

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УТВОРЕННЯ ЦІЛИКІВ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ ПРИ ЇЇ РУЙНУВАННІ ОКРЕМИМ ІНДЕНТОРОМ

О. П. Виноградова, В. А. Дутка, І. А. Сवेशніков

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля

вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074, Україна.

E-mail: Vinogradovaelena @ ro.ru.

Запропоновано математичну модель утворення ціликів гірської породи в результаті її дискретного руйнування окремим індентором, яку отримано на основі емпіричної взаємозалежності між ступенем зношування робочої кромки індентора (алмазного зерна в інструменті) та розмірами фрагменту продуктів руйнування гірської породи. Математична модель може бути використана для прогнозування продуктивності процесу руйнування алмазним інструментом гірської породи з метою підвищення ресурсозбереження природних алмазів в породоруйнівному інструменті, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості геологорозвідувальних робіт.

Ключові слова: математична модель, алмаз, фрагмент породи.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ЦЕЛИКОВ ГОРНОЙ ПОРОДЫ ПРИ ЕЕ РАЗРУШЕНИИ ОТДЕЛЬНЫМ ИНДЕНТОРОМ

О. П. Виноградова, В. А. Дутка, И. А. Сवेशников

Институт сверхтвердых материалов им. В.М. Бакуля

ул. Автозаводская, 2, г. Киев, 04074, Украина.

E-mail: Vinogradovaelena @ ro.ru.

Предложена математическая модель образования целиков горной породы в результате ее дискретного разрушения отдельным индентором (алмазным зерном в инструменте), которая получена на основе эмпирической взаимозависимости между степенью изнашивания рабочей кромки индентора и размерами единичного фрагмента продуктов разрушения горной породы. Математическая модель может быть использована для прогнозирования производительности процесса разрушения алмазным инструментом горной породы с целью повышения ресурсосбережения природных алмазов в породоразрушающем инструменте, уменьшения энергоемности разрушения горной породы и, как следствие, уменьшения себестоимости геологоразведочных работ.

Ключевые слова: математическая модель, алмаз, фрагмент породы.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Геологорозвідувальне буріння порід середньої міцності досить ефективно здійснюється серійними твердосплавними коронками, але при проходці ними міцних пісковиків, що зустрічаються у вигляді прошарків потужністю до 100 м, воно є малоефективним через низьку стійкість інструменту. Прогнозування ефективної роботи бурового інструменту з метою підвищення його зносостійкості та механічної швидкості є можливим при дета-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

льному вивченні механізму взаємодії одиничного породоруйнівного індентору з гірською породою. Значний масив інформації про механізм руйнування гірської породи буровим інструментом можуть містити її продукти руйнування. Основними методами визначення гранулометричного складу продуктів руйнування при дослідженні гірських порід в лабораторних умовах є ситовий аналіз, а для більш тонких аналізів можуть застосовуватися методи дисперсійного аналізу: седиментометрія, центрифугування, адсорбція та інші [1]. Так, автори [2] для визначення питомої поверхні високодисперсних матеріалів використовували адсорбційний метод БЕТ (Брунауер – Еммет – Таллер), суть якого полягає у визначенні кількості речовини, що адсорбується на поверхні твердого тіла. Вимірювання площі питомої поверхні бурового шламу проводилось статистичним манометричним методом на приладі «Акусорб–2100» фірми «Культренікс» (Франція) [3], в якому використовується адсорбція азоту при низьких температурах.

Для моделювання процесу руйнування гірської породи Дамаскінська Є.Є., Куксенко В. С [4] використовують модель клітинного автомату. Матеріал гірської породи, що моделюється, представляє собою одномірну систему, що складається з однакових за розміром структурних елементів, а процес руйнування розглядається, як процес накопичення дефектів у просторі і в часі.

Руйнування індентором гірської породи, яку автори роботи [17] представляють сукупністю окремих, довільних і зв'язаних частинок – твердих тіл, що навіть перекривають одне одного у точках контакту, відбувається в результаті розриву зв'язків між, тобто, продуктами руйнування є зерна, що формують моноліт гірської породи, або їх конгломерати, що не мають сталих ні форми, ні розмірів. Сферичними тілами, що розміщуються під торцем бурового інструменту, представлені частинки шламу Ісаєвим М.І., [5], Воздвиженським Б.І., [6], Васюком Б.М. [7], а глибина руйнування відповідає подачі інструменту. Будюков Ю. Є, Власюк В.І. і Спирін В.І. [8] елемент крупного відколу представляють трикутної форми (вид збоку, рис. 1, поз. 7). Згідно зі схемою, товщина елемента крупного відколу, як зазначалось у вищезгаданих роботах, не перевищує величину заглиблення алмазного зерна у гірську породу.

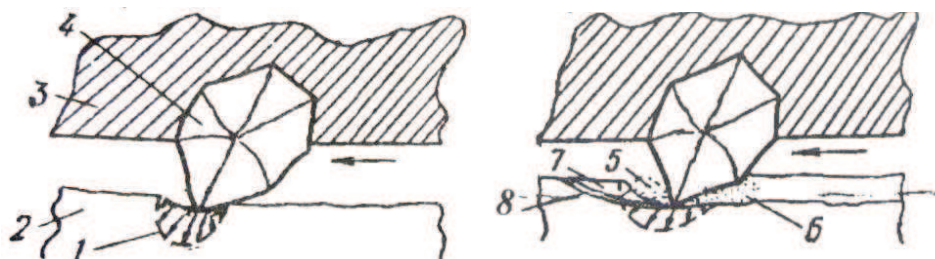


Рисунок 1 – Схема контакту алмазного зерна з гірською породою:

- 1– зона пружних деформацій; 2 – гірська порода; 3 – матриця інструменту;
- 4 – алмазне зерно; 5 – ядро із тонкодисперсних продуктів руйнування;
- 6 – тонкодисперсні продукти руйнування; 7 – елемент крупного відколу;
- 8 – тріщина

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Енергоємність руйнування матеріалів згідно з [9] розраховується як відношення роботи руйнування до подвійної площі новоутвореної поверхні. Енергоємність руйнування гірської породи буровим інструментом в класичному підході розраховується як відношення роботи, витраченої на руйнування породи, до об'єму зруйнованої породи [10, 11]. Такий підхід пов'язаний з відсутністю інформації про одиничний продукт зруйнованої гірської породи окремим індентором (алмазним зерном). Площа відриву від масиву гірської породи одиничного фрагменту шламу могла б бути використана для обчислення енергоємності руйнування породи даним видом індентора або інструмента при заданому експлуатаційному режимі.

Завдяки експериментальним дослідженням в Інституті надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України [12], направленим на вивчення кількісного і якісного складу продуктів руйнування: пісковіку Тербовлянського родовища твердосплавним різцем РП-221; пісковіку Торезького родовища алмазно-твердосплавною пластиною (АТП) діаметром 13,5 мм циліндричним елементом із композиційного алмазовмісного матеріалу «славутич» з пластиком торцем діаметром 10 мм з зернистостью алмазів 800/630 мкм при їх відносній концентрації 100 %; граніту Ємельянівського родовища алмазним відрізним сегментним кругом 1A1RSS/C₁500 AC160 400/315 мкм, граніту Коростишівського родовища алмазною імпрегнованою коронкою діаметром 76 мм, обладнаною синтетичними алмазами зернистостью 400/315 мкм, було визначено за допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1 з CCD відеокамерою Digital КОСОМ при збільшенні об'єктивів в 175, 360, 900 крат інваріантність конфігурації верхньої та зворотної частин одиничних фрагментів шламу, рис. 2, які, залишають відбитки на вибої гірської породи з періодом T і на відстані H один від одного (рис. 3), [13].

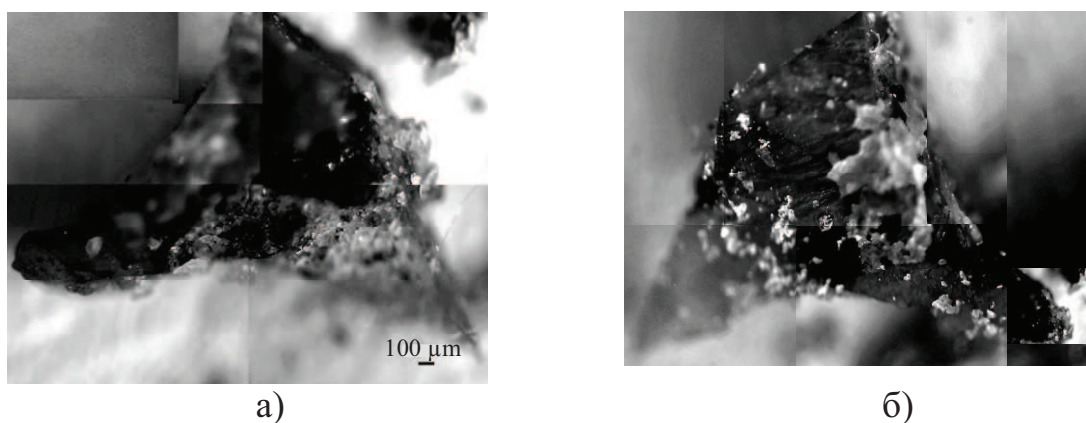


Рисунок 2 – Фрагмент продуктів руйнування граніту Коростишівського родовища алмазною імпрегнованою коронкою, оснащеною алмазами з зернистостью 400/315 мкм, товщиною 1200 мкм:
а) – верхня частина; б) – зворотна частина

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

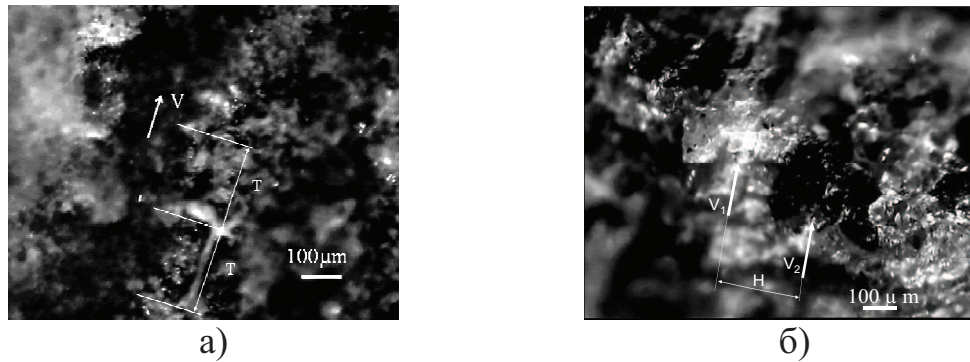


Рисунок 3 – Вибій блоку пісковика Торезького родовища з відбитками фрагментів шламу, в результаті його руйнування циліндричним елементом зі «славутича» з плоским торцем; Т – період відколювання алмазним різцем одиничних фрагментів шламу – а); граніту Ємельянівського родовища алмазним відрізним сегментним кругом 1A1RSS/C₁500 AC160 400/315 мкм; V₁, V₂ – вектори швидкості двох фрагментів шламу; Н – крок між борознами, що складаються з елементарних лунок – б)

Метою даної роботи є створення математичної моделі послідовного утворення одиничних фрагментів продуктів руйнування гірської породи алмазним індентором.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Як показують результати досліджень руйнування гірської породи окремим індентором, продуктивність процесу руйнування, а отже, і розміри частинок продуктів руйнування, залежать від радіуса кривизни передньої кромки індентора. На початковій стадії процесу, коли кромка гостра, в результаті механічної дії на породу, періодично вздовж траєкторії руху різця відколюються крупні фрагменти продуктів руйнування гірської породи (цілики), як показано на рис. 4, схему послідовного відколювання фрагментів продуктів руйнування блоку граніту Коростишівського родовища алмазною буровою коронкою, оснащеною синтетичними алмазами зернистістю 400/315 мкм. Ці крупні фрагменти по формі досить подібні між собою. Звичайно, що крім ціликів є ще дрібні частинки шламу. По мірі затуплення передньої кромки різця розміри крупних ціликів зменшуються.

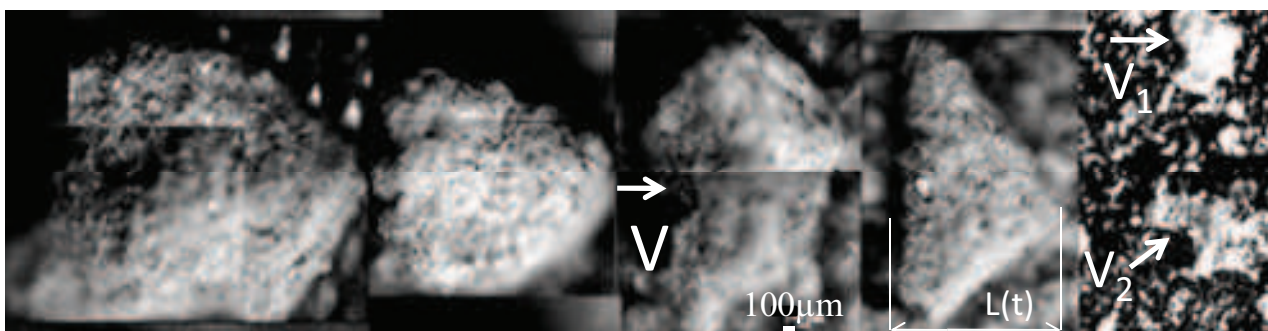


Рисунок 4 – Схема відколювання ціликів в процесі руйнування блоку граніту Коростишівського родовища (вид зверху) алмазною буровою коронкою, оснащеною алмазами зернистістю 400/315 мкм в послідовні моменти часу: товщиною 1600, 1500, 1200, 700, 200; 200 мкм; L(t) – довжина новоутвореного зразка; V, V₁, V₂ – вектори швидкості фрагментів шламу

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

При випробуванні елемента зі «славутича» на експериментальній установці та при експлуатаційному режимі, описаним в роботі [12], відокремлені з охолоджуючої рідини продукти руйнування пісковика Торезького родовища досягали габаритних розмірів до 3000 мкм при їх товщині – 700 мкм. Є ймовірність, що алмазне зерно у випробуваному елементі з робочою кромкою радіуса $R_1 = 83$ мкм, рисунок 5а, яке переміщується зі швидкістю V по вибою відколює фрагмент довжиною $L(t_1) = 1200$ мкм і товщиною 700 мкм, показаний на рис. 6а з тим же радіусом заглиблення індентора [14]. Конфігурація зони заглиблення інденторів у фрагменті, представленою на рис. 6б, довжиною $L(t_2) = 715$ мкм і товщиною 400 мкм, свідчить про взаємне впровадження двох сусідніх інденторів, як вирогідно, могло відбуватися при контакті з гірською породою двох сусідніх загострених кромок з радіусами кривизни r_1 і r_2 , рівній 25 мкм, що рухаються по вибою зі швидкостями V_1, V_2 на відстані 180 мкм одна від одної (рис. 5б), утворені при зменшенні висоти виступання (вильоту) алмазу з матриці до 51 мкм і загального радіуса кривизни робочої кромки до значення $R_2 = 350$ мкм. Подальше зменшення загального радіуса кривизни робочої кромки алмазу супроводжується відколюванням мікрофрагментів шламу, (рис. 6в), габаритні розміри яких у десятки разів менші за габаритні розміри вищезгаданих частинок продуктів руйнування.

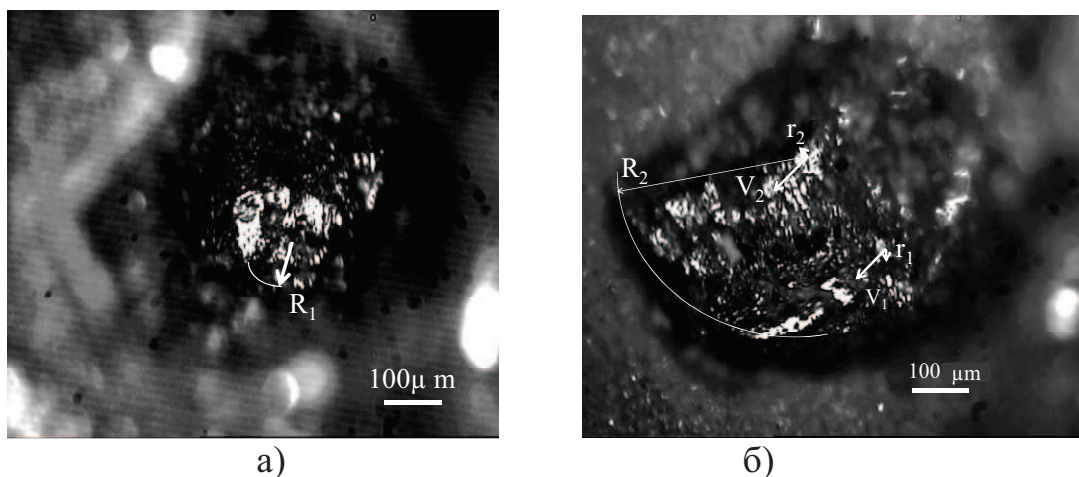


Рисунок 5 – Алмазне зерно в експериментальному елементі зі «славутича», що виступає над рівнем матриці:

а) – на 210 мкм (до роботи); б) – на 51 мкм (після роботи);

V_1 і V_2 – вектори швидкості двох сусідніх гострих кромок алмазного зерна;

R_1 – початковий радіус кривизни робочої кромки алмазу;

R_2 – новоутворений радіус кривизни алмазу;

r_1, r_2 – новоутворені радіуси кривизни робочих кромок алмазу

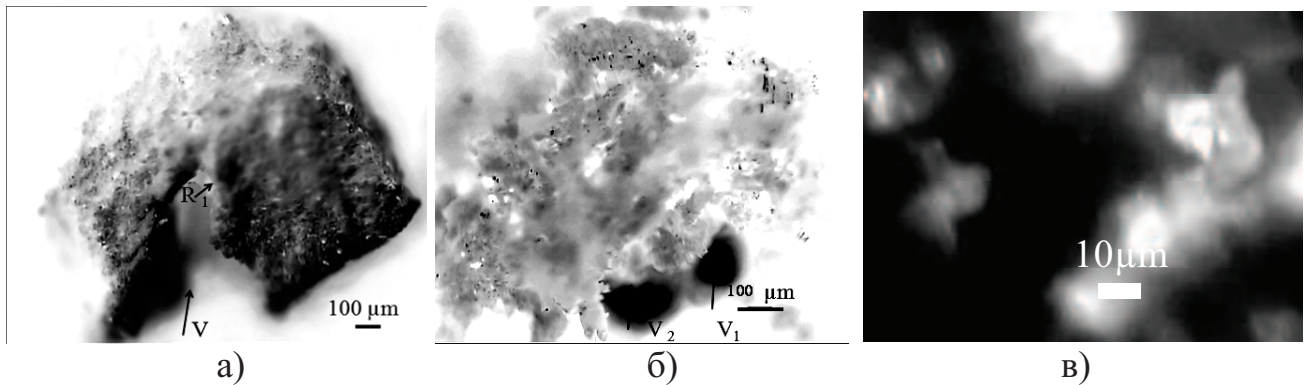


Рисунок 6 – Фрагмент продуктів руйнування пісковика Торезького родовища елементом зі «славутича» з зернистістю алмазів 800/630 мкм та їх відносною концентрацією 100 %, утворений: робочою кромкою алмазного зерна з радіусом кривизни R_1 , (товщиною 700 мкм); V – вектор швидкості алмазного зерна, що утворює даний фрагмент продуктів руйнування – а); двома сусідніми робочими кромками r_1, r_2 , рівними 25 мкм, (товщиною 400 мкм); V_1 і V_2 – вектори швидкості двох сусідніх гострих кромки алмазного зерна – б); гострими кромками алмазу радіусом 3 мкм – в)

Із наведеного вище випливає, що існує зв'язок між явищем зношування (затуплення) передньої кромки індентору та характером руйнування породи – зменшенням розмірів ціликів.

В першому випадку спочатку вимірюють радіус кривизни r кромки незатупленого індентора (в початковий момент часу $t = 0$): $r(t) = r_0$). Далі через рівні проміжки часу Δt роботи інструменту вимірюють радіус кривизни $r(t_1 = \Delta t) = r_1$, $r(t_2 = 2\Delta t) = r_2$, ..., $r(t_n = n\Delta t) = r_n$. В результаті вимірювань отримують послідовність значень радіусів кривизни $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$. Оскільки в початкові моменти часу зношування (затуплення) передньої кромки відбувається інтенсивніше, ніж в більш віддалені наступні моменти, то швидкість зміни значень $r(t)$ в початкові моменти є найбільшою (при умові незмінного режиму навантаження різця, однорідності механічних властивостей породи, фіксованої глибини руйнування т. ін.). Із плином часу ця швидкість зменшується, прямує до нуля, тобто значення $r(t_n)$ виходять на стаціонарний режим: $r(t_n) \rightarrow a = \text{const}$ при $t \rightarrow \infty$.

Якщо від радіуса кривизни $r(t)$ перейти до кривизни $k(t)$: $k(t) = \frac{1}{r(t)}$, то для послідовності $k_0 = \frac{1}{r_0}, k_1 = \frac{1}{r_1}, k_2 = \frac{1}{r_2}, \dots, k_n = \frac{1}{r_n}$ отримаємо графік, зображений на рис. 7. Звідси видно, що кривизна кромки індентора змінюється в часі за експоненціальним або степеневим законом в процесі руйнування породи. За експериментальними даними можна знайти залежність $k = k(t)$, апроксимувавши ці дані відповідною експоненціальною чи степеневою кривою.

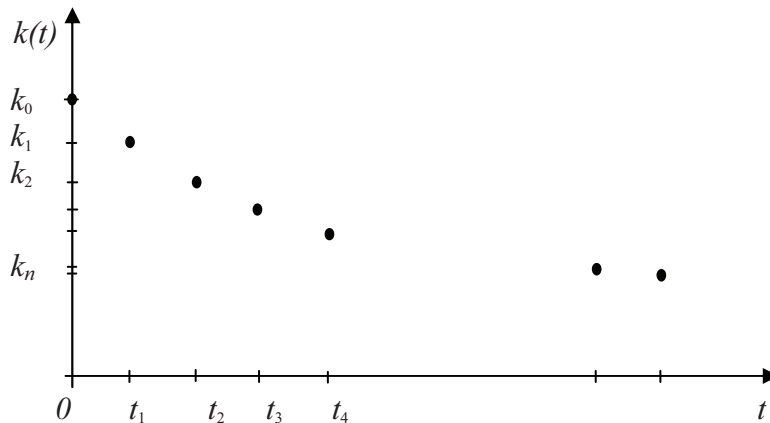


Рисунок 7 – Зміна кривизни кромки індентора в процесі руйнування гірської породи

Визначимо залежність $k = k(t)$ на основі аналізу зношування різця в процесі руйнування породи. З експериментів відомо, що чим гостріша робоча (передня) кромка (рис. 8), тобто чим більша її кривизна $k(t)$, тим крупніший цілик відокремлюється від породи. Звідси випливає, що характерний розмір $L(t)$ цілика прямо пропорційний кривизні робочої кромки: $L(t) \sim k(t)$ (або в загальному випадку $L(t) \sim k(t)^m$, де $m > 0$ – показник степеня).

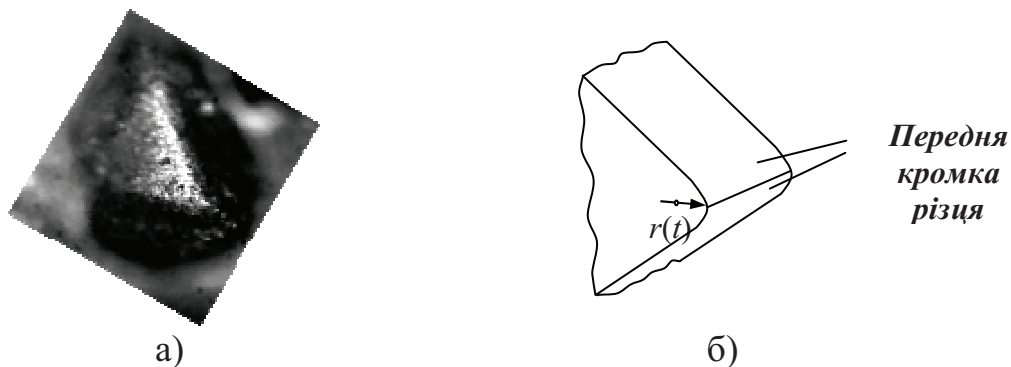


Рисунок 8 – Робоча поверхня алмазного індентора: а) – фото; б) – схема

Виведемо рівняння, яке описує зміну кривизни робочої кромки індентора в процесі його роботи – руйнування ним масиву гірської породи. Швидкість зміни кривизни кромки $\frac{k(t + \Delta t) - k(t)}{\Delta t}$ на інтервалі часу $[t; t + \Delta t]$ пропорційна середній величині механічного напруження на кромці (наприклад, нормального напруження σ_n)

$$\frac{k(t + \Delta t) - k(t)}{\Delta t} = -\alpha \sigma_n, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт пропорційності, а знак “мінус” означає, що із плином часу кривизна кромки зменшується. Коефіцієнт може бути визначено при врахуванні взаємовпливу фізико-механічних властивостей гірської породи і алмазу (твер-

Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Випуск 1/2015(15).

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

дість, абразивність) в заданому експлуатаційному режимі використання інструменту (навантаження на інструмент, стан вибою: неторканий вибій, або охопленний сіткою мікротріщин перед руйнування і т.ін.). Величину напруження σ_n можна обчислити за формулою

$$\sigma_n = \frac{F_n}{S(t)}, \quad (2)$$

де F_n – нормальне зусилля на передній кромці;

$S(t)$ – площа контакту поверхні індентора з породою.

Площа $S(t)$ змінюється в часі і залежить від радіуса $r(t)$ кромки. В першому наближенні можна прийняти (рис. 8), що між $S(t)$ і $r(t)$ є прямо пропорційна залежність:

$$S(t) = \beta r(t), \quad (\beta = \text{const}) \quad \text{або} \quad S(t) = \frac{\beta}{k(t)}, \quad (3)$$

де β – коефіцієнт пропорційності.

В результаті підстановки співвідношення (3) в (2), а потім в (1) отримаємо

$$\frac{k(t + \Delta t) - k(t)}{\Delta t} = -\frac{\alpha F_n}{\beta} k(t). \quad (4)$$

Спрямувавши в (4) величину Δt до нуля, отримаємо диференціальне рівняння першого порядку відносно кривизни $k(t)$:

$$\frac{dk(t)}{dt} = -\gamma k(t), \quad (5)$$

де $\gamma = \frac{\alpha F_n}{\beta}$. Рівняння (5) має розв'язок $k(t) = C e^{-\gamma t}$. Використавши початкову умову $k(t=0) = k_0$, дістанемо остаточний вираз для кривизни $k(t)$:

$$k(t) = k_0 e^{-\gamma t}. \quad (6)$$

Врахувавши прямопропорційну залежність між характерним розміром – довжиною $L(t)$ цілика – і кривизною кромки індентора $k(t)$, запишемо аналогічний (6) вираз для $L(t)$:

$$L(t) = A k_0 e^{-\gamma t}, \quad (7)$$

де A – коефіцієнт пропорційності. Потрібно зауважити, що в формулі (7) значення $L(t)$ обчислюються не від початку ($t = 0$) процесу руйнування індентором породи, а від моменту відколювання першого цілика.

Якщо площа контакту $S(t)$ є прямо пропорційною деякому степеню l ($l > 0$) радіуса $r(t)$ кромки, то замість (3) отримаємо співвідношення $S(t) = \frac{\beta}{k^l(t)}$, а за-

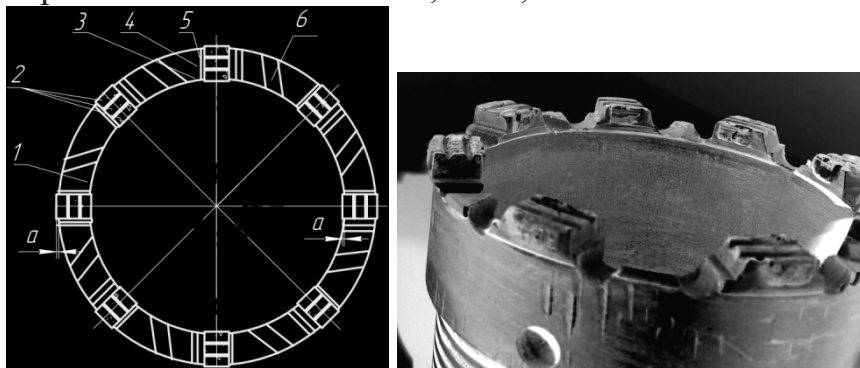
мість (5) – рівняння $\frac{dk(t)}{dt} = -\gamma k^l(t)$, яке при $l \neq 1$ має розв'язок

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

$$k(t) = \frac{k_0}{(1 + \gamma(l-1)k_0^{l-1}t)^{\frac{1}{l-1}}}$$

Формула (7) дає змогу описати процес послідовного руйнування окремих індентором гірської породи. Процес руйнування відбувається не безперервно, а дискретно.

Алмазну бурову коронку [15], рис. 9, корпус 1 якої оснащено призматичними елементами зі «славутича» 2, які у прикерновій 3, центральній 4 та присвердловинній 5 зонах мають різну концентрацію природних алмазів, що дозволяє отримувати більш габаритні фрагменти продуктів руйнування гірської породи в присвердловинній зоні та рівномірний знос короночного торця в радіальному напрямку, створено та випробувано при застосуванні «Способу визначення працездатності інструменту для руйнування крихких, пружнокрихких твердих і надтвердих матеріалів», [16] на базі розробленої математичної моделі. Коронка проходила по пісковиках VI і IX категорій буримості зі швидкістю 3,64 та 1,2 м/год, відповідно, при зносостійкості призматичних елементів 0,01 і 0,21 мм/м.



а)

б)

Рисунок 9 – Алмазна бурова коронка, оснащена призматичними елементами зі славутича: вид зверху, 1– корпус бурової коронки; 2– призматичні елементи зі славутича; 3 –прикернова зона; 4 –центральна зона; 5 – присвердловинна зона короночного кільця; 6– промивні канали, *a* – довжина виступання елемента зі славутича за межі корпусу – а); загальний вид коронки – б)

ВИСНОВКИ. Розроблена математична модель утворення ціликів гірської породи при її руйнуванні алмазним індентором (в розглянутому випадку – алмазним зерном) відображає фізичний процес періодичного відколювання мікро- і макрофрагментів, що мають сталу форму, яка не змінюється в залежності від стану робочої поверхні індентора. Основним положенням математичної моделі є твердження, що висока гострота робочої кромки алмазного зерна спричиняє відколювання фрагментів продуктів руйнування, розміри яких перевищують радіус кромки в десятки разів. Збільшення радіуса кривизни робочої кромки алмазного зерна спряжене зі зменшенням його вільноти з матриці; відколювання високогабаритних фрагментів не відбувається, зменшується їх товщина, здебільшого, зразки відколюються двома сусідніми робочими кромками або однією зі значним зменшенням габаритних роз-

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

мірів частинки продуктів руйнування. Тобто, під процесом затуплення алмазного зерна можна представити процес поступового зменшення механічного напруження у зоні контакту алмазної кромки і вибою, що спричиняє відколювання значно менших фрагментів (в розглянутому випадку – довжини фрагменту $L(t)$) при утворенні нових гострих кромки, розмір яких і відстань між якими сприяють відколюванню мікрофрагментів продуктів руйнування.

При створенні умови оптимальної відповідності робочої поверхні інструменту експлуатаційному режиму його використання в заданих геотехнічних умовах завдяки варіюванню значень змінних, виділених в математичній моделі (наприклад: радіус кромки алмазного зерна певної зернистості, навантаження на інструмент та фізико-механічні властивості гірських порід) є можливим з високою точністю оцінювати сколюючу здатність даного виду індентора, прогнозувати і отримати оптимальне значення основного показника – $L(t)$, (з подальшим розрахунком площі зворотної поверхні фрагменту шламу) при збереженні високої зносостійкості інструменту, що дозволить вирішувати задачу підвищення ефективності процесу руйнування гірської породи різними видами алмазного інструменту: підвищення ресурсозбереження природних алмазів в породоруйнівному інструменті, підвищення якості керованого матеріалу, зменшення енергоємності руйнування гірської породи та, як наслідок, зменшення собівартості геологорозвідувальних робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов В.А. Разрушение пород природным и технологическим путем / Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва: Науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ ім. Михайла Остроградського, 2009. – Випуск 1(3). – С. 34–40.
2. Исонкин А.М. Определение удельной поверхности бурового шлама в зависимости от конструктивных особенностей алмазных коронок и параметров режима бурения / А.М. Исонкин, Р.К. Богданов, В.Л. Гвяздовская // Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 1988. – С. 54–59.
3. Измерение удельной поверхности порошковых материалов и построение изотермы адсорбции – десорбции на приборе «Акусорб» фирмы «Культиреникс»: Методика. – К: ИСМ АН УССР, 1985. – 13 с.
4. Компьютерное моделирование процесса разрушения горных пород / Е. Е. Дамаскинская, В. С. Куксенко // Вестн. Дальневосточн. Гос. Ун-та (Электронное периодич. издание). – 2011. – № 3/4 (8/9). – С. 68–91.
5. Основы прогрессивной технологии алмазного бурения геологоразведочных скважин / М.И. Исаев, П.В. Пономарев. – М.: Недра, 1975. – 287 с.
6. Разведочное бурение / Б.И. Воздвиженский, О.Н. Голубинцев, А.А. Новожилов. – М.: Недра, 1979. – 511 с.
7. 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.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

8. Алмазный породоразрушающий инструмент / Ю. Е. Будюков, В.И. Вла-сюк, В.И. Спирин. – Тула: ИПП « Гриф и К», 2005. – 281 с.

9. ГОСТ 25. 506–85 «Методы механических испытаний металлов. Определе-ние характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении».

10. Эпштейн Е.Ф. Основы теории бурения–резания горных пород твердо-сплавным инструментом / Эпштейн Е.Ф. – М: Гособъединение, науч.-тех. изд-во, 1939. – 542 с.

11. Комп'ютерне моделювання та дослідження механізму руйнування міц-них гірських порід при застосуванні системи інденторів / Звіт по науково-дослідній темі 0960. – К.: ІНМ НАН України. – 2004.

12. К вопросу о механизме разрушения горной породы функциональными элементами из композиционных алмазосодержащих материалов / Е.П. Виноградова // Породоразрушающий и металло-обрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 14–24.

13. Геометричні параметри еталонного фрагменту продуктів руйнування тве-рдих і надтвердих крихких матеріалів алмазним інструментом / О.П. Виноградо-ва // Теоретичні та експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства і машинобудування: Зб. наук. пр. – Луцьк: ЛНТУ, – 2013. – Вип. 4. – С. 45–52.

14. Зона внедрения индентора в блок горной породы при ее разрушении ал-мазным инструментом / Е.П.Виноградова, Н.В.Зуевская, В.Г. Кравец // Сб. науч. тр. – Гливице: 11 Школа Геомеханики, Польша, 2013.

15. Пат. Україна МПК E21B 10/48. Алмазна бурова коронка / А.Л. Майстрен-ко, І.А. Свешніков, Р.К Богданов, О.М. Ісонкін, О.П. Виноградова, П.Г. Людви-ченко; заявник та патентоволодар Київс. наук.-дослідний ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля – №47724; заявл. 17.07.09; опубл. 25.02.10, Бюл. № 4.

16. Пат. на винахід. Україна. МПК G 01N 3/48, E21B 10/46 Спосіб визначен-ня працездатності інструменту для руйнування крихких, пружно-крихких тве-рдих і надтвердих матеріалів / О.П. Виноградова; заявник та патентоволодар Київс. наук.-дослідний ін-т надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля. – № 105966; заявл. 19.12. 12; опубл. 10.07.14, Бюл. №13.

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

MATHEMATICAL MODELING OF FORMATION PILLAR ROCKS IN THEIR DESTRUCTION SINGLE INDENTER

O. Vinogradova, V. Dutka, I. Sveshnikov

V.M. Bakul Institute for Superhard Materials

vul. Avtozavodskaya, 2, m. Kyiv, 04074, Ukraine.

E-mail: Vinogradovaelena @ ro.ru.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

The mathematical model of formation pillars of rock is offered as a result of its destruction by a separate indenter, that is got on the basis of empiric interdependence between the degree of wear of working edge of indenter and sizes of fragment of products of destruction of mountain breed. The mathematical model can be used to predict the performance of the fracture process of rock a diamond tool to increase resource of natural diamonds in the rock cutting tool, reducing the energy intensity of rock failure and, consequently, a decrease in the cost of geological prospecting.

Key words: mathematical model, diamond, rock fragments.

REFERENCES

1. Baranov V.A. Destruction of breeds by an artificial and natural way / Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry. – Research and practice journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University: Kremenchuk: KrNU, 2009. –Volume 1 (3). – P. 34–40.
2. Determination of the specific surface of the drill cuttings depending on the design features of diamond bits and parameters of drilling mode / A.M. Isonkin, R.K. Bogdanov, V.L. Gvyazdovskaya // Coll. scientific. work. – K.: ISM of V.N. Bakul, National Ukrainian Academy of Sciences, 1988. – P. 54–59.
3. Measurement of the specific surface area of powder materials and construction of adsorption isotherms - desorption on the device "Akusorb" firm "Kultreniks": Methodology. – By: ISM of V.N. Bakul, National Ukrainian Academy of Sciences, 1985. – 13 p.
4. Computer simulation of the destruction of rocks / E.E. Damaskinskaya, V.S. Kuksenko // Bulletin of the Far Eastern State University (E-periodicity Edition). – 2011. – № 3/4 (8/9). – P. 68–915.
5. Fundamentals of advanced technology of diamond drilling exploration wells / M.I. Isayev, P.V. Ponomarev. – M.: Nedra, 1975. – 287 p.
6. Exploration drilling / B.I. Vozdvizhensky, O.N. Golubincev, A.A. Novozhilov. – M.: Nedra, 1979. – 511 p.
7. Features of the fracture process of fractured rocks during drilling / B.N. Vasyuk // Rock cutting and metalworking tools, machinery and technology of its manufacture and use: Coll. scientific. work – K.: ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine. – 2005. – Vol. 8. – P. 23–27.
8. Diamond rock cutting instrument / Yu. E. Budyukov, V.I. Vlasyuk, V.I. Spirin. – Tula: "Grief and K", 2005. – 281 p.
9. GOST 25. 506-85 «Methods of mechanical testing of metals. Characterisation of fracture toughness (fracture toughness) under static loading».
10. Epshteyn E.F. Fundamentals of the theory of drilling-cutting rocks by carbide instrument / Epshteyn E.F.– M.: State association, scientific-tech. publishing house, 1939. – 542 p.
11. Computer Simulation Mechanism destroying rocks in the application system indenter / Report on the research topic of 0960 ". – By: ISM of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine. – 2004.

12. To he mechanism of destruction of rock functional elements of the diamond composite materials / E.P. Vinogradova // Rock cutting and metalworking tools - machinery and technology of its manufacture and use: Sat. scientific work. – K.: IMS of V.N. Bakul, National Academy of Sciences of Ukraine, 2011. – Vol. 14. – P. 14–24.

13. Geometric parameters of fragment of products destruction of hard and brittle superhard materials diamond tool /A.P. Vinogradova // Theoretical and experimental research in the technology of modern materials and engineering: Coll. scientific work – Lutsk LNTU – 2013. – Vol. 4. – P. 45–52.

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

15. Pat. IPC Ukraine E21V 10/48. Diamond drill bit / A.L.Maystrenko, I.A. Sveshnikov, R.K. Bogdanov, O.M. Isonkin, O.P. Vinogradova, P.G. Lyudvychenko. – № 47 724; stated 17.07.09; publ. 25.02.2010, Bull. № 4.

16. Pat. for the invention. Ukraine. IPC G 01N 3/48, 10/46 E21V The method of assessing the performance tool for breaking brittle, elastic-brittle hard and superhard materials / O.P. Vinogradova. – № 105 966; stated 19.12. 12; publ. 10.07.14, Bull. № 13.

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

Стаття надійшла 17.04.2015.

УДК 622.235

ВЗАЄМОДІЯ СЕЙСМОВИБУХОВИХ ХВИЛЬ З ҐРУНТОВИМ МАСИВОМ ПРИ МИТТЄВОМУ ТА КОРОТКОУПОВІЛЬНЕНОМУ ПІДРИВАННІ

Н. С. Ремез, В. В. Вапнічна

Національний технічний університет України «КПІ»

вул. Борщагівська, 115/3, м. Київ, 03056, Україна.

E-mail: viktorija0203@yandex.ru

Д. А. Ремез

Інститут гідромеханіки НАН України

вул. Желябова, 8/4, м. Київ, 03680, Україна.

E-mail: Nataly.Remez@gmail.com

С. О. Крайчук

Рівненський державний гуманітарний університет

вул. Салютна, 13, м. Київ, 04111, Україна.

В статті розглянуто методику розрахунку хвильових процесів в ґрунтовому масиві при миттєвому та короткоуповільненому підриванні системи циліндричних зарядів. Розглянуто вплив інтервалів уповільнення та розосередження зарядів на параметри сейсмовибухових хвиль.

Ключові слова: сейсмовибухова хвиля, короткоуповільнене підривання, математичне моделювання.