

УДК 622.235

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.102108

С.В. Кальчук, к.т.н., доц. (Житомирський державний технологічний університет)

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТРІЩИН В КАМЕНІ ПРИ СУБДИНАМІЧНОМУ РЕЖЕМІ НАВАНТАЖЕННЯ

S.V. Kalchuk (Zhytomyr State Technological University)

FEATURES OF DEVELOPMENT OF CRACKS IN A STONE UNDER THE SUB-DYNAMIC LOADING CONDITIONS

Досліджено вплив довжини радіальної тріщини на ефективність її росту при шпуровому способі руйнування каменю. Встановлено, що при статичному навантаженні радіальні тріщини сповільнюють свій ріст після досягнення довжини, що становить половину діаметра шпура.

Ключові слова: крихке руйнування; природний камінь; критерії руйнування; тріщина.

Исследовано влияние длины радиальной трещины на эффективность ее роста при шпуровом способе разрушения камня. Установлено, что при статической нагрузке радиальные трещины замедляют свой рост после достижения длины составляющей половину диаметра шпура.

Ключевые слова: хрупкое разрушение; природный камень; критерии разрушения; трещина.

The influence of the length of a radial crack on the efficiency of its growth in the borehole method of the fracture of a stone is studied. It has been established that, under static loading, radial cracks slow down their growth after reaching a length of one-half the diameter of the hole.

Keywords: brittle fracture; natural stone; fracture criteria; crack.

Вступ. Як відомо вибуховий спосіб видобування блочного облицювального каменю шпуровими методами відноситься до високопродуктивних способів, оскільки енергія що витрачається на відкол каменю передається в динамічному режимі з деяким надлишком, що забезпечує у будь-яких умовах виконання робіт високий рівень надійності. Даний спосіб є незамінним при видобуванні блоків в складних технологічних умовах: висока продуктивність процесу, швидке відпрацювання ділянок з малим числом відокремлених від масиву поверхонь, майже відсутня відмова зарядів при ініціюванні, тощо. Суттєвим недоліком такого способу навантаження шпурів є динаміка процесу, яка спричиняє поширення механічних хвиль стиску та розтягу в глиб масиву, тим самими викликаючи його об'ємне порушення та

руйнування. Статичні способи відокремлення частково вирішують дану проблему, але також не позбавлені певних недоліків. Передусім це значна тривала дія механічних напружень за межами пружних деформацій каменю у випадку з НРЗ (невибухових руйнуючих засобів) та нерівномірність прикладення навантажень у випадку застосування піроклину [1, 2], гідроклину та механічних клинів. В літературі неодноразово зустрічається інформація про відносно невисоку вивченість поведінки каменю в субдинамічних діапазонах руйнування. Професор Жуков С.О. [3] у своїх працях зазначав, що субдинамічний режим забезпечується створенням руйнуючих навантажень з тривалістю дії не більше декілька долей секунд та швидкістю меншою за динамічну. Наближеними до даного способу вважається гідроклиновий спосіб, який діє в досить обмеженому діапазоні навантажень та не може бути використаний для дослідження усього діапазону прикладення навантажень. На теперішній час в науці та промисловості частково реалізований цей спосіб навантаження каменю, однак його резерви далеко ще не вичерпані, оскільки процес руйнування каменю шпуровим методом є нелінійним, характеризується мікро- та макрорівнями руйнування, для яких притаманна своя динаміка та ефективні зусилля прикладення навантажень. Тому дане питання залишається актуальним для детального аналізу та вивчення, що в подальшому дозволить реалізувати ефективні режими та схеми навантажень при яких забезпечуватиметься максимально енергоефективний відкол каменю.

Метою роботи є: встановити залежності та діапазони значень, що описують умови переходу розвитку тріщин руйнування від радіальних до магістральних при руйнуванні каменю шпуровим методом.

Викладення матеріалу досліджень. В технологічному аспекті теорія руйнування блочного облицювального каменю шпуровими способами зводиться до встановлення поля напружень навколо шпурів при вирішенні задачі Ляме для товстостінного циліндру навантаженого рівномірно розподіленою силою з середини. Описується дана залежність такою функцією

$$\sigma_1 = \frac{Pd^2}{4r_i^2}, \quad (1)$$

де P – значення внутрішнього тиски на стінки шпура, МПа; d – діаметр шпура, м; r_i – відстань по радіусу від стінки шпура до i -ї точки в масиві, м.

Недоліком даної теорії є відповідність її лише діапазону напружень, що відповідають пружним деформаціям і повна непридатність для описання поля напружень при втраті цілісності структури.

Взаємозв'язок між прикладеними навантаженнями на стінки шпура та параметрами поля пластичних деформацій (тріщиноутворення) розглянуто в науковій роботі Ткачука К.К. [4], де математично описано взаємозв'язок цих параметрів в діапазонах пластичних деформацій, що виражаються радіусом цієї зони:

$$C = Re^{\frac{P-k}{2K}}, \quad (2)$$

де k – стала гірської породи, що залежить від межі міцності породи про одновісному розтягу; R – радіус шпура, м;

В цьому контексті поняття «пластичність» є умовною, оскільки в крихких породах характеризує зону де розвиваються мікротріщини.

Дана теорія пояснює величину області яку охоплює поле напружень при руйнуванні навколо шпурів і таким чином визначає ефективні відстань між шпурами в ряду. Однак дана теорія не пояснює границі переходу від процесу припинення розвитку радіальних тріщин до початку розвитку магістральних тріщин відриву.

Приймаючи той факт, що в горизонтальному перерізі сили та поле напружень буде однаковим дану задачу розглядатимемо в двовимірному просторі (рис. 1).

Умовою при якій напруження на вістрі радіальних та магістральних тріщин будуть однаковими є саме тим перехідним моментом в якому відбуватиметься зупинка розвитку небажаних радіальних тріщин в глиб масиву та продовження виконання корисної роботи по утворенню магістральних тріщин відриву. Визначати напруження в точці на вістрі тріщини досить складно з причини їх сингулярності і тому оцінку необхідно здійснювати за коефіцієнтами інтенсивності напружень (КІН).

Дана задача вирішується на базі розробленого Дж. Ньюманом удосконаленого методу граничної коллокації в застосуванні двовимірного аналізу напружень на тріщинах [6]. Розв'язок представлений в КІН, що заснований на методі комплексних змінних Мусхелішвілі та модифікованому методі граничної коллокації:

$$K = \frac{2PRF_0}{\sqrt{\pi a}}, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт інтенсивності напружень, МПа $\sqrt{м}$; F_0 – поправочний коефіцієнт, що залежить від співвідношення a/R ; a – довжина тріщини (виміряна від центру шпура), м;

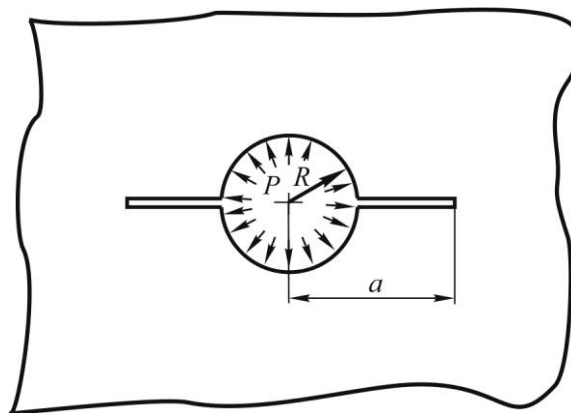


Рис. 1. Круговий отвір в пластині під дією внутрішнього тиску з двома симетричними вирізами (тріщинами)

Основний розрахунок коефіцієнтів інтенсивності напружень було виконано за вказаною залежністю (3) при встановлених значеннях поправочного коефіцієнта F_o , значеннях діаметра шпура $d=40$ мм ($R=20$), відстані між шпурами рівною 200 мм (максимальна довжина розкриття тріщини до повного руйнування становитиме $a=100$ мм), при внутрішньому навантаженні на стінки шпура $P=30$ МПа.

Таблиця 1

Розрахункові параметри КІН для різної довжини тріщин

Довжина тріщини a , м	Співвідношення a/R	Поправочний коефіцієнт F_o [5]	Коефіцієнт інтенсивності напружень K , МПа $\sqrt{м}$
0,0202	1,01	0,1725	0,8219
0,0204	1,02	0,2319	1,0995
0,0208	1,04	0,3334	1,5655
0,0212	1,06	0,3979	1,8506
0,0216	1,08	0,4485	2,0666
0,022	1,1	0,4897	2,2358
0,023	1,15	0,5688	2,5399
0,024	1,2	0,6262	2,7373
0,025	1,25	0,6701	2,8700
0,026	1,3	0,7053	2,9621
0,028	1,4	0,7585	3,0697
0,030	1,5	0,7971	3,1165
0,032	1,6	0,8262	3,1277
0,036	1,8	0,8677	3,0970
0,040	2,0	0,8957	3,0328
0,044	2,2	0,9154	2,9553
0,050	2,5	0,9358	2,8341
0,060	3,0	0,9566	2,6447
0,080	4,0	0,9764	2,3378
0,100	5,0	0,98	2,0987

Значення максимальної довжини тріщини становить 0,032 м (виміряна від стінки шпура до вістря становитиме 0,012, або приблизно половину радіуса шпура), що відповідає кінцевій стадії утворення магістральної тріщини одним шпуром.

Як видно з одержаного графіку (рис. 2) коефіцієнт інтенсивності напружень росте зі збільшенням довжини тріщини до певного значення, тобто це свідчить про те, що швидкість росту тріщин саме такої довжини буде максимальною при постійному значенні напруги і буде переломною точкою затухання розвитку радіальних та продовженням росту магістральних тріщин.

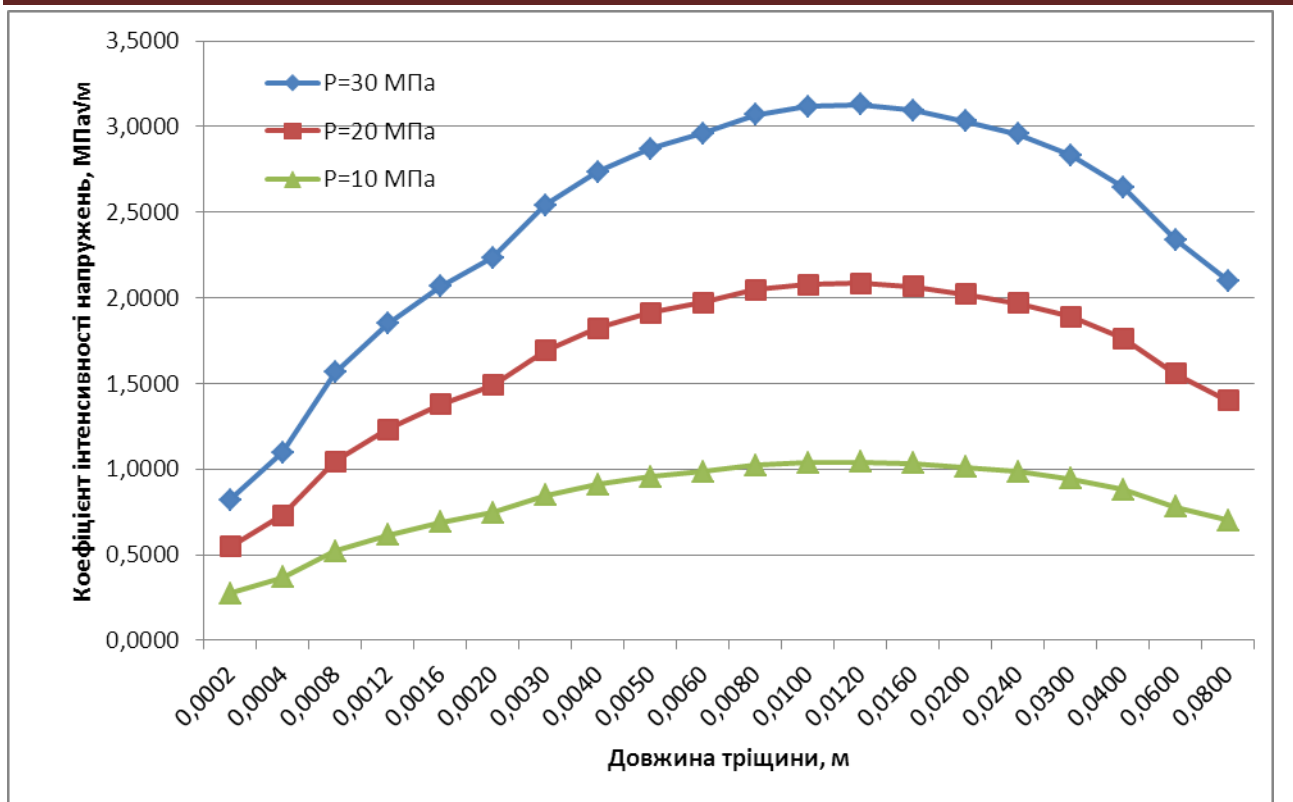


Рис. 2. Графік залежності величини коефіцієнту інтенсивності напружень від довжини радіальної тріщини

Крім того, при прикладенні невисоких значень навантажень на стінки шпура ($P=10$ МПа) графік значно виположується, що вказує на невелику різницю між КІН для усіх довжин тріщин. Тріщини в таких умовах ростуть більш рівномірно, що і пояснює значну їх кількість при застосуванні НРЗ, оскільки при такому режимі навантаження масив значний час перебуває під дією невисоких, але достатніх для руйнування напружень. При збільшенні навантажень з'являється «вибірковість» росту тріщин, тобто ростуть тріщини тільки більшої довжини тоді як нові не з'являються.

Висновки

За результатами проведених аналітичних досліджень було встановлено, що максимальні значення КІН відповідають деякій довжині тріщин, що не перевищує в середньому значення $0,5R$. Це свідчить про той факт, що затухання розвитку радіальних тріщин та продовження розвитку магістральних тріщин буде відбуватися саме після досягнення цієї величини. При реалізації субдинамічних та комбінованих (динамічних режимів руйнування з попереднім напруженням шпурів) недоцільно починати навантаження з невеликих значень, оскільки в таких умовах усі тріщини будуть поширюватися з однаковою швидкістю та до моменту відколу каменю буде наведена значна локальна тріщинуватість навколо шпурів

Посилання

- [1] С. Жуков, "Теоретические основы динамики процесса откола камня шпуровыми методами в карьере", *Сборник научных трудов "Добыча, обработка и применение природного камня"*, №15, с.100-104, 2015.
- [2] С. Жуков, "Расчет рабочего процесса пироклинового раскалывающего устройства", *Разработка рудных месторождений*. Кривой Рог, Вып.64, с. 42-55, 1998.
- [3] С. Жуков, "Дослідження закономірностей відбивання блоків природного каменю зі збереженням його монолітності", *Відомості Академії гірничих наук України*, №2, с.17-18,1997.
- [4] К. Ткачук, "Разработка эффективных методов добычи гранитных блоков", дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук, Кривой Рог, 1995.
- [5] Ю. Мураками, "*Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений*", *Справочное издание*, Москва: Издательство "Мир", Том. 1, 1990.
- [6] J. Newman, "An improved method of collocation for the stress analysis of cracked plates with various shaped boundaries" in *NASA Technical report*, Hampton: NASA, с.1-45, 1971.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2017р.

УДК 622.235

DOI: 10.20535/2079-5688.0.33.101841

О.О. Фролов, д.т.н., проф., **А.В. Хлановський**, студент (КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

ЩОДО ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОГО ДІАМЕТРУ СВЕРДЛОВИННИХ ЗАРЯДІВ НА КАР'ЄРАХ

O.O. Frolov, A.V. Khlanovskyi (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

ON THE CHOICE OF AN EFFECTIVE DIAMETER OF BOREHOLE CHARGES IN QUARRIES

Проведено аналіз існуючих досліджень з вибору ефективного діаметру свердловин, який визначає основні параметри буропідричних робіт на кар'єрах. Встановлено, що при однакових гірничо-геологічних та технологічних умовах розробки родовища наведені розрахункові формули надають різні чисельні значення діаметрів свердловин.

Ключові слова: вибух; діаметр свердловини; скельні породи; вибухова речовина; гірнична маса; кар'єр.