

ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ З КОМПОЗИЦІЙНИХ АЛМАЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ

О.П. Виноградова

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України,
04074, м. Київ, вул. Автозаводська, 2, e-mail: Vinogradovaelena@ro.ru

На підставі гранулометричного та мікроскопічного аналізів продуктів руйнування гірської породи різцями із твердого сплаву, алмазно-твердосплавною пластиною, алмазним відрізним сегментним кругом і вставкою із композиційного алмазовмісного матеріалу Славутич встановлено, що вони мають єдину форму, близьку до форми зрізаного еліпсоїда обертання, а співвідношення між шириною фрагментів руйнування та їх довжиною (у розрізі площини симетрії) інваріантне для всіх зазначених типів інструментів і близьке до $1,3 \pm 0,2$. Встановлені форма й співвідношення розмірів фрагментів дають підставу стверджувати, що руйнування гірської породи зернами алмаза, які утримуються у вставці із Славутича, відбувається стрибкоподібно за тим самим механізмом, що й при руйнуванні всіма вказаними типами різців, тобто за змішаним механізмом утворення й поширення тріщини в умовах нормального відриву (за типом I) та зсуву (за типом II).

Ключові слова: різець, алмаз, шлам, фрагмент, гранулометрія.

По результатам гранулометрического и микроскопического анализов продуктов разрушения горной породы резцами из твердого сплава и алмазно-твердосплавной пластиной, алмазным отрезным сегментным кругом и вставкой из композиционного алмазосодержащего материала Славутич установлена идентичность их форм, близкая к форме усеченного эллипсоида вращения, а отношение ширины фрагментов разрушения к их длине (в сечении плоскости симметрии) инвариантно для всех указанных типов резцов и близко к $1,3 \pm 0,2$. Указанные форма и соотношение размеров фрагментов позволяют утверждать, что разрушение горной породы зернами алмаза, содержащихся во вставке из Славутича, происходит скачкообразно согласно механизму, который имеет место при разрушении всеми вышеперечисленными типами резцов, то есть по смешанному механизму образования и распространения трещины в условиях нормального отрыва (по типу I) и сдвига (по типу II).

Ключевые слова: резец, алмаз, шлам, фрагмент, гранулометрия.

Based on particle size and microscopic analysis of fracture of rock products by carbide cutters and polycrystal diamond-cutter, diamond circular saw blade and inserts of composite diamond-containing material Slavutych was discovered that they have a single form, close to spheroid cut on the plane of symmetry, and the ratio of width to length of the fracture fragments (in the cross-section plane of symmetry) close to a single form for all these types of cutters and close to 1.3 ± 0.2 . The established form and proportion of fragments make it possible to claim that the leaplike destruction of the rock elements by cutting by diamond grains in insert is the same mechanism rock destruction, that occurs upon exposure to the above types of cutters, that is, the mechanism of nucleation and propagation of crack by normal-opening mode - I and shear modes - II.

Key words: cutter, diamond, sludge, fragment, granulometry.

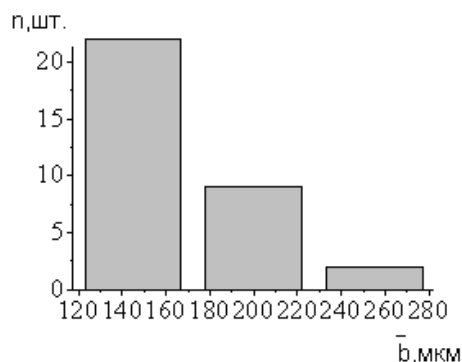
Створення ефективних конструкцій бурового інструмента базується на аналізі основних закономірностей механізму руйнування породи одиничним індентором (різцем або зерном). До основних теоретичних робіт в галузі дослідження процесу руйнування гірських порід у випадку взаємодії функціонального елемента бурового або гірського інструмента з гірською породою слід віднести роботи Шрейнера Л.А. [1], Александрова Є.В. [2], Барона Л.І. і Глатмана Л.Б. [3], Галина Л.А. і Горячової І.Г. [4], Мосинця В.М. і Абрамова О.М. [5], Кичигіна А.П. [6], Кутузова Б.М. [7], Крюкова Г.М. [8], Ейгелеса Р.М. і Драганчук О.Т. [9, 10], Арцимовича Г.В. [11], Свешнікова І.А. [12, 13]. Теоретичні й експериментальні дослідження цих авторів стосувалися, насамперед, аналізу полів напружень під штампами, що відтворюють форми вставок у бурових і гірських інструментах різних типів. Автори дійшли висновку, що зона руйнування під інструментом складається, в

основному, із трьох зон: зминання, відколу й передруйнування, однак формам, розмірам, а також площам поверхонь, відокремленим від масиву фрагментів зруйнованої гірської породи, що є безпосередніми "свідками" взаємодії інструмента з породою і відбивають процес реалізації роботи руйнування породи вони практично не надавали значення.

Численні дослідження процесів руйнування гірської породи радіальними різцями із твердого сплаву [14, 15] або алмазно-твердосплавними пластинами (АТП) [16], алмазними дисковими кругами [17] і алмазним буровим інструментом із вставками Славутича [18, 19], проведені в ІНМ НАН України, свідчать, що, попри очевидні й істотні відмінності, властиві кожному з перерахованих типів інструментів, за геометричними, кінематичними і енергетичними параметрами процесу руйнування породи вони мають багато спільного.



а)



б)

\bar{b} , n – висота вильоту і кількість зерен алмазу відповідно

Рисунок 1 – Загальний вигляд циліндричної вставки зі Славутича із плоским торцем (а) та розподіл вильотів зерен алмазу зернистістю 800/630 мкм над поверхнею зв'язки у вставці зі Славутича (б)

Згідно з роботами Ейгелеса Р.М. і Драганчук О.Т. [20,21] механізм руйнування гірських порід твердосплавними елементами шарошкочувих бурових доліт є аналогічним процесу її руйнування у разі заглиблення штампку зі сферичною або плоскою поверхнями і включає стадії: лінійного росту деформацій, утворення тонко подрібненого ядра породи й руйнування у вигляді відколу лунки.

Однак, як вважають багато авторів, механізм руйнування породи зерном алмаза, що рухається, істотно відрізняється. Як йдеться у роботах Гитциграта Е.Е. [20], Кувикіна С.І. і Кагарманова М.Ф. [21,22], процес руйнування породи є результатом її зминання й роздавлювання. Волков С.А. і Волков А.С. [23] процес руйнування породи алмазними зернами подають як поверхнєве стирання, дряпання, різання, мікро-різання й, в окремих випадках, втомне зношування.

У згаданих роботах [20-23] процес руйнування крихких і пластично-крихких порід під час горизонтального руху окремо взятого зерна алмазу зводиться до сколювання з подальшим подрібненням породи, тобто є сукупністю безлічі елементарних відколів, що відбуваються періодично з утворенням відколів породи спереду і з боків зерна, а ущільнене ядро за рахунок зчеплення з поверхнею алмаза виноситься з канавки. Слід також зауважити, що глибина руйнування гірської породи або інших крихких матеріалів априорі передбачалася рівною глибини відколу, як і у випадку шліфування за Масловим Є.Н. [24] або правці абразивних кругів за Шейком М.М. [25], тобто глибина руйнування відповідає товщині знятого шару, і при обробці задається подачею різця на хід (або на оберт).

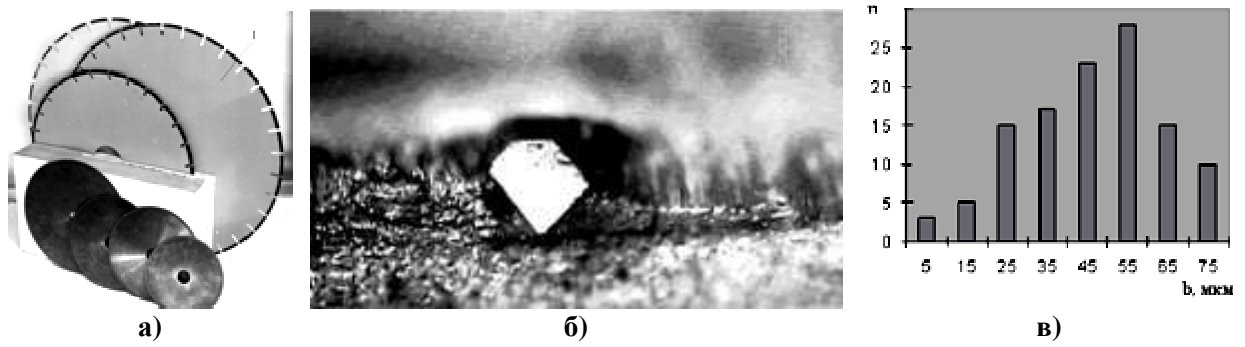
Руйнування алмазним зерном гірської породи, яку автори [26] подають сукупністю окремих, довільних круглих зв'язаних частинок - твердих тіл, які навіть перекриваються у точках контакту, відбувається внаслідок розриву зв'язків між цими частинками в умовах зародження і поширення тріщин. Тобто продуктами руйнування є зерна, що формують моноліт гір-

ської породи, або їх конгломерати, що не мають сталих форми і розмірів.

Частинки подрібненої гірської породи в абразивній суспензії, що вимивається з області різання граніту алмазним кругом, є згідно з [27] круглими тілами, і зі збільшенням діаметра відділених від масиву гірської породи частинок зносостійкість алмазовмісної матриці алмазного круга нелінійно знижується, зменшуючи термін використання інструмента.

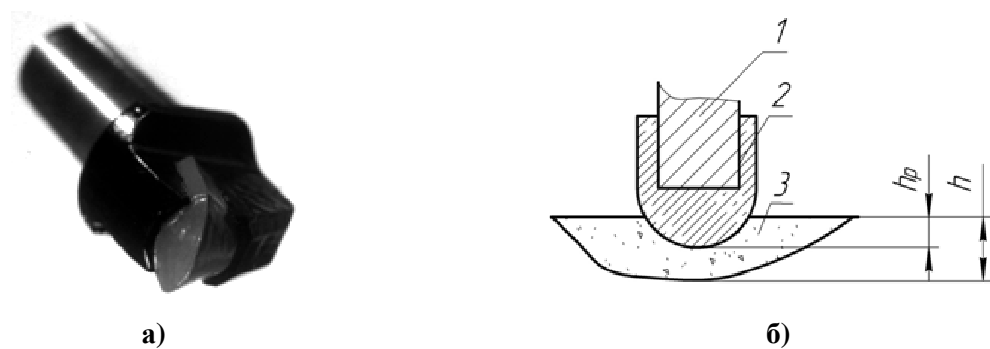
Метою даної роботи було встановлення на підставі аналізу форм фрагментів руйнування, одержаних у результаті взаємодії із зернами, закріпленими у породоруйнівній вставці Славутича (рис. 1,а) і в алмазному сегменті алмазного сегментного відрізного круга 1A1RSS/C₁500 (рис. 2,а, поз.1) основних факторів механізму руйнування породи і їх подібність (або відмінність) до механізмів руйнування гірської породи, що відбуваються у разі заглиблення в неї гірського різця радіального типу РП-221 (рис. 3,а) або алмазно-твердосплавної пластини АТП (рис. 4,а).

Експериментальні дослідження руйнування гірської породи радіальним різцем РП-221 проводилися на стенді, створеному на базі токарно-карусельного верстата 1М553 шляхом різання зі швидкістю 0,52 м/с міцного сірого абразивного пісковіку Тербовлянського родовища окремим різцем, оснащеним твердосплавною «чечевицеподібною» вставкою із заданою подачею на оберт h_p від 2 до 8 мм. Руйнування гірської породи при різанні різцем з серійною алмазно-твердосплавною пластиною типу АТП -1-13,5 проводили на стенді, виконаному на базі поперечно-стругального верстата моделі 7В36 при струганні блоку пісковіку Торезького родовища. Перед початком випробовування поверхня блоку планувалася, а відхилення від площинності не перевищували 0,1 мм. АТП при різанні гірської породи була орієнтована під кутом $-10 \pm 0,5^\circ$ (за переднім кутом) й $10 \pm 0,5^\circ$ за заднім кутом різання. Режим різання здійснювався при швидкості - 0,55 м/с, глибині різання 0,50 мм і поперечній подачі 2,8 мм/хід.



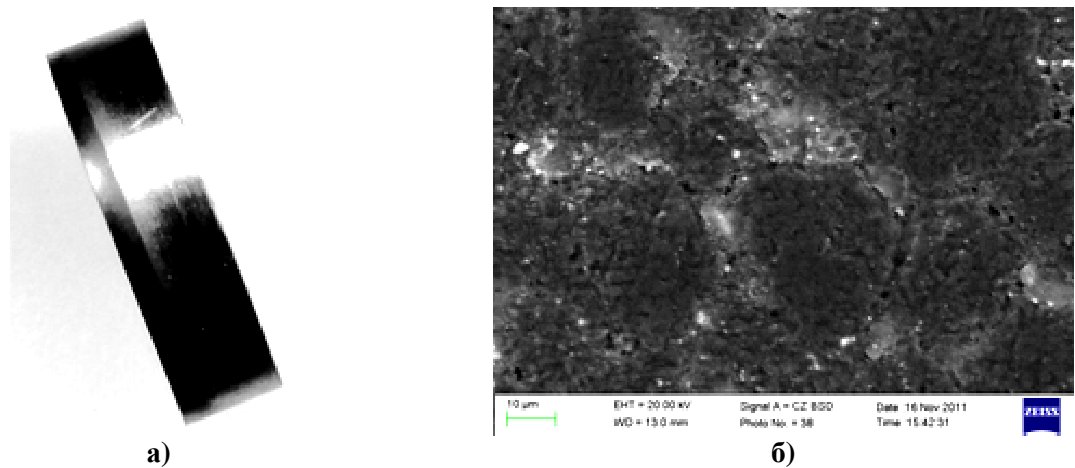
\bar{b} , n – висота вільоту і кількість зерен алмазу відповідно

Рисунок 2 – Алмазна сегментна дискова пилка 1A1RSS/C₁500–1 (а); зерно алмаза на робочій поверхні алмазного сегмента з алмазами АС160 зернистістю 400/315 і концентрацією 50% (б); розподіл вільотів зерен алмазу АС160 зернистістю 400/315 концентрацією 50% над поверхнею зв'язки алмазного сегмента в 1A1RSS/C₁500 (в)



1 – тримач різця, 2 – твердосплавна вставка; 3 – фрагмент шламу гірської породи; h_p – глибина різання, що задається, h – товщина фрагмента шламу, що відколюється

Рисунок 3 – Загальний вигляд різця типу РП-221, оснащеного твердосплавною вставкою (а); узагальнена схема перерізу заглиблення різця РП-221 у породу (б)

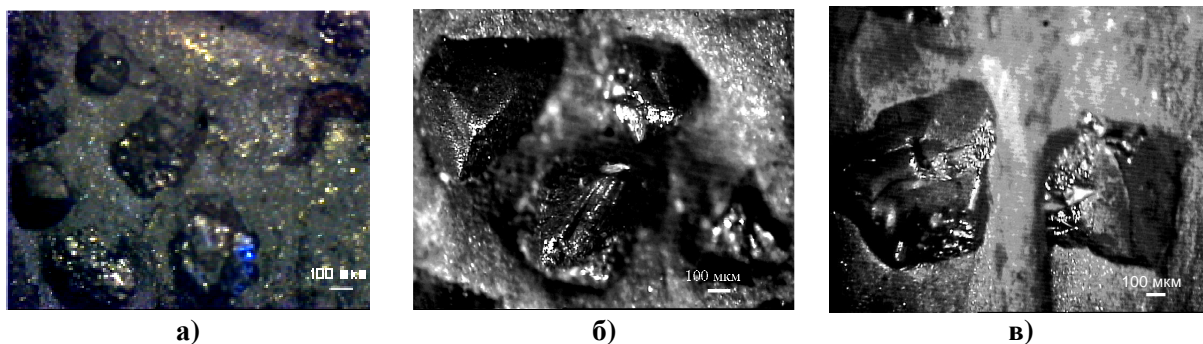


а – загальний вигляд; б – структура поверхні різальної кромки АТП

Рисунок 4 – Різальна алмазно-твердосплавна пластина (АТП)

Для одержання фрагментів шламу при руйнуванні гірської породи одиничним алмазним зерном використовувалися циліндричні вставки Славутича із плоским торцем (зернистість природних алмазів – від 400/315 до 1000/8000 мкм) (рис. 5), і алмазний відрізний сегментний круг (АВСК) діаметром 500 мм із алмазами АС160 400/315 концентрацією 50%.

Геометричні параметри продуктів руйнування проаналізовано за результатами порівняння фрагментів шламу, отриманого при різанні пісковика Теревовлянського родовища окремим різцем, оснащеним твердосплавною «чечевицеподібною» вставкою, блоку пісковика Торезького родовища алмазно-твердосплавною пластиною шламу, відібраного після рі-



Зернистість: (а) – 400/315 мкм; (б) – 800/630 мкм; (в) – 1000/800 мкм

Рисунок 5 – Загальний вигляд робочих поверхонь вставок Славутича з концентрацією природних алмазів 100%

зання блоків граніту Ємельянівського родовища й пісковиків 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), та шламу, відібраного при різанні пісковиків Торезького родовища вставкою з композиційного алмазовмісного матеріалу Славутич, що було проведене на спеціальному обладнанні за частоти обертання досліджуваного блоку пісковиків, закріпленого на шпинделі установки, 350 хв⁻¹.

Вставка з КАМ притискала до обертового блоку за допомогою пружини й змінних вантажів, що забезпечують в зоні контактування вставки із Славутича з гірською породою розподілений тиск до 3 МПа (термін різання 2 хв.), завдяки чому утворюється вибій у вигляді кільця шириною 10мм, який створює бурова коронка діаметром 93мм. Після проведення п'яти циклів експерименту при постійному режимі продукти руйнування (шлам) фільтрувались із промивальної рідини й висушувались і вимірювались. На основі гранулометричного аналізу за допомогою спеціальної комп'ютерної програми будувались відповідні розподіли геометричних параметрів фрагментів шламу, що забезпечує растровий електронний мікроскоп фірми ZEISS EVO, оснащений енергодисперсійним аналізатором INCA PENTA FETx3 (рис. 6, 7, 8) і лазерного гранулометра LMS-30 (Laser Micron Sizer) (рис. 9).

Аналіз розподілу, отриманого з використанням програми аналізатора зображень свідчить, що ширина окремої частинки шламу (рис. 10) може значно перевищувати ширину утвореного вибою. Так, товщина частинки у випадку руйнування гірської породи різцем, оснащеним твердосплавною вставкою блоку пісковиків Теребовлянського родовища на глибину $h_r = 8$ мм з кроком різання $H=60$ мм - до 91,63мм, алмазно-твердосплавною пластиною - до 18мм, алмазним відрізним сегментним кругом - до 72 мкм).

Згідно з результатами аналізу отриманих за допомогою лазерного гранулометра LMS-30 (Laser Micron Sizer) розподілів (рис. 9), найбільша кількість частинок найбільшого діаметра - 32,78 мкм - міститься в шлам, відібраному після

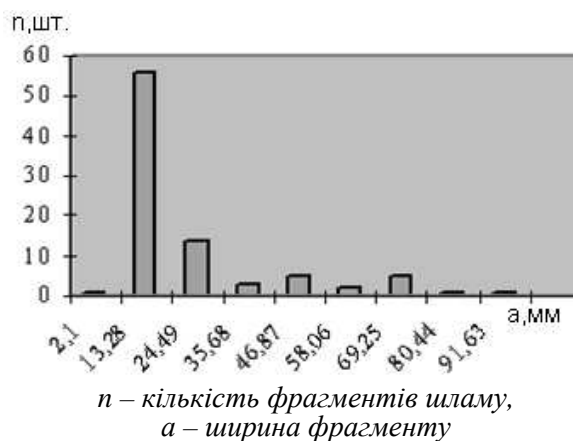


Рисунок 6 – Розподіл значень ширини фрагментів шламу, що утворюється в результаті різання різцем РП-221, оснащеним твердосплавною вставкою блоку пісковиків Теребовлянського родовища на глибину $h_r = 8$ мм з кроком різання $H=60$ мм

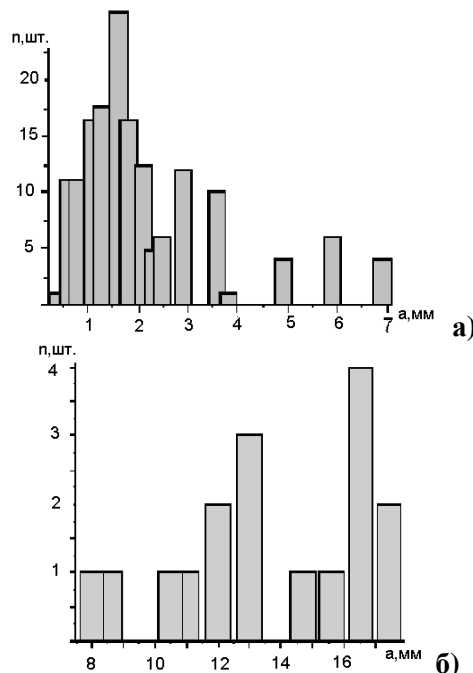


Рисунок 7 – Розподіли значень ширини фрагментів шламу, що утворюється при різанні блоку пісковиків Торезького родовища різцем з АТП товщиною до 7мм (а) і до 18мм (б)

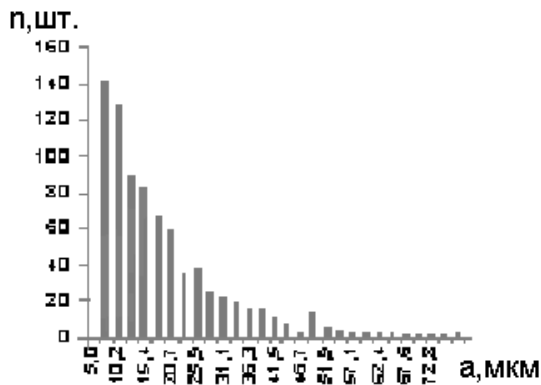
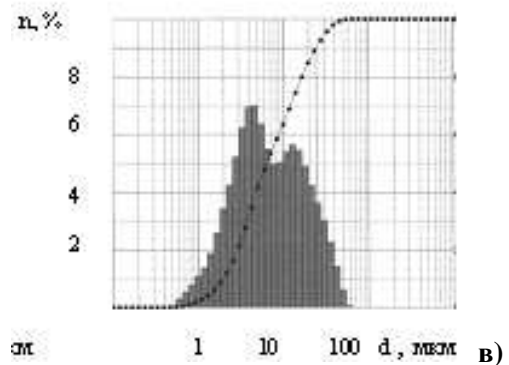
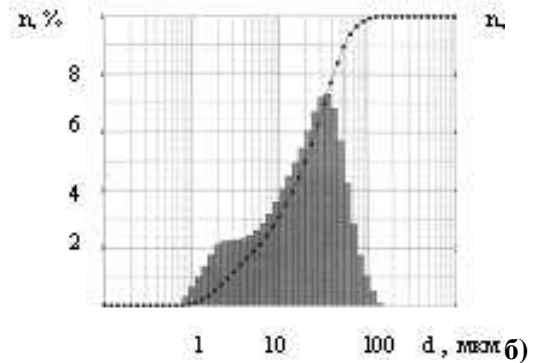
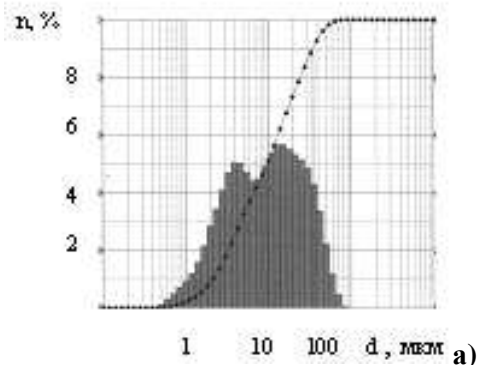


Рисунок 8 – Розподіл значень ширини фрагментів шламу, що утворюється в результаті різання блоку граніту Ємельянівського родовища алмазним сегментним кругом АВСК 500 АС160 400/315 до 100 мкм

руйнування пісковиків Торезького родовища вставкою зі Славутича, оснащеною природними алмазами зернистістю 800/630 і концентрацією алмазів 100%, і становить приблизно, 7,2% (рис. 9,б). Робоча поверхня вставки зображена на рисунку 5,б. Дві інші гістограми (рис. 9 а, в) свідчать про те, що відсоткове співвідношення між діаметрами частинок шламу становить: 5,66% - 16,58 мкм і 6,99% - 5,03 мкм відповідно. Причому вставці зі збільшеною зернистістю алмазів (1000/800 мкм) відповідає гістограма з максимальною кількістю частинок із середнім розміром 5,03 мкм. Високий вміст частинок такого розміру у шламі (рис. 9,в) свідчить, на нашу думку, про достатню низьку кількість гострих кромки на кулеподібних зернах алмазів (рис. 5,в), здатних до сколювання часток шламу, а також про подрібнення вже сформованих фрагментів.

Із гранулометричного аналізу шламу, отриманого при різанні породи вставкою із Славутича, впливає, що оптимальною щодо функції утворення максимальної кількості частинок найбільшого розміру є вставка з зернистістю використовуваних алмазів А 800/630, робоча поверхня якої зображена на рисунку 5,б, тому саме вона була використовувалась для подальших випробувань з метою більш детального дослідження геометричних параметрів фрагментів шламу.

Величину виступання (вильоту) зерен алмаза \bar{b} над зв'язкою, що утворюють робочу поверхню вставки із Славутича і алмазних сегментів, вимірювали за допомогою мікроскопа Ломо Мета Р-1 з ССД відеокамерою Digital КОСОМ при 175 і 360-кратному збільшенні методом, започаткованим Александровим В.А. [17]. За результатами вимірювань побудовано відповідні розподіли. Розподіл вильотів зерен алмаза на робочій поверхні вставки зі Славутича (рис. 1,б) свідчить, що більшість їх виступає зі зв'язки на висоту 150 мкм, однак у деяких випадках виліт може сягати 300 мкм. Переважна більшість алмазів, що закріплені у сегменті алмазного відрізного сегментного круга, виступає



Вставка: а – 400/315 мкм; б – 800/630 мкм; в – 1000/800 мкм

Рисунок 9 – Розподіли діаметрів фрагментів шламу крупністю до 100 мкм, що утворюються при різанні пісковиків Торезького родовища вставкою зі Славутича (концентрація природних алмазів - 100%), отримані при використанні лазерного гранулометра LMS-30 (Laser Micron Sizer) із зернистістю природних алмазів

над зв'язкою на 55 мкм, досягаючи значення 75 мкм (рис. 2,в).

Зіставлення величин середнього і максимального вильотів алмазів зі зв'язки з величинами діаметрів частинок шламу і спостереження за їх невідповідністю спонукало до виявлення одиничного відколеного фрагменту шламу для всіх розглянутих типів інструментів.

При аналізі розмірів фрагментів шламу [14,15] встановлено, що із заглибленням твердосплавного різця різального типу (зокрема, РП-221) або різця з АТП, відкол фрагмента породи (рис. 10,а) відбувається дискретно (стрибокподібно), причому об'єм відколеного фрагменту (на відміну від співвідношення об'ємів

зони відколу та змінання під дією ударного заглиблення твердосплавної вставки шарошки) у багато разів перевищує обсяг зони змінання (рис. 10,б).

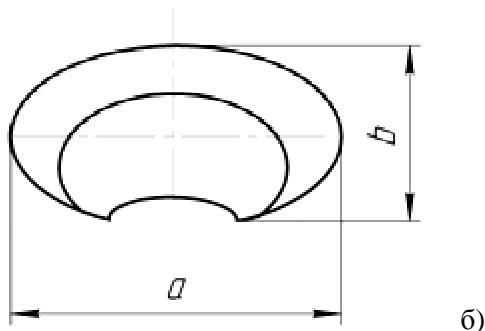
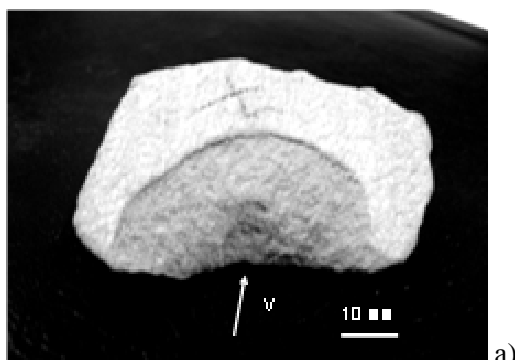


Рисунок 10 - Загальний вигляд фрагментів шламу, отриманих при різанні пісковіку Теребовлянського родовища різцем РП-221 при заданій глибині різання $h_p = 8$ мм і кроці різання $H = 60$ мм (а); V-вектор напрямку відколу частинки шламу і узагальнена схема фрагмента шламу (б)

Порівняння вилучених із шламової маси одиничних фрагментів гірської породи, що є продуктами руйнування блоків пісковіку Торезького родовища і граніту Ємельянівського родовища вставкою із Славутича і алмазним відрізним сегментним кругом з аналогічними фрагментами, що були отримані в результаті різання пісковіку Теребовлянського родовища різцем РП-221, що оснащений «чечевицеподібною» твердосплавною вставкою [15], дає підстави припустити, що існують певні закономірності утворення частинки шламу у випадку взаємодії окремого різця із блоком гірської породи, незалежно від її фізико-механічних властивостей і від типу різального інструмента, яким проводилося руйнування породи.

На рисунках 11-13 зображено фрагменти шламу, отриманого в результаті різання пісковіку Торезького родовища й граніту Ємельянівського родовища вищезгаданими інструментами: різцем з АТП, алмазним сегментом і вставкою із Славутича. Аналіз геометричних розмірів продуктів руйнування (шламу), робочої поверхні досліджуваної вставки по блоку пісковіку Торезького родовища і шламу від різання граніту Ємельянівського родовища алмазним сегментом АВСК проводилося за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащено-

го CCD відеокамерою Digital КОСОМ з 175 і 360-кратним збільшенням методом, що застосовувався і при вимірюванні вильоту алмазних зерен зі зв'язки.

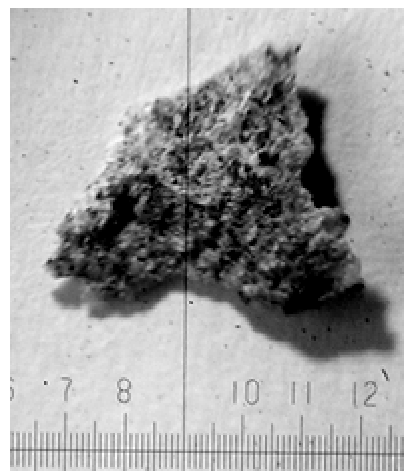


Рисунок 11 – Фрагмент шламу, отриманий при різанні блоку пісковіку Торезького родовища різцем з АТП (ціна поділки – 100 мкм)

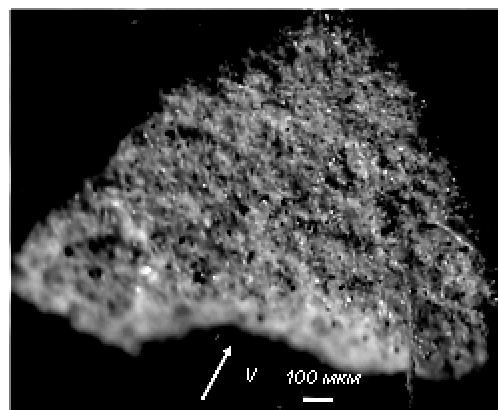


Рисунок 12 – Фрагменти шламу, отримані в результаті різання блоку граніту Ємельянівського родовища алмазним відрізним сегментним кругом АВСК 500 АС 160 400/315 (V-вектор напрямку відколу частинки шламу)

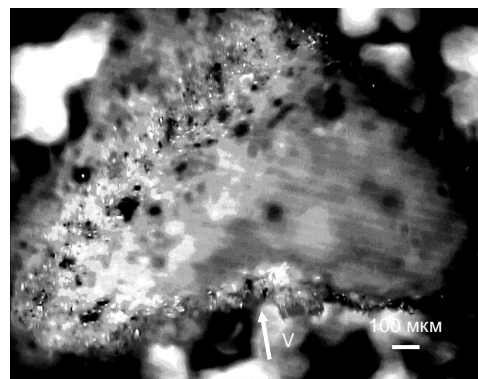


Рисунок 13 - Фрагмент шламу, отриманий в результаті різання блоку Торезького пісковіку алмазними зернами, закріпленими у вставці із Славутича (V-вектор напрямку відколу частинки шламу)

Таблиця 1 – Геометричні параметри продуктів руйнування гірської породи різцями РП-221, АТП, вставкою з КАМ та алмазним сегментним кругом 1А1RSS/C₁500

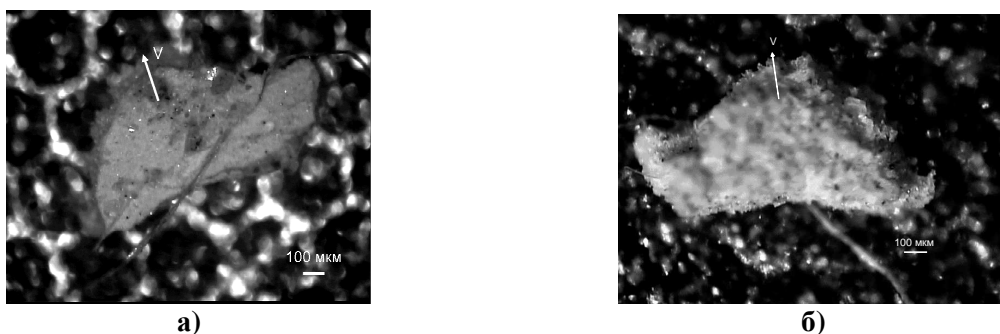
Спосіб руйнування породи	Швидкість різання, м/с	Задана глибина різання h_p , мм	Середнє значення площі проекції відколеного фрагменту шламу $S_{шл}$, мм ²			a / b	Середнє значення співвідношення h / h_p		
			При діаметрі фрагменту до (мм):				При діаметрі фрагменту до (мм):		
			0,1	1	від 1		0,1	1	від 1
Твердосплавним різцем РП-221	0,52	8	-	-	453	1,38	-	-	1,02
Різцем з АТП діаметром 13,5мм	0,55	0,5	-	0,045	4,66	1,51	-	0,15	1,2
Вставкою КАМ (Славутич) діаметром 10мм з алмазами А800/630	1,5	0,004	0,0004	0,006	0,44	1,39	4,55	14,2	97
Фрагментом алмазного сегмента довжиною 10мм (алмазний круг 1А1RSS/C ₁ 500 з алмазами АС100 400/315)	26	0,004	0,00004	0,174	0,66	1,07	0,95	1,8	120

На підставі узагальнення результатів вимірів вибірки великої потужності фрагментів шламу гірської породи, отриманих завдяки мікроскопічному аналізу, зроблено висновок про те, що форми фрагментів шламу, отриманих при різному заглибленні різців, здебільшого відповідають формі, близькій до форми еліпсоїда обертавання, схематичне зображення якого представлено на рис. 10,б. Але наявність характерних особливостей, притаманних найбільш яскравим в інформаційному відношенні зразкам, вказує на певну закономірність протікання процесу відколу одиничного фрагменту шламу. Відношення ширини a до довжини b фрагментів (рис. 10,б), отриманих при руйнуванні пісковиків Тербовлянського та Торезького родовищ і граніту Смельянівського родовища всіма вищезгаданими видами інструментів з різною швидкістю, є інваріантним (табл. 1). Характерне для переважної більшості фрагментів шламу заглиблення у фронтальній частині є відбитком різця у гірську породу: чи твердосплавного різця або різальної кромки АТП, чи алмазного зерна у вставці із Славутича й у сегменті АВСК або гострих кромок полікристала алмаза (рис. 4,б) в АТП.

Відносно симетричні бокові частини фрагментів шламу свідчать про утворення зони руйнування з двох боків породоруйнівного індентора. Наявність вершини у фігурі фрагмента породи (рис. 11; 12; 13), або її відсутність (рис. 10,а) залежить, ймовірно, від межі міцності породи (межа міцності пісковіку Торезького родовища – 150МПа, а пісковіку Тербовлянського родовища – 86,8 МПа). Так, у переважній більшості фрагментів шламу, що утворились в результаті різання блоку пісковіку Тербовлянського родовища, згадана вершина відсутня. Можливо, навантаження, що виникає

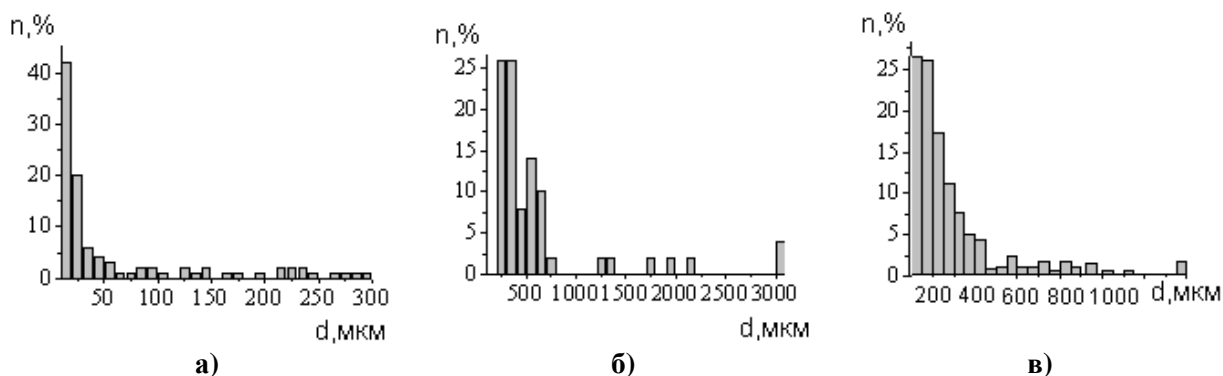
у вершині в момент відколювання фрагменту шламу, є руйнівним, і цементуючий матеріал, що скріплює зерна пісковіку, не здатний їх утримувати і сприяє їх розкришуванню. Подібне явище описане в роботі [28] при дослідженні поширення тріщин, що або чітко формують вищезгадану вершину, або її нівелюють, що залежить від ступеня пластичності кераміки при механічній обробці. Товщина одиничного фрагменту гірської породи є величиною реальної глибини руйнування гірської породи одиничним індентором в даний момент часу, а найбільша товщина фрагментів є максимальною глибиною руйнування даним типом інструменту за один оберт, тобто вибій складається не зі злитих неглибоких рядів-борозн, утворених окремими алмазами, а є низкою «кратерів»-вибоїв, що залишаються після відколювання фрагментів шламу (рис. 15,а) сусідніми алмазними зернами, або їх сусідніми різальними кромками в інструменті, зворотна поверхня яких віддзеркалює поверхню новоствореного «кратера» (рис. 15,б). Фрагмент шламу, що не має вищезазначених ознак, є, як правило, результатом подрібнення відколеного зразка. Тому саме стала конфігурація відколеного фрагменту свідчить на користь руйнування блоку породи на глибину, рівну його товщині, крім того, встановлює зв'язок між глибиною руйнування і габаритними розмірами відколеної частинки. Товщина фрагментів менша середнього арифметичного їх габаритних розмірів при руйнуванні породи алмазними зернами у середньому в 2,2 рази; утричі менше для АТП і приблизно в 7 разів менше для твердосплавного різця.

Наявність фрагментів гірських порід сталої конфігурації, отриманих при руйнуванні досліджуваними інструментами, товщина яких знач-



а – вигляд зверху; б – зворотня поверхня фрагменту, що віддзеркалює поверхню новоствореного вибою, V – вектор напрямку відколу частинки шламу

Рисунок 14 – Фрагмент шламу, отриманий при різанні пісковиків Торезького родовища вставкою із Славутича



АТП: а – до 100 мкм; б – до 1000 мкм; в – до 1000 мкм

Рисунок 15 – Гістограми розподілу середнього діаметру частинок шламу, отриманого в результаті руйнування блоку пісковиків Торезького родовища різцем з АТП вставкою із Славутича з використанням гранулометра DiaInspect OSM

но перевищує значення подачі на оберт (табл. 1) свідчить про високу ефективність руйнування окремими алмазними зернами або різальною кромкою АТП.

Аналіз продуктів руйнування гірської породи перерахованими типами алмазних інструментів з використанням гранулометра DiaInspect OSM підтвердили те, що головною особливістю утворення фрагмента шламу є його форма, а гістограми розподілу середнього діаметру частинок шламу свідчать, що діапазон габаритних розмірів частинок певної форми перебуває в межах від 10 до 3000 мкм (рис. 15), а середнє значення відношення ширини фрагмента а до його довжини б близьке до 1,39 (табл. 1).

У процесі вимірів фрагментів шламу гірської породи, отриманих при руйнуванні породи всіма перерахованими вище типами інструментів, було встановлено, що товщина фрагмента шламу h при певних режимних параметрах може перевищувати задану глибину руйнування h_p до 120 разів (таблиця 1). Відмінність між співвідношенням розмірів фрагментів шламу a/b і h/h_p , отриманих при руйнуванні породи різними типами різців, ймовірно, обумовлене зміною кінематичних умов руйнування, зокрема, швидкості руйнування, що впливають на зміну напруженого стану гірської породи.

Крім цього, не зважаючи на чітко визначену величину математичного очікування розміру частинок, які є одного порядку з глибиною різання h_p в шлам, отриманому при руйнуванні породи вставками КАМ, наявні частинки, розміри яких значно перевищують задану глибину різання. Наявність цих частинок викликана ймовірно руйнуванням гірської породи авангардними зернами вставки чи алмазного сегмента АВСК, або відокремленням периферійною частиною різального інструмента, що потребує подальшого дослідження. Використовуючи дані, наведені у таблиці 1, можна оцінити і потенційну швидкість буріння відповідних гірських порід з використанням досліджених функціональних елементів різального типу. Так, швидкість буріння свердловин з використанням бурів із різцями типу РП-221 при 80 хв^{-1} може досягати $39,2 \text{ м/год.}$; долотом з різцями АТП при 180 хв^{-1} швидкість може досягати $17,3 \text{ м/год.}$; вставкою із Славутича при 350 хв^{-1} (на дослідному стенді для визначення зносостійкості КАМ) - швидкість заглиблення вставки у блок може досягати $0,73 \text{ м/год.}$; фрагментом алмазного сегмента довжиною 10 мм при 1000 хв^{-1} швидкість різання блоку може досягати $0,21 \text{ м/год.}$ Безумовно, тут слід мати на увазі, що така оцінка швидкості коректна тільки за умови сталої конфігурації різальної поверхні

елемента, що можливо тільки до певної стадії взаємодії його з гірською породою, оскільки в реальних умовах відбувається їх зношення, що призводить до зміни різальної здатності елемента.

ВИСНОВКИ

1. На підставі гранулометричного аналізу фрагментів руйнування гірської породи при руйнуванні гірської породи різцями із твердого сплаву (РП-221) і алмазно-твердосплавною пластиною (АТП), алмазним відрізним кругом і вставку з композиційного алмазовмісного матеріалу (КАМ) Славутич підтверджено подібність їх форми форми і близькість її до форми зрізаного еліпсоїда обертання, а співвідношення ширини до довжини a/b фрагментів руйнування (у перетині площини симетрії) інваріантне для всіх перерахованих типів різців і близьке до $1,3 \pm 0,2$. При цьому глибина відколу породи h для перерахованих типів інструментів суттєво перевищує задану глибину різання h_p (всередньому до 1,2 разів – різальним інструментом і до 120 разів – інструментом, оснащеним алмазними зернами). Встановлено, що при руйнуванні породи твердосплавним різцем, різцем з АТП, також, як і зерном алмаза, відколювання фрагмента породи відбувається дискретно (стрибкоподібно), причому об'єм відколюваного фрагмента у багато разів перевищує об'єм зони змінання перед різцем.

2. Встановлена форма й співвідношення розмірів фрагментів дає підставу стверджувати, що руйнування гірської породи зернами алмаза, які утримуються у вставці з КАМ Славутич або у алмазному сегменті, відбувається за тим самим механізмом, що і при різанні гірської породи різцями типу РП-221 або АТП, тобто за механізмом різання з утворенням й поширенням тріщини в умовах змішаного руйнування нормальним відривом зі зсувом.

Література

1 Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород / Л. А. Шрейнер. – М.-Л: Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.

2 Александров Е.В. Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский, Г.М. Захариков, Ким Дин Хи. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. – 61 с.

3 О расчетном определении угла раствора лунок выкола горных пород при работе штыревых шарошек / Барон Л.И., Глатман Л.Б., Григорьев В.И. // Разрушение горных пород при бурении скважин. – 1973. – С. 147-151.

4 Осесимметричная контактная задача теории упругости при наличии износа / Л.А.Галин, И.Г. Горячева // ПММ. – 1977. – Вып. 5, т. 41. – С. 807-812.

5 Мосинец В. Н. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В. Н. Мосинец, А. В.Абрамов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.

6 Механическое разрушение горных пород комбинированным способом / А. Ф. Кичигин, С. Н. Игнатов, А. Г. Лазуткин, И. А.Янцен. – М.: Недра, 1972. – 254 с.

7 Кутузов Б.Н. Теория, техника и технология буровых работ / Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1972. – 310 с.

8 Сравнительный анализ глубины проникновения ударного инструмента в упругую среду при различной форме прямоугольного нагружающего импульса / Г.М.Крюков, В.Р. Федоров // Тр. МИРЭА. – 1970. – №48. – С. 64-77.

9 Эйгелес Р. М. Разрушение горных пород при бурении / Р.М. Эйгелес. – М.: Недра, 1971. – 231 с.

10 Проблема оптимизации вооружения долот, оснащенных алмазотвердосплавными пластинами / О.Т.Драганчук, Р.М. Эйгелес // Труды ВНИИБТ. – 1989. – Вып. 67. – С.96-109.

11 Арцимович Г.В. Механофизические основы создания породоразрушающего бурового инструмента / Г.В.Арцимович. – Новосибирск: Наука, 1985. – 268 с.

12 Свешников И.А. Исследование процесса вращательно-ударного бурения : Дис. работа на соиск. степени кандидата техн. наук. – Донецк: Донецкий Политехнический институт АН Украины, 1968. – 267 с.

13 Свешников И.А. Научные основы создания высокоэффективных породоразрушающих инструментов для буровых машин вращательного действия и проходческих комбайнов : Дис. работа на соиск. докторской степени. – Днепропетровск: Институт геотехнической механики АН Украины, 1992.

14 Отчет по научно-исследовательской теме 0843 «Создание и внедрение новых высокопрочных буровых исполнительных органов и режущего инструмента для эффективной проходки скважин под опоры ЛЭП в мерзлых грунтах и крепких породах» /ИСМ НАН Украины. – Киев, 1989 .

15 К вопросу о влиянии взаиморасположения резцов на энергоемкость процесса разрушения горной породы / А.Л.Майстренко, С.Д.Заболотный, Е.П.Виноградова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2010. – Вып.13. – С. 192-198.

16 Звіт по науково-дослідній темі 0960 «Комп'ютерне моделювання та дослідження механізму руйнування міцних гірських порід при застосуванні системи інденторів» // ІНМ НАН України. – Київ, 2004.

17 Александров В.А. Обработка природного камня алмазным дисковым инструментом / В.А. Александров. – Киев: Наук. думка, 1979. – 240 с.

18 Вовчановский И.Ф. Породоразрушающий инструмент на основе Славутича для бурения глубоких скважин / И.Ф.Вовчановский. – Киев: Наук. думка, 1979. – 205 с.

19. ТУ 88 УССР ИСМ 583-76. Вставки из сверхтвердого композиционного материала для бурового инструмента. Киев: ИСМ АН УССР, 1976. – 31 с.

20 Гитцигат Э.Э. Некоторые вопросы технологии алмазного бурения / Э.Э.Гитцигат. -Л.: ОНТИ ВИТР, 1965.

21 Кувькин С.И. Механизм разрушения горных пород и проектирование режимов алмазного бурения / С.И. Кувькин, Н.Ф. Кагарманов // Нефтяное хозяйство. – 1965. – №1. – С.12-18.

22 Хамзин Ш.Х.О механизме взаимодействия единичного алмаза в процессе ее разрушения всесоюзная научно-техническая конференция разрушение горных пород при бурении скважин / Ш.Х. Хамзин, Н. Ф.Кагарманов. – Уфа, 1973.

23 Волков С.А. Справочник разведочного бурения / С.А. Волков, А.С. Волков. – М.: Недра, 1963.

24 Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.

25 К вопросу о распределении параметров срезов при шлифовании периферией круга: фактор инструмента и режима обработки. Сообщение 2. / М. Н. Шейко // Сверхтвердые материалы. – 1993. – № 5. – С. 51-61.

26 Haiying Huang, Emmanuel Detournay Intrinsic length scales in tool-rock interaction /International journal of geomechanics / January/February 2008. – P. 39-44

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

28 Тадаакі Сугіта. Механічна обробка кераміки / Тадаакі Сугіта. – Токіо: Екендо, 1985. – 308 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії

11.10.12

*Рекомендована до друку професором
Клименком С.А.*