

ХАРАКТЕР ВЗАЄМНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ТА АЛМАЗНОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

О. П. Виноградова

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

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

Досліджено механізм руйнування матриці алмазовмісного бурового інструменту при руйнуванні ним порід середньої міцності. Встановлено хвильовий послідовно-періодичний характер відколювання частинок твердого сплаву алмазовмісної матриці в породоруйнівному елементі зі «славутича». Побудовано алгоритм розрахунку енергоємності руйнування матриці бурового інструменту при його відпрацюванні на породах з відмінними фізико-механічними властивостями, який може бути використаний для прогнозування продуктивності процесу руйнування алмазним інструментом гірської породи з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів та вольфрамо-кобальтового сплаву в породоруйнівному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи.

Ключові слова: руйнування, гірська порода, шлам, алмаз, матриця, вольфрамо-кобальтовий сплав.

ХАРАКТЕР ВЗАИМНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД И АЛМАЗНОГО ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

О. П. Виноградова

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля

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

Исследован механизм разрушения матрицы алмазосодержащего бурового инструмента при разрушении им пород средней прочности. Установлен волновой последовательно-периодический характер откалывания частиц твердого сплава алмазосодержащей матрицы в породоразрушающем элементе из «славутича». Построен алгоритм расчета энергоемкости разрушения матрицы бурового инструмента при его отработке по породам с отличными физико-механическими свойствами, который может быть использован для прогнозирования производительности процесса разрушения алмазным инструментом горной породы с целью повышения ресурсозбережения природных алмазов и вольфрамо-кобальтового сплава в породоразрушающем инструменте, уменьшения энергоемкости разрушения горной породы.

Ключевые слова: разрушение, горная порода, шлам, алмаз, матрица, вольфрамо-кобальтовий сплав.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Забезпечення високої зносостійкості функціональних елементів алмазного бурового та каменеоброблюючого інструменту при його розробці базується на вивченні механізмів руйнування гірської породи одиничним індентором і робочої поверхні елементу.

Частинки породи, що утворюються в процесі руйнування гірської породи, перебувають між зв'язкою і вибоєм у водному середовищі і представляють со-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

бою гідроабразивну масу, а продукти руйнування, представлені у вигляді кулеподібних елементів, переміщуються під торцем інструменту [1]. Ефективність руйнування гірської породи різцем автор роботи [2] оцінює, порівнюючи розміри фрагментів шламу при зміні режиму роботи.

Одиничною частинкою руйнування гірської породи з відмінними фізико-механічними властивостями в результаті динамічного навантаження на індентори різного типу, як зазначалось в роботі [3] є фрагмент шламу, що утворюється в результаті мікроудару у вибій, та має сталу конфігурацію, що характеризується зоною заглиблення індентору 1, боковими 2 та кінцевою частиною 3 (рис. 1). Крім того, згідно з математичною моделлю утворення ціликів гірської породи алмазним інструментом руйнування вибою відбувається завдяки хвильовому послідовно-періодичному відколюванню мікро- та макро -фрагментів шламу як, наприклад, одиничним зерном зернистості 800/630 мкм по блоку мармуру Коелгінського родовища (рис. 2, а), або алмазом в циліндричному елементі зі «славутича» з періодом, що змінюється від 50 до 160 мкм (рис. 2, б) в результаті руйнування пісковика Торезького родовища (IX категорії буримості).

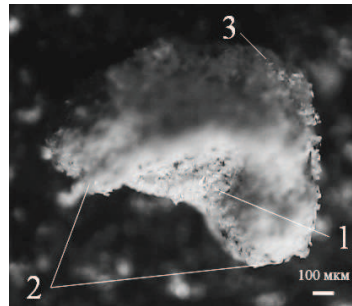
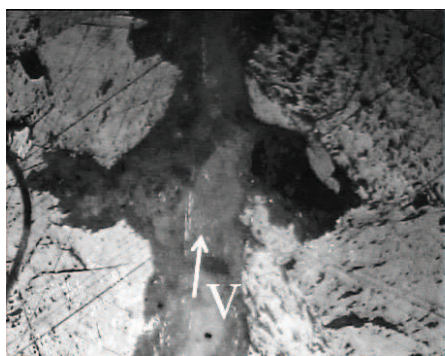
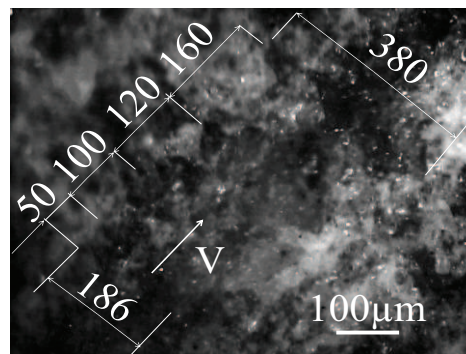


Рисунок 1 – Загальний вигляд фрагменту продуктів руйнування пісковика Торезького родовища одиничним алмазним зерном:

1 – зона заглиблення індентору; 2 – бокові частини; 3 – кінцева частина



а)



б)

Рисунок 2 – Загальний вигляд вибою: мармуру Коелгінського родовища, утвореного різцем, оснащеним одиничним алмазним зерном зернистості 800/630 мкм – а); V – вектор швидкості одиничного алмазного зерна по вибою; пісковика Торезького родовища породоруйнівним елементом зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм та їх відносній концентрації 100% – б)

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Аналіз літературних джерел показує, що одні дослідники висувують гіпотези, що стосуються самої природи явища руйнування (стан матеріалу, що руйнується і перехід його з одного стану в інший в процесі руйнування); інші розглядають зовнішні ознаки процесу (глибина борозни, її форма); треті - кінематику руху індентора. Є група дослідників, які своїми роботами доводять єдність деяких підходів до процесу, і їх концепції є по суті синтезом наявних про уявлень [4].

Міцність матриці із вольфрамокобальтового сплаву ВК–6 композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич» за шкалою Мооса становить 9 одиниць. Проте матеріал матриці – крихкий, в значить руйнування його в результаті відпрацювання бурового або каменеоброблюючого інструменту може відбуватися за тим же механізмом, що і руйнування крихкої міцної гірської породи. При дослідженні глибини динамічного заглиблення одиничного алмазного зерна марки АСВ в зразок з твердого сплаву Т15К6 автори, [5] встановили, що при заданих подачах 1 і 6 мкм фактична глибина руйнування зразка склала 4 і 11 мкм, відповідно, що підтверджує крихкий характер відколювання фрагментів шламу твердого сплаву.

Як зазначає Нескромних В.В. [6], механізм зношування матриці твердого сплаву типу ВК складається з того, що при підвищенні питомої сили тертя і, відповідно, температури сплаву, відбувається зменшення твердості і міцності як карбіду вольфраму у матриці інструменту, так і зв'язки кобальту, що призводить до викришування зерен карбіду вольфрама, які заглиблюються у гірську породу і потрапляють в потік охолоджувальної рідини. Саме зерна вольфраму, вважає автор, активно зношують матрицю, деформуючи її і дряпаючи. При використанні електронного растрового мікроскопу аналізатора «САМСКАН– 4DV» знос робочої поверхні матриці бурового алмазного інструменту у вигляді вдавлених подряпин спостерігав Ісонкін О.М. [7]. Проте фізичний зміст процесів, що відбуваються у фрікційному контакті «гірська порода – буровий або каменеоброблюючий інструмент (алмазовмісні відрізні сегментні круги [8])», вивчено недостатньо.

Метою даної роботи є дослідження механізму руйнування алмазоносної матриці породоруйнівного інструменту в процесі буріння та каменеобробки міцних, твердих гірських порід.

МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для дослідження механізму руйнування вольфрамокобальтової (ВК–6) алмазовмісної матриці було використано циліндричний породоруйнівний елемент зі «славутича» [9] з плоским торцем діаметром 10 мм, рис. 3, Породоруйнівний елемент зі «славутича» було виготовлено методом гарячого пресування, в результаті чого алмази 1зернистості 800/630 мкм та їх відносній концентрації 100 %, утримуються матрицею 2 з високим ступенем адгезії. Руйнування пісковика блоку Торезького родовища відбувалось при застосуванні стенду та режимних параметрах, описаних в роботі [3].

Дослідження поверхні матриці після відпрацювання елменту зі «славутича» відбувалось при застосуванні мікроскопа Ломо Метам Р-1, оснащеного CCD відеокамерою Digital КОСОМ, підключеного до ПЕОМ.

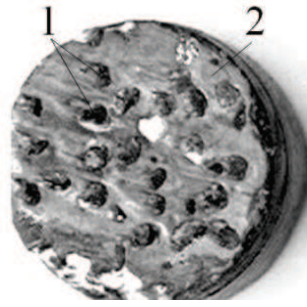


Рисунок 3 – Робоча поверхня циліндричного породоруйнівного елемента зі «славутича»: 1 – алмази; 2 – матриця інструмент

Породоруйнівний елемент зі «славутича» піддавали статичному та динамічному навантаженням. До площини вибою 1 та площини виступу 2 (рис. 4, а), що імітує утворювану інструментом площину керну (свердловини), встановленого на планшайбі відполірованого з усіх боків блоку оптичного скла БК – 8, з границею міцності 180 МПа, що застосовується в якості моделі крихких твердих порід, під дією питомого осьового навантаження $14,65 \text{ кН/см}^2$ притискали породоруйнівний елемент 3, яким оснащено експериментальний різець (рис. 4, б), закріплений у різцетримачі трикомпонентного динамометра, на стенді, створеному на базі токарно- карусельного верстату моделі 1 М 552.

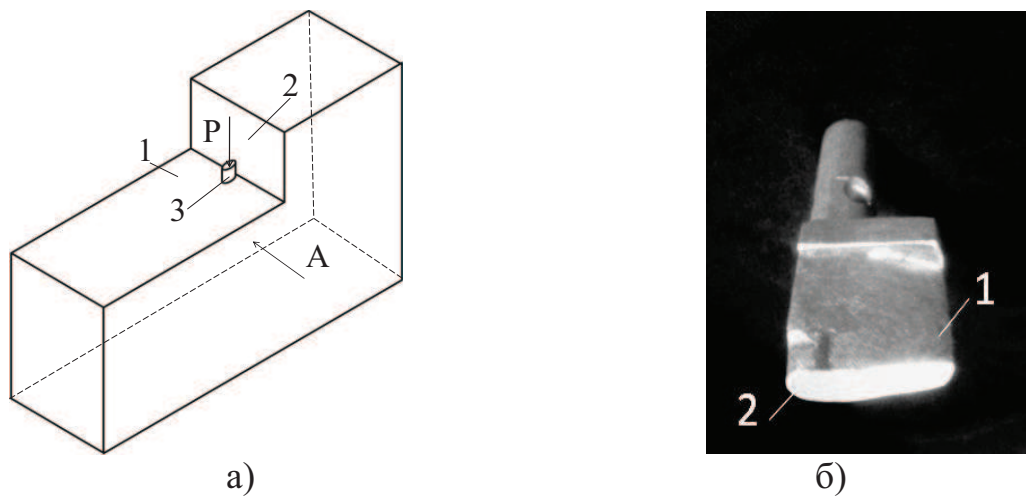


Рисунок 4 – Загальний вигляд: схеми статичного навантаження на циліндричний породоруйнівний елемент зі «славутича», який притискали до виступу встановленого на планшайбі блоку оптичного скла БК – 8 – а; 1 – площина змодельованого вибою; 2 – площина змодельованого керну; 3 – породоруйнівний елемент, експериментального різця – б, 1 – корпус; 2– циліндричний елемент зі «славутича»

Після відпрацювання різця, на площині змодельованого вибою було помічено навколо відбитків алмазних зерен 1 глибиною 100 мкм частинки твердого сплаву 2, конфігурація яких повторювала не тільки конфігурацію фрагментів шламу гірської породи, а й конфігурацію самого відбитку 1.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

В результаті дослідження побудованих гістограм розподілу частинок твердого сплаву, встановлено, що мода гістограми відповідає значенню розміру частинки твердого сплаву – 20 мкм. Тобто, руйнування твердого сплаву ВК-6 в матриці інструменту при статичному навантаженні відбувалось гострими кромками зруйнованих частинок (шламу) оптичного скла.

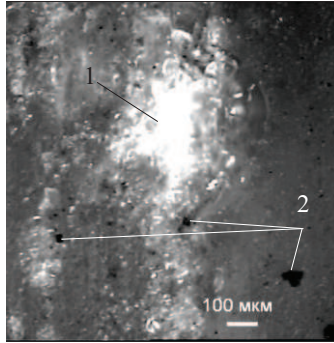


Рисунок 5 – Поверхня блоку оптичного скла БК-8 після дії статичного навантаження на призматичний елемент зі «славутича»,
1 – відбиток глибиною 100 мкм, залишений алмазом в елементі зі «славутича»,
2 – частинки продуктів руйнування твердосплавної матриці ВК-6

Подальше вивчення механізму руйнування алмазовмісної матриці породоруйнівного інструменту відбувалось при відпрацюванні внаслідок динамічного навантаження по блоку пісковіку Торезького родовища вищезгаданого експериментального різця. Ретельне мікроскопічне дослідження вибою блоку пісковіку забезпечило виявлення серед частинок шламу гірської породи включень чорного кольору, представлених на рис. 6, розмір деяких з них перевищував 20 мкм, а їх конфігурація, рисунок 6, відповідала конфігурації частинок шламу зруйнованої породи з зоною заглиблення індентору 1 [10], боковими та кінцевою частиною, відповідно до рис. 1.

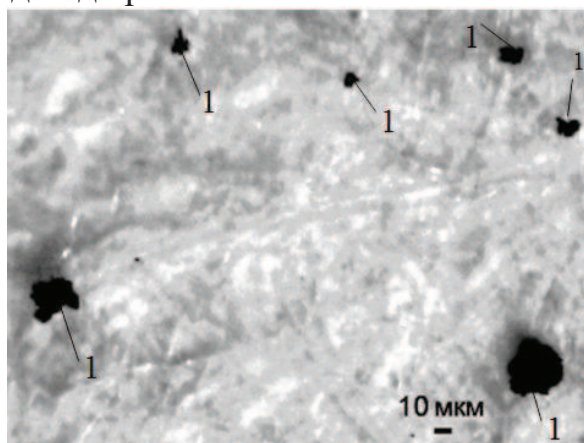


Рисунок 6 – Частинки продуктів руйнування із твердого сплаву ВК-6, відколоті від породоруйнівного елементу зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм і їх відносною концентрацією 100 % при руйнуванні пісковіку Торезького родовища, 1 – зона заглиблення індентору (гострих кромek зерен кварцу)

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Остаточним підтвердженням наявності на вибої частинок саме продуктів руйнування матриці бурового інструменту було встановлення борозенок на робочій поверхні елемента зі «славутича» у вигляді періодично-послідовно утворених з періодом T (T_1, T_2, T_3) «мікрократерів», рис. 7, подібно до утворення вибою гірської породи алмазами, (див. рис. 2). Обчислення площі зворотної поверхні частинок твердого сплаву дозволяє розраховувати енергоємність відколювання частинок твердого сплаву від матриці алмазовмісного інструменту.

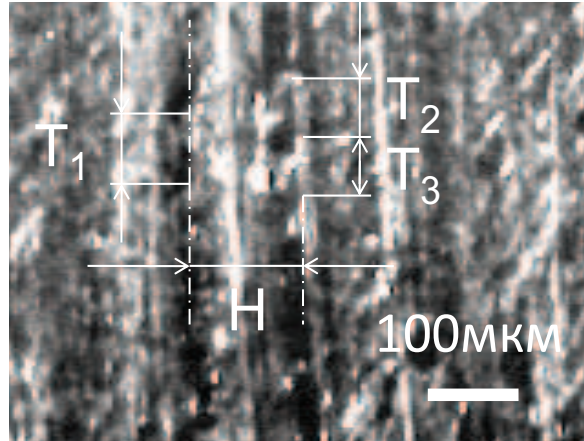


Рисунок 7 – Робоча поверхня твердосплавної матриці з відбитками відколотих фрагментів твердосплавного шламу, що утворився в результаті абразивної дії кварцових зерен на інструмент:

T_1 T_2 T_3 – період відколювання елементарних фрагментів твердого сплаву ВК-6,
 H – крок між борозенками, що складаються з елементарних лунок

Відповідність розмірів частинок шламу твердого сплаву розмірам «мікрократерів», що утворюють борозенки на робочій поверхні елемента зі «славутича», свідчить про єдиний характер руйнування крихкої твердої породи і матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту.

ВИСНОВКИ.

1. Руйнування алмазовмісної матриці породоруйнівного інструменту, як при статичному, так і при динамічному навантаженні, відбувається з утворенням частинок твердого сплаву, конфігурація яких ідентична конфігурації частинок продуктів руйнування гірських порід з відмінними фізико-механічними властивостями породоруйнівними інструментами різних типів.

2. В той час, коли алмази в породоруйнівному інструменті, виконуючи функцію різців, відколюють мікро- та макро – фрагменти шламу гірської породи, руйнування вольфрамо-кобальтової матриці породоруйнівного алмазовмісного інструменту відбувається зернами кварцу пісковика, утворюючи на робочій поверхні породоруйнівного елемента борозенки згідно з хвильовим послідовно-періодичним законом.

3. Мікроскопічне дослідження борозенок на робочій поверхні породоруйнівного елемента або габаритних розмірів частинок твердого сплаву дозволяє прогнозувати зносостійкість матриці інструменту завдяки обчисленню енергоємності руйнування матриці при залученні у розрахунок обчислення площі зво-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

ротної поверхні частинки твердого сплаву, з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів та вольфрамо-кобальтового сплаву в породоруйнівному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості геологорозвідувальних робіт.

Автор висловлює глибоку вдячність співробітникам Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України: д.т.н. Свешнікову І.А., члену-кореспонденту НАН України, професору Майстренку А.Л., к.т.н., Сердюку В.М., н.с. Заболотному С.В., провідному інженеру Беспалову С.Ф. за всебічне сприяння у виконанні експериментальних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васюк Б.Н. 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.

2. Rojek J. Discrete element modeling of rock cutting // Computer Methods In Material Sciens, 2007. – V. 7. – No 2. – P. 224–230.

3. Математичне моделювання утворення ціликів гірської породи при її руйнуванні окремим індентором / О.П. Виноградова, В.А. Дутка, І.А. Свешніков // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва – Науково-виробничий журнал: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2015. – Випуск 15(1). – С. 41–53.

4. Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съёмными керноприемниками (ССК). – Алматы: КазНТУ, 2010. – 248 с.

5. Работоспособность алмазных кругов / М.Ф. Семко, М.Д. Узунян, Ю.А. Сизый, М.С. Пивоваров. – К.: Техніка, 1983. – 95с.

6. Нескромных В.В. Разрушение горных пород при проведении геолого разведочных работ: Учебное пособие. [Электронный ресурс] – Сибирский Федеральный университет. – 2015.

7. 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.

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

9. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Закора, А.М. Исонкин. – Донецк: Норд-пресс, 2007. – 244 с.

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

**THE CHARACTER OF THE MUTUAL BREAKING OF ROCKS
AND A DIAMOND ROCK DESTRUCTION TOOL**

O. Vinogradova

V.M. Bakul Institute for Superhard Materials

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

Purpose. The study is focuses on the mechanism of destruction of the diamond-containing matrix of elements from the diamond-composite material "Slavutich" in rock cutting tool. **Methodology.** Research of the surface of the diamond-containing matrix of elements from "Slavutich" 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 field. **Results.** The periodic wave- sequence chipping carbide particles in the matrix of rock cutting diamond element from "Slavutich" established in this work. The algorithm of calculation of energy of intensity of matrix destruction of drilling tool is considered. When a diamonds in the rock cutting tool, performing the function of incisors, chip a micro- and macro- fragments of a rock, destruction of tungsten-cobalt matrix of rock cutting diamond instrument accomplished by grains of quartz in sandstone. **Originality.** Installed the identity of configuration of carbide particles and particles of rocks with excellent physical and mechanical properties, chipped by the diamond rock cutting tool. **Practical value.** The microscopic examination of grooves on the working surface of a rock cutting elements or dimensions of the particles of hard alloy allows to predict forecast the durability of the matrix of a tool through the calculation of energy of intensity of destruction of matrix when involved in the calculation of calculating the area of reverse particle surface carbide in order to increase resource of natural diamond and tungsten-cobalt alloy in rock cutting tool, reducing the energy intensity of the destruction of a rock and, consequently, reduce the cost of exploration by rock cutting tool. References – 10, figures – 7.

Key words: destruction, rock, sludge, diamond, matrix, tungsten-cobalt alloy.

REFERENCES

1. Vasyuk, B.N (2005), "Features of the destruction of process of fractured rock during drilling", *Rock cutting and metal working tools, machinery and technology of its manufacture and use: Coll. scientific.work*, Kiev, ISM of V.N. Bakul, Ukraine, Vol. 8, pp. 23–27.
2. Rojek, J. (2007) "Discrete element modeling of rock cutting", *Computer Methods In Material Sciens*, Poland, V. 7, no 2, pp. 224–230.
3. Vinogradova, E.P., Dutka, V.A., Sveshnikov, I.A.(2009), "Mathematical modeling of formation pillar rocs in their destruction single indenter" *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry*, Research and practice journal, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University, Kremenchuk: KrNU, Ukraine, Volume 1(15), pp. 34–40.
4. Kudaykulov, S.K. (2010), "Drilling in difficult conditions by shells with removable core receivers", Almaty, Kazahstan, 248 p.
5. The efficiency of diamond wheels (1983) / M.F. Semko, M.D. Uzunyan, Y.A. Sizy, M.S. Pivovarov, Tehnika, Kiev, USSR, 95 p.

6. Neskromnyh, V.V. (2015), "Destruction of rocks during geological exploration": Textbook, [Electronic resource], Siberian Federal University, Russia.
7. 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*, Kiev, IMS of V.N. Bakul, Ukraine, Vol. 13., pp. 182–187.
8. J. Konstanty (2000), "Diamond bonding and matrix wear mechanisms involved in circular sawing of stone", *Industrial diamond review*, no 1, pp. 55–65.
9. Zybinsky, P.V., Bogdanov, R.K., Zakora, A.P., Isonkin, A.M. (2007), "Superhard materials in exploration drilling", Nord-Press, Donetsk, 244 p.
10. Vinogradova, E.P., Zuevskaya, N.V., Kravets, V.G. (2013), "The area of indenter introduction in a block of a rock at its destruction by diamond tool": Material of the 11 School of Geomechanics: Coll. scientific.work, Gliwice, Ustron, Poland, 13 p.

Стаття надійшла 20.11.2015.

УДК 622.235

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОКАЗНИКА В'ЯЗКОСТІ СКЕЛЬНИХ ПОРІД НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ВИБУХОМ

В. З. Ващук, В. Г. Кравець, О. О. Фролов

Національний технічний університет України «КПІ»
вул. Борщагівська, 115, к. 608, м. Київ, 03056, Україна.
E-mail: frolov@geobud.kiev.ua

Зазначено, що показник в'язкості скельних гірських порід залежить від параметрів пружності та критичного значення напруження руйнування на стиснення. Встановлено, що найбільш в'язкими породами з розглянутих є амфіболіт та безрудний кварцит. Проведено розрахунки по визначенню об'ємів зони руйнування для поширених скельних гірських порід та надано рекомендації щодо застосування вибухових речовин для дроблення в'язких порід вибухом за умови найбільш повного використання енергії вибуху.

Ключові слова: в'язкість, скельні породи, вибух, руйнування, вибухова речовина.

ИСЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЯЗКОСТИ СКАЛЬНЫХ ПОРОД НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ВЗРЫВОМ

В. З. Ващук, В. Г. Кравець, А. А. Фролов

Национальный технический университет Украины «КПИ»
ул. Борщаговская, 115, к. 608, г. Киев, 03056, Украина.
E-mail: frolov@geobud.kiev.ua

Отмечено, что показатель вязкости скальных горных пород зависит от параметров упругости и критического значения напряжения разрушения на сжатие. Установлено, что наиболее вязкими породами являются амфиболит и безрудный кварцит. Проведены расчеты по определению объемов зоны разрушения распространенных скальных горных пород и предоставлены рекомендации по приме-