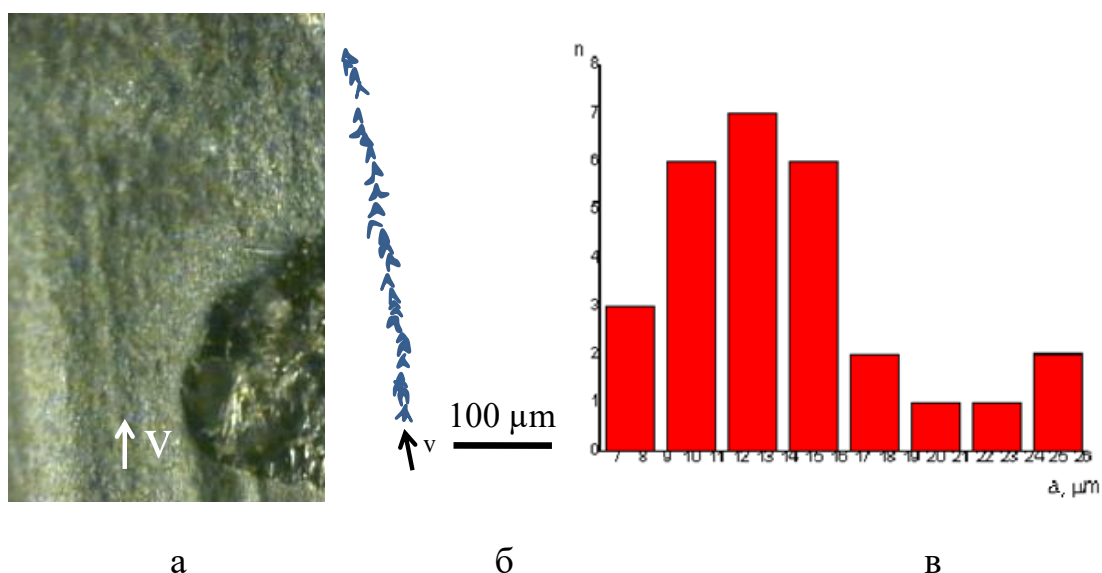


Рисунок 6 – Загальний вигляд: робочої поверхні матриці породоруйнівного елемента зі «Славутича» – а; схематичного зображення мікровибойн матриці у вигляді борозенок на її поверхні – б, частотограми розподілу ширини  $a$  мікровибойн у мікроборозенці – в

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Після мікроскопічного дослідження по 10 робочих поверхонь (матриць) обох досліджуваних елементів при врахуванні ширини найбільших і найменших мікробибоїн у борозенці та варіювання величини радіуса зони заглиблення індентора (3–5 мкм – у мікробибоїнах на робочій поверхні «Славутича» та 4–12 мкм – на робочій поверхні матриці елемента, виготовленого методом електроспікання), зроблено висновок про більшу інтенсивність руйнування матеріалу матриці елемента, виконаного методом електроспікання у 2 рази, порівнюючи з аналогічним показником породоруйнівного елемента, виконаного методом гарячого пресування. Отже, при ретельній побудові достатньої кількості відповідних гістограм з'являється характеристика зносостійкості, саме, матриці.

Як показано на рис. 7, характер механічного зношування природного алмазного зерна в породоруйнівному елементі зі «Славутича» має ідентичний характер, з утворенням мікробибоїн, що дозволяє зробити припущення про зміну фазового стану поверхневого шару алмазу, що був, безпосередньо, в контакт з гірською породою при високих термодинамічних навантаженнях. Аналіз зміни ширини  $a$  мікробитків на поверхні алмазного зерна з модою 30 мкм та середній радіус заглиблення індентора в цих мікробибоїнах – 4,5 мкм, може свідчити про ступінь зносу поверхневого шару алмазного зерна. Проте, детальне дослідження вказаного явища не входило в задачу даної роботи.

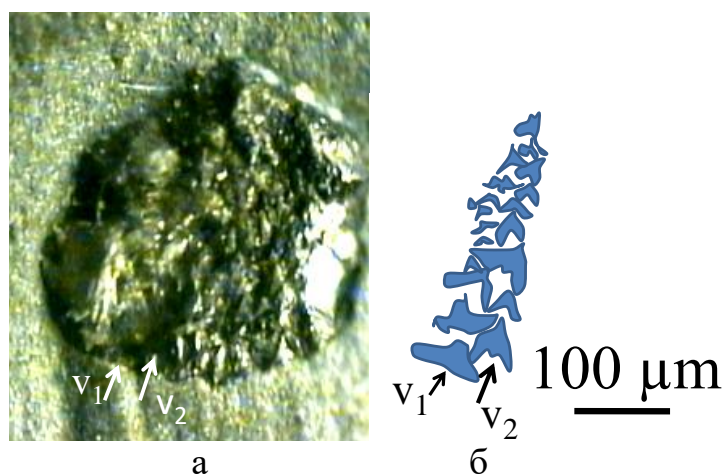


Рисунок 7 – Загальний вигляд: фото природного алмазу, характер зношування поверхневого шару якого відповідає характеру утворення мікроборозенок на поверхні, як гірської породи, так і поверхонь матриць з розглянутим хімічним складом – а; схематичного зображення мікробибоїн у вигляді мікроборозенок на поверхні алмазу – б

За матеріалами роботи [10] найвища температура у вибої при частоті обертання –  $470 \text{ хв}^{-1}$  бурової коронки діаметром 76 мм, осьовому навантаженні на неї 2000 ДаН та при витраті охолоджуючої рідини 10 л/хв становить 1328 К. В режимі відпрацювання елемента із «Славутича» по пісковіку на алмазному зерні є мікробибоїни глибиною до 75 мкм, які дозволяють прогнозувати підвищення температури у вибої порівнюючи з вищевказаним значенням та ймовірну інтенсивну зміну фази вуглецю поверхневого шару алмазу.

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ВИСНОВКИ. 1. Руйнування алмазовмісної матриці породоруйнівного інструменту має хвильовий послідовно – періодичний характер, аналогічний характеру руйнування гірської породи з утворенням частинок продуктів руйнування матриці, конфігурація яких ідентична конфігурації частинок продуктів руйнування гірських порід з відмінними фізико-механічними властивостями породоруйнівними інструментами різних типів.

2. Зміна хімічного складу крихкої алмазовмісної матриці породоруйнівного елементу, не впливає на хвильовий послідовно- періодичний характер утворення на її робочій поверхні мікроборозенок, а мікроскопічне дослідження параметрів серій мікроборозенок на робочій поверхні матриці дозволяє прогнозувати зносостійкість інструменту та його ресурсу.

3. Характер та геометричні параметри мікровибойн, утворених на алмазних зернах композиту можуть свідчити про інтенсивність зносу поверхневого шару алмазу в результаті високих термодинамічних навантажень та відкривають нові можливості для дослідження стану зони контакту алмазу з гірською породою.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Статистические подходы к исследованию процессов разрушения композиционных материалов / С.И. Скипочка, Т.А. Паламарчук, Н.Т. Бобро, Л.В. Прохорец // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Вип. 15(1). – С.10–17.

2. Горшков Л.К., Яковлев А.А. Аномальный износ алмазных буровых коронок // Записки Горного института – Санкт-Петербург, 2012.– Т.197. – С. 25–28.

3. J. Konstanty Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone // Industrial diamond review 1/2000. – P. 55–65.

4. Исонкин А.М. Характер и степень воздействия частиц шлама разрушенной горной породы на матрицу алмазной буровой коронки // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып. 13. – С. 182–187.

5. Исонкин А.М. Формирование рельефа рабочей поверхности алмазной буровой коронки // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 63–68.

6. Влияние механоактивирования шихты WC+Co+Cu наноалмазами на структуру и свойства материала матрицы буровых коронок / А.М. Исонкин, Г.Д. Ильницкая, М.А. Цысар // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2015. – Вып. 18. – С. 103–109.

7. Виноградова О.П. Характер взаємного руйнування гірської породи та алмазного породоруйнівного інструменту // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук:



КрНУ, 2015. – Вип. 16(2). – С. 49–57.

8. Зона внедрения индентора в блок горной породы при ее разрушении алмазным инструментом / Е.П. Виноградова, Н.В. Зуевская, В.Г. Кравец // Материалы международной конференции «XI Szkola geomechaniki». – Gliwice – Ustron (Poland). – 2013. – РР. 1–13.

9. Новый ультратвердый поликристаллический композиционный материал / А.А. Шульженко, Е.Е., Ашкинази, А.Н. Соколов и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 143–154.

10. Кожевников А.А., Вахалин Ю.Н. Определение температурных полей в породе при алмазном бурении // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – Вып. 15. – С. 107–111.

### THE TOTALITY OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF MIKROHOLLOWS ON THE WORKING SURFACE OF THE DIAMOND ROCK CUTTING TOOL AS A CRITERION OF ITS WEAR RESISTANCE

**O. Vinogradova**

V.M. Bakul Institute for Superhard Materials

vul. Avtozavodskaya, 2, Kyiv, 04074, Ukraine. E-mail: vinelen@ro.ru.

**Purpose.** The mechanism of wear of working surface of a brittle matrices with different chemical composition in diamonds drilling tools as a result of the destruction of medium-strength rock. **Methodology.** Research of the working surface of the diamond-containing matrix of element from the diamond-composite material "Slavutich", hot-pressed and consisting from WC–96%, 4% –Co and electric-sintered element, consisting from Ni (70%), Cu (20%), Sn (10%) was carried out using the microscope Lomo Metam R-1, equipped with a CCD camera Digital KOCOM, connected to the PC after working on the Torez sandstone deposits. **Results.** Established the consistent periodic wave sequence of formation of microhollows, forming microfurrows on the working surface of a brittle matrices with different chemical composition like the microfurrows on the surface of the rock as a result of the dynamic load on the drilling tool. The totality of geometric parameters of microhollows can serve criterion of wear resistance of brittle diamond-containing matrices. The wear resistance of a matrix of "Slavutich", as a result of studies above the wear resistance of the matrix of electric-sintered element, in twice. Besides, installed the identity of configuration of microhollows depth up to 75  $\mu\text{m}$  on the working surface of diamond in the element from "Slavutich", which allows us to make an assumption about the change in the phase state of carbon to the indicated depth at given thermodynamic loading. **Originality.** Brittle matrix materials and diamonds under thermodynamic loads wears out as a result of the puncturing of microvolumes according to the wave sequential -periodic law, which serves to predict the wear resistance of materials and their resource. **Prac-**

**tical value.** The ability to predict the wear resistance of a drilling and stone-working tool when it is created to increase its resource. *References – 10, figures – 7.*

**Key words:** destruction, rock, wear, diamond-bearing matrix, diamond.

#### REFERENCES

1. Skipochka, S.I., Palamarchuk, T.A., Bobro, N.T. and Prohorets, L.V. (2015) "Statistical approaches to research of destruction processes in composition materials", *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry.* – Kremenchuk, vol. 15 (1), pp. 10–17.

2. Gorshkov, L.K. Yakovlev, A.A. (2012) "The abnormal wear of diamond drill bits", *Notes of Snstitute of mining*, Saint Petersburg, Russia, vol. 197. pp. 25–28.

3. Konstanty, J. (2000) "Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone" *Industrial diamond review*, vol. 1, pp. 55 – 65.

4. Isonkin, A.M. (2010) "The nature and degree of exposure of sludge particles of shattered rocks on the matrix of the diamond drill bit", *Rock cutting and metal working tools – machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work , ISM of V.N. Bakul , National Academy of Sciences of Ukraine*, Kiev, Ukraine, vol. 13, pp. 182–187.

5. Isonkin, A.M. (2012) "Forming the relief of the working surface of a diamond drill bit", *Rock cutting and metal working tools – machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work , ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine*, Kiev, Ukraine, vol. 15, pp. 63–68.

6. Isonkin, A.M. (2015) "The Influence of mechanoactivation of charge WC+Co+Cu by nanodiamonds on the structure and properties of the matrix material of the drill bits", *Rock cutting and metal working tools – machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work, ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine*, Kiev, Ukraine ,vol. 18, pp. 103–109.

7. Vinogradova, E.P. (2015) "The character of the mutual breaking of rocks and a diamond rock destruction tool", *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry.* Kremenchuk, vol. 15 (2), pp. 49–57.

8. Vinogradova, E.P., Zuevskaya, N.V., Kravets, V.G. (2013) "The area of indenter introduction in a rock block at its destruction by diamond tool", *11 School of Geomechanics: Coll. scientific.work*, Gliwice, Ustron, Poland, 13p.

9. Shulzhenko, A.A., Ashkinazi, E.E., Sokolov, A.N. (2009) "New ultrahard polycrystalline composite material", *Rock cutting and metal working tools – machinery and technology of its manufacture and use*, Sat. scientific work, ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine, vol. 12, pp. 143–154.

10. Kozhevnikov, A.A., Vakhalin, Yu.N. (2012) "Determination of temperature fields in the rock during diamond drilling" *Rock cutting and metal working tools – machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work, ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine*, Kiev, Ukraine, vol. 15, pp. 107–111.

Стаття надійшла 15.05.2017.