

УДК 622.24.051, 622 156

О.П. Виноградова
ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ЕТАЛОННОГО ФРАГМЕНТУ ПРОДУКТІВ
РУЙНУВАННЯ ТВЕРДИХ І НАДТВЕРДИХ КРИХКИХ МАТЕРІАЛІВ АЛМАЗНИМ
ІНСТРУМЕНТОМ

В роботі представлені результати дослідження геометричних параметрів фрагментів продуктів руйнування твердих і надтвердих крихких матеріалів алмазним інструментом. Зроблено висновок про ідентичність конфігурації фрагментів шламу, отриманих при руйнуванні, як твердих крихких гірських порід, так і надтвердих крихких штучних матеріалів, таких як, електрокорунд і твердий сплав алмазними зернами, що свідчить про єдиний механізм руйнування ними твердих і надтвердих крихких матеріалів.

Ключові слова: алмаз, буріння, індентор, механізм руйнування, шлам.

Рис. 9. Літ. 14.

А.П. Виноградова
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭТАЛОННОГО ФРАГМЕНТА ПРОДУКТОВ
РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ И СВЕРХТВЕРДЫХ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ
АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

В работе представлены результаты исследования геометрических параметров фрагментов продуктов разрушения твердых и сверхтвердых хрупких материалов алмазным инструментом. Сделан вывод об идентичности конфигурации фрагментов шлама, полученных при разрушении, как твердых хрупких горных пород, так и сверхтвердых хрупких искусственных материалов, таких как, электрокорунд и твердый сплав алмазными зернами свидетельствует о едином механизме разрушения ими твердых и сверхтвердых хрупких материалов.

Ключевые слова: алмаз, бурение, индентор, механизм разрушения, шлам.

A. Vinogradova
GEOMETRIC PARAMETERS OF THE REFERENCE FRAGMENTS OF SOLID
DEBRIS AND SUPERHARD DIAMOND TOOL BRITTLE MATERIALS

This paper presents the results of a separate study of geometrical parameters of fragments of product of destruction of hard and superhard brittle materials by diamond tools. The conclusion about the identity of configuration of fragments of sludge, generated during destruction of brittle solid rocks and artificial super hard brittle materials, such as electrocorundum and hard alloys by diamond grains, indicating on a single mechanism of destruction of hard and superhard brittle material by diamond grains.

Keywords: diamond, drilling, indenter, mechanism of destruction, the sludge.

Розробка нового і оптимізація існуючого алмазного бурового інструменту вимагає дослідження механізму руйнування гірської породи одиничним індентором в інструменті.

Руйнування гірської породи відбувається в крихкому режимі під дією інструменту, що рухається, із більш твердого, порівнюючи з гірською породою, матеріалу з утворенням неперервної стружки, як при руйнуванні металів, а мілкою кришіння, [1].

Частинки породи, що утворюються в процесі різання гірської породи, перебувають між зв'язкою і вибоєм у водному середовищі і представляють собою гідроабразивну масу, що пересувається одночасно з робочою поверхнею інструменту і зношує її завдяки стираючій дії [2].

Загальна схема взаємодії потоку дрібнодисперсних продуктів руйнування з алмазозносним шаром представлена на рис.1,а і висвітлена у роботах [3,4,5,6]. Продукти руйнування за вищевказаною схемою представлені у вигляді кулеподібних елементів, типорозмір яких дозволяє їм переміщуватися під торцем інструменту, а глибина впровадження алмазного зерна у блок гірської породи відповідає глибині її руйнування [7], рис1, б.

При дослідженні глибини динамічного впровадження одиничного алмазного зерна марки АСВ в зразок з твердого сплаву Т15К6 автори, [8] встановили, що при заданих подачах 1 і 6 мкм фактична глибина руйнування зразка складала 4 і 11 мкм, відповідно, що підтверджує крихкий характер відколювання фрагментів шламу твердого сплаву.

Знос робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту у вигляді вдавнених подряпин спостерігав Ісонкін О.М. при використанні електронного растрового мікроскопу аналізатора «САМСКАН -4DV». Проте фізичний зміст процесів, що відбуваються у фрікційному контакті «гірська порода- буровий інструмент», вивчено недостатньо. [9].

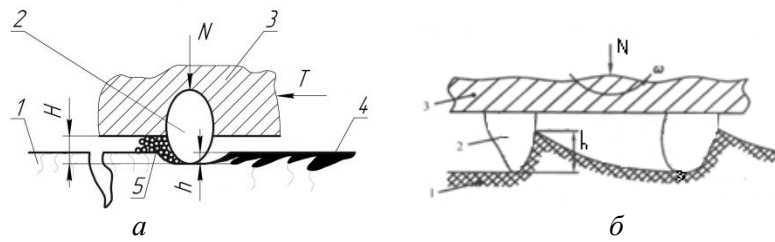


Рис. 1 Схема руйнування крихкої гірської породи алмазним індентором: 1 – блок крихкої твердої породи; 2 – алмаз; 3 – твердосплавна матриця бурової коронки; 4 – зона зминання; 5 – шароподібні дрібнодисперсні фрагменти зруйнованої гірської породи; N – осьова складова сили різання; T – тангенціальна складова сили різання; H – відстань між матрицею інструменту і новоствореним вибоєм гірської породи; h – глибина руйнування гірської породи, ω – окружна швидкість коронки

Детальне дослідження геометричних параметрів продуктів руйнування гірської породи різними видами інструменту сприяло вивченню процесу руйнування гірської породи в інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України [10]. Було визначено зону безпосереднього контакту індентора, рис.3,а, блоком гірської породи ,б.

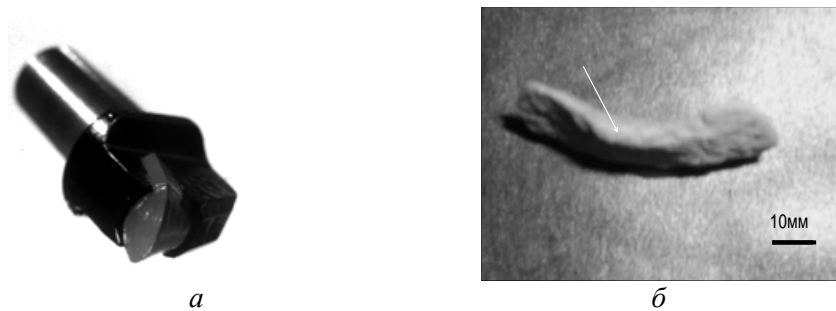


Рис. 2. Загальний вид: твердосплавного різця РП-221 – а; фрагмент продуктів руйнування пісковіку Теревовлянського родовища твердосплавним різцем РП-221, (вид спереду) – б

Процес, що відбувається у вибої, полягає в певній послідовності елементарних дій індентору на блок гірської породи, в значній мірі, відображає одиничний фрагмент продуктів руйнування. Деякі характерні співвідношення геометричних параметрів фрагментів руйнування гірської породи буровими інструментами розглянуті у напрямку дії тангенціальної і бічної складових сили різання, [11]. Проте, поверхня дотику індентору з блоком гірської породи у момент відколу елементарного фрагменту шламу, поверхня фрагменту шламу безпосередньо відокремлена від масиву, що утворює новий вибій, а також, вибій, не розглядалися. Крім того, продукти руйнування крихких твердих і надтвердих матеріалів під дією динамічних навантажень залишались не досліджуваними.

Метою роботи є дослідження основних геометричних параметрів елементів конфігурації у фрагментах продуктів руйнування крихких твердих і надтвердих матеріалів і визначення еталонних параметрів, що можуть поліпшити вивчення механізму руйнування породи одиничним або кількома інденторами при відколюванні фрагментів шламу.

Задачами роботи є порівняльний аналіз геометричних параметрів продуктів руйнування крихких твердих і надтвердих матеріалів на основі вивчення конфігурації одиничних фрагментів шламу:

- пісковіку Теревовлянського родовища з границею міцності на стиск $\sigma_{ст} = 80\text{МПа}$, одиничним різцем, оснащеного твердосплавною «сочевицеподібною» вставкою на стенді, створеному на базі токарно-карусельного верстату 1М553;

- пісковіку Торезького родовища з границею міцності на стиск $\sigma_{ст} = 150\text{МПа}$ алмазно-твердосплавною пластиною АТП – 1-13,5 на стенді, виконаному на базі поперечно-стругального верстату моделі 7В36 зі швидкістю – 0,55 м/с, глибини руйнування породи – 0,5мм і поперечній подачі – 2,8 мм/хід;

– граніту Ємельянівського родовища й пісковіку Торезького родовища алмазним відрізним сегментним кругом діаметром 500 мм, 1A1RSS/C₁500 з алмазами AC100 400/315 (обертובה швидкість – 26 м/с, поздовжня подача – 0,5 м/хв, глибина різання – 0,5мм);

– пісковіку Торезького родовища, крупнозернистого пісковіку з границею міцності на стиск $\sigma_{ст} = 205\text{МПа}$, електрокорунду білого, пластини із твердого сплаву ВК6 вставкою з композиційного алмазовмісного матеріалу Славутич, що було проведене на спеціальному обладнанні, рис. 3в, при обертанні блоку пісковіку (частота обертання блоку пісковіку – 350 хв^{-1}), закріпленого на шпинделі установки, утворюючи завдяки притисканню вставки із КАМ, вибій у вигляді кільця шириною 10мм, який створює бурова коронка діаметром 93 мм;

– твердосплавної матриці циліндричної вставки із славутича з плоским торцем; а також, дослідження вибоїв, утворених на блоці пісковіку Торезького родовища алмазними зернами вставки із славутича і на алмазовмісній матриці із твердого сплаву вставки із славутича абразивними зернами гірської породи.

Експериментальні дослідження виконувались на стендах, рис.2, виконаних на базі : поперечно-стругального верстату моделі 7В36 при руйнуванні блоку пісковіку Торезького родовища алмазно-твердосплавною пластиною (АТП) – а; експериментальний стенд, обладнаний алмазним відрізним сегментним кругом 1A1RSS/C₁500 AC100 400/315 при руйнуванні граніту Ємельянівського родовища – б; установка для експрес-оцінки експлуатаційних характеристик матеріалів при руйнуванні циліндричною вставкою із композиційного алмазовмісного матеріалу славутич з плоским торцем з концентрацією алмазів 100% і їх зернистістю 800/630 мкм блоків пісковіку Торезького родовища, електрокорунду білого й пластини із твердого сплаву ВК-6 – в.

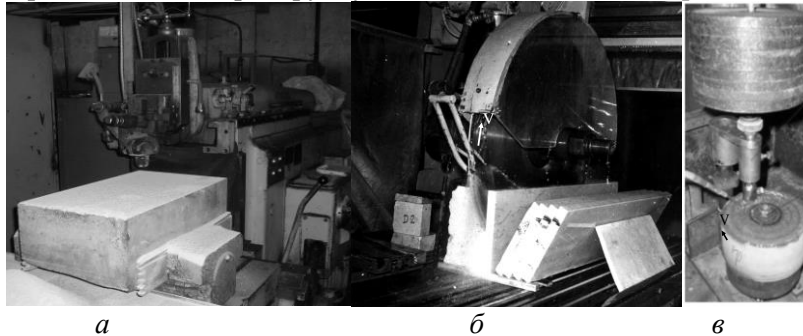


Рис. 3. Схема експериментального обладнання: експериментальний стенд, виконаний на базі поперечно-стругального верстату моделі 7В36 – а; експериментальний стенд, обладнаний алмазним відрізним сегментним кругом 1A1RSS/C₁500 AC160 400/315 – б; установка для експрес-оцінки експлуатаційних характеристик матеріалів – в.

Геометричні параметри продуктів руйнування, отриманих в результаті динамічних навантажень, отримані при руйнуванні крихких твердих і надтвердих матеріалів АТП, вставкою із Славутича і алмазним сегментним відрізним кругом досліджували за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1 з ССD відеокамерою Digital КОСОМ при збільшенні об'єктивів $\times 175$, 360 і 900 , причому товщина фрагменту шламу (по осі z) вимірювалась за методом, започаткованим Александровим В.А. [12].

Експериментальні дослідження конфігурації верхньої частини дрібнодисперсних продуктів руйнування алмазно-твердосплавною пластиною блоку пісковіку Торезького родовища, а саме, зони заглиблення індентора при використанні вищезазначеного мікроскопу, дозволили висловити припущення, що продукти руйнування робочої кромки АТП і гострих граней полікристалу алмазу ідентичні за конфігурацією і відрізняються за розміром, рис. 3., що повністю збігається з даними експериментів, виконаних І.А. Свешніковим і В.Г. Красником при використанні методу люмінесцентної дефектоскопії, описаному в [13], що свідчили про активну участь мікроставу на ріжучій кромці АТП у формуванні утворюваної поверхні гірської породи, і підтвердили гіпотезу про те, що руйнування міцних порід АТП відбувається в результаті сумарного дії на масив полікристалічної кромки – макроруйнування і мікроставу алмазів, що утворюються на ріжучій кромці – мікроруйнування гірської породи [14].

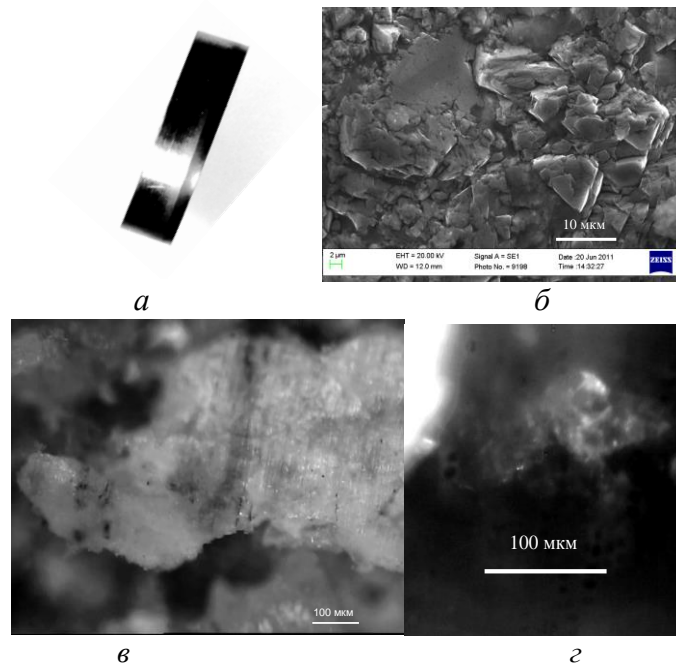


Рис. 4. Загальний вид: алмазно-твердосплавної пластини – *a*; її робочої поверхні – *б*; фрагменту шламу пісковиків Торезького родовища, що відколюється ріжучою кромкою АТП (вид зверху) – *в*; фрагмент шламу пісковиків Торезького родовища, що відколюється гострою кромкою полікристалу алмазу – *г*, (вид зверху)

Дослідження верхньої частини великої кількості фрагментів шламу, отриманих в результаті руйнування гірських порід дозволяє зробити висновок про взаємну дію двох сусідніх інденторів, як на рис. 5.: міжзернова відстань на робочій поверхні алмазного сегментного круга, *a*, відповідає відстані між лунками, у зоні заглиблення інденторів у блок гірської породи, *б*.

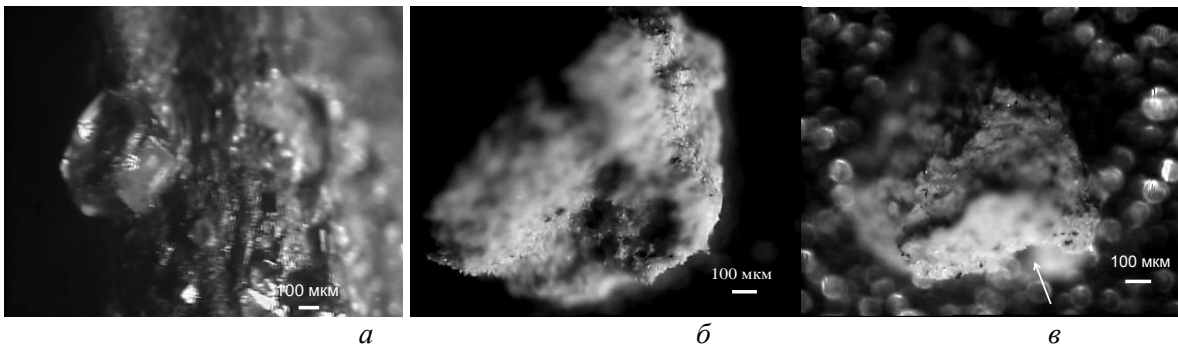


Рис. 5. Загальний вид: робочої поверхні алмазного відрізного сегментного круга 1A1RSS/C₁500 AC160 400/315 – *a*; фрагменту шламу, отриманого при руйнуванні граніту Смельянівського родовища алмазним відрізним сегментним кругом 1A1RSS/C₁500 AC160 400/315 – *б*; зворотна поверхня фрагменту шламу з добре визначеною пошаровою структурою – *в*

Дослідження зворотної поверхні фрагментів продуктів руйнування зазначеними алмазними інструментами свідчить про ідентичність її формоутворення, незважаючи на параметри міцності і пружності оброблюваного матеріалу, проте, характерною особливістю зворотної поверхні фрагменту шламу є її пошарова структура. Так, при руйнуванні блоку міцного кварцового пісковиків вставкою із славутича, робоча поверхня якої представлена на рис. 6.*a*, зворотна частина фрагменту шламу складена з двох шарів. Ця особливість належить не лише для продуктів руйнування складчастих порід, як пісковики, а і граніту, рис. 5.*в*, що, можливо, зв'язано з послідовним утворенням споріднених поверхонь в процесі відриву частинки шламу.

При руйнуванні електрокорунду білого вставкою із славутича у фрагментах шламу складчастість не спостерігається, *в*, фрагмент шламу є монолітним, що, можливо, пов'язано з високим показником пружності (модуль пружності електрокорунду білого – 760 ГПа). Ці

спостереження дозволили зробити припущення, що твердий сплав (модуль пружності – 633 ГПа) може руйнуватися при динамічних навантаженнях за тим же механізмом, що і гірські породи і електрокорунд.

Дослідження геометричних параметрів фрагментів шламу, отриманих при руйнуванні пластини із твердого сплаву ВК-6, рис. 7. вставкою із славутича підтвердили це припущення: верхня частина фрагментів, рис. 7.а, і зворотна частина, рис. 8.б, повністю ідентичні з обома поверхнями фрагментів продуктів руйнування гірських порід і електрокорунду. Всі елементи еталонної конфігурації зворотної поверхні фрагменту шламу гірської породи, рис.8.а: 1 – зона заглиблення індентору, 2 – бокові частини; 3 – ядро; 4 – кінцева частина, спостерігаються на зворотній поверхні частинки твердого сплаву, рис. 8.б.

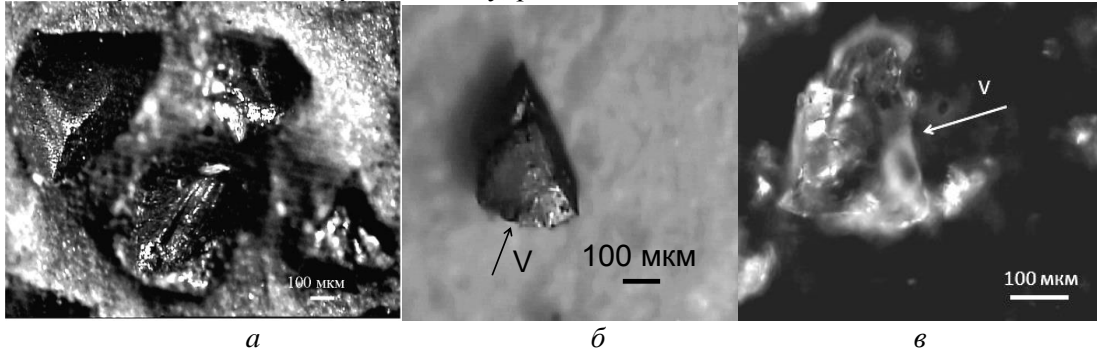


Рис. 6. Загальний вид: робочій поверхні циліндричної вставки із славутича з концентрацією алмазів 100% і їх зернистістю 800/630 – а; зворотної поверхні фрагменту шламу з добре визначеною пошаровою структурою, отриманого в результаті руйнування блоку кварцового крупнозернистого пісковика вставкою із славутича – б; зворотної поверхні фрагменту шламу, отриманого при руйнуванні електрокорунду білого вставкою із славутича, V – вектор швидкості фрагменту шламу – в.

Розглядаючи процес трибоспряження «буровий інструмент – шлам – гірська порода», як процес взаєморуйнування інструменту і матеріалу, в даному випадку, крихкої твердї гірської породи, основними руйнівними елементами (різцями) породи можна представити кварцові зерна, діаметром 0,1-5 мм, показник твердості яких за шкалою Мооса – 7, зв'язані у міцних пісковиках карбонатним (кальцит CaCO_3 , доломіт $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, магнезит MgCO_3 , сидерит FeCO_3 , баритокальцит $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$, малахіт $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ і кремнеземним – SiO_2) цементом, польовим шпатом і слюдою (твердість за шкалою Мооса – 6 і 2-3, відповідно) – у гранітах. В алмазному інструменті інденторами є алмазні зерна, з показником твердості за шкалою Мооса – 10, що їх зв'яже у композиційному матеріалі славутич ВК6 з міцністю за шкалою Мооса – 9.

Зіставлення вибоїв пісковика Торезького родовища, отриманого при руйнуванні його вставкою із славутича і зв'язки із твердого сплаву ВК-6 цієї ж вставки свідчить про спорідненість борід, що утворюються завдяки відколюванню з періодом T фрагментів шламу – пісковика, рис.9.а і матриці із твердого сплаву, рис. 9.б.

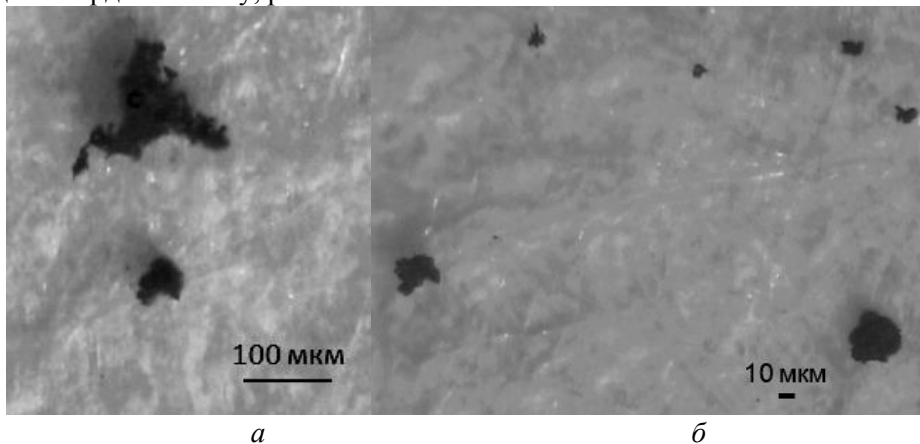


Рис. 7. Фрагменти продуктів руйнування пластини із твердого сплаву ВК6 вставкою із славутича з зернистістю алмазів 800/630 і їх концентрацією 100%: крупні частинки твердого сплаву – а; дрібні частинки твердого сплаву – б

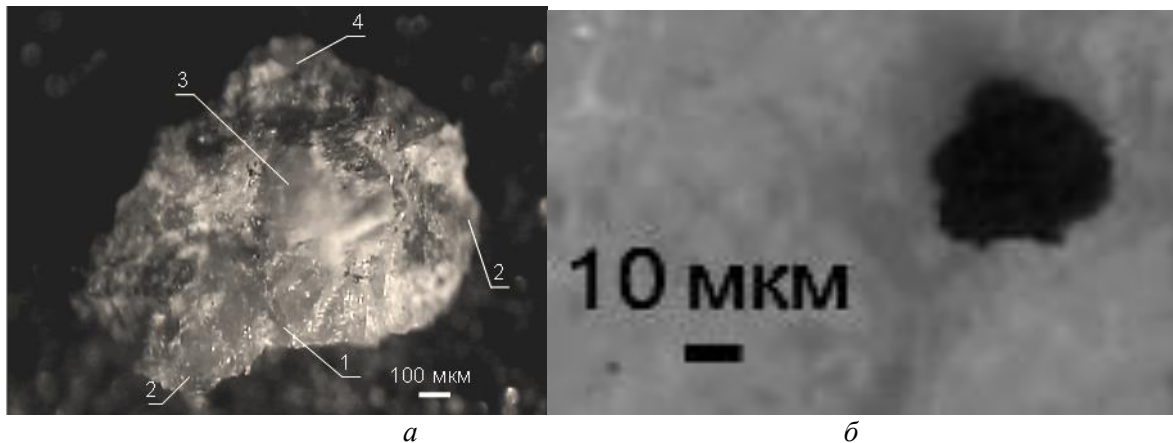


Рис. 8. Зворотна поверхня фрагменту руйнування: пісковик Торезького родовища алмазно-твердосплавною пластиною: 1 – зона заглиблення індентору; 2 – бокові частини; 3 – ядро; 4 – кінцева частина – а; пластини із твердого сплаву ВК6 циліндричною вставкою із славутича з плоским торцем з концентрацією алмазів 800/630 і їх концентрацією 100% – б

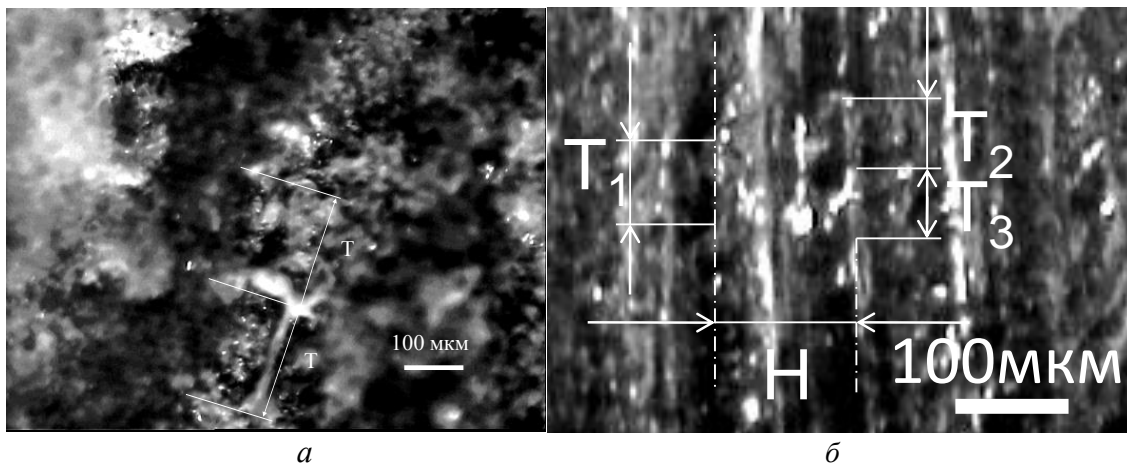


Рис. 9. Вибій: блоку пісковик Торезького родовища з відбитками фрагментів шламу, в результаті його руйнування циліндричною я вставкою із славутича з плоским торцем, T – період відколювання фрагментів шламу – а; твердосплавної зв'язки з відбитками фрагментів твердосплавного шламу, що утворився в результаті абразивної дії кварцових зерен на інструмент: $T_1 T_2 T_3$ – період відколювання елементарних фрагментів твердого сплаву ВК6, H – крок між бороздами, що складаються з елементарних лунок – б

Висновки:

– механізм руйнування твердих і надтвердих матеріалів крихких матеріалів під впливом динамічних навантажень є ідентичним і його характерною ознакою є послідовне відокремлення одиничних фрагментів руйнування, що можуть значно перевищувати задану подачею глибину руйнування;

– інденторами, що руйнують твердосплавну матрицю алмазного інструменту є, у своїй переважній більшості, кварцові зерна, що відокремлюють частинки твердого сплаву за конфігурацією як верхньої, так і зворотної частини, споріднені з фрагментами шламу гірської породи;

– продукти руйнування робочої кромки АТП і гострих граней полікристала алмазу ідентичні за конфігурацією і відрізняються за розміром;

– конфігурація зворотної поверхні фрагменту шламу залежить від модуля пружності матеріалу, що руйнується.

1. Черепанов Г.П. Механика разрушения горных пород в процессе бурения //М :Недра, 1987. – 280 с.
2. В.А. Александров, М.Д. Левин, В.А. Мечник Определение длины сегмента алмазного дискового инструмента/Сверхтвердые материалы – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1984. – №1. – С. 42-45.
3. Bridwell H.C.,Appl F.C. A study of free cutting with diamond saws.-Ind.Diamond Rev.,1974,Febr.,P. 51-53.

4. *А.А. Бугаев* Расчет параметров работоспособности геологоразведочных коронок, оснащенных алмазами и алмазно-твердосплавными пластинами. / Синтетические сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1987. – С. 52-60.
5. *М.И. Исаев, П.В. Пономарев* Основы прогрессивной технологии алмазного геологоразведочного бурения геологоразведочных скважин // М: Недра, 1975. – 280 с.
6. *Б.Н. Васюк* Особенности процесса разрушения трещиноватых горных пород при бурении скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент–техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – Вып. 8. – С. 23 – 27.
7. *Горшков Л.К., Яковлев А.А. Павлов Н.А.* Математико-механическая модель разрушения пород при бурении // 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. 3-7.
8. Работоспособность алмазных кругов / М.Ф.Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый, М.С. Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95 с.
9. *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.
10. *Майстренко А.Л., Свешников И.А., Заболотный С.Д., Виноградова Е.П.* К вопросу о влиянии взаиморасположения резцов на энергоемкость процесса разрушения горной породы Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн.тр.-Вып.13-Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, – 2010. – С. 192-198.
11. *Виноградова Е.П.* К вопросу о механизме разрушения горной породы функциональными элементами из композиционных алмазосодержащих материалов // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения: Сб. научн.тр.-Вып.13-Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – С.34-38.
12. *Александров В.А.* Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом. // К: Наук. думка, 1979. – 240 с.
13. *Свешников И.А., Винник Э.М.* Исследование процесса разрушения пород методом люминесцентной дефектоскопии // Разрушение горных пород инструментом из сверхтвердых материалов :Сб. науч. тр. – К. : ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. –1980. – С. 12-18.
14. *Свешников И.А., Красник В.Г.* Особенности механизма разрушения горных пород поликристаллическими сверхтвердыми материалами // Сверхтвердые материалы – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины 1995 г. – С. 40-47.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2013.