

Литература

1. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. –М.: Недра,1976,-272с.
2. Лобков Н.И. Исследование сдвижения породных слоев над очистными выработками пологих пластов. В сб. Материалы международной научно технической конференции «Проблемы механики горно-металлургического комплекса» г. Днепропетровск, 2002.-с.175-176.

УДК 539.375

**СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИСПЫТАНИЯХ
ОБРАЗЦОВ**

Бачурин Л.Л.; Ревва В.Н.*, д.т.н.; Ляшок Я.А., к.т.н., доц.; Исаенков А.А.
Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ,
* Институт физики горных процессов НАН Украины

Сопrotивляемость горных пород разрушению (трещиностойкость) наиболее адекватно характеризуется величиной эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ), которая является интегральной энергетической характеристикой свойств материала и применима как к статическому, так и динамическому разрушению. В частности, на использовании ЭПЭ основан один из методов прогноза выбороопасности горных пород [1].

Определение вязкости разрушения (трещиностойкости) большинством рекомендованных методик предполагает испытания образцов пород в лабораторных условиях [1—3]. При этом характеристики трещиностойкости определяют преимущественно при неравновесных механических испытаниях и, в случаях, когда необходимы более детальные данные о процессе разрушения, – при равновесных испытаниях. Форма образцов и схема нагружения определяется целевыми характеристиками вязкости разрушения – обычно это критические коэффициенты интенсивности напряжений K_{IC} , K_{IIC} и, реже, K_{IIIC} . Скалярные коэффициенты интенсивности напряжений K_I , K_{II} и K_{III} в соотношении с вязкостью разрушения K_{IC}^2 определяют критерий развития трещины в сложном напряженном состоянии:

$$K_I^2 + K_{II}^2 + \frac{K_{III}^2}{1-\nu} = K_{IC}^2 \quad (1)$$

Поверхностная же энергия твердого тела γ связана с вязкостью разрушения функциональной зависимостью:

$$\gamma = \frac{K_{IC}^2}{2E} (1 - \nu^2), \quad (2)$$

где E – модуль упругости, МПа; ν – коэффициент Пуассона.

Зарубежные методики также основаны на подобных принципах, первоначально разработанных для определения свойств металлов [4]. Соответственно из этой области унаследованы также многие требования к подготовке образцов и проведению экспериментов. Различные подходы к пересчету вязкости разрушения в эффективную поверхностную энергию при стандартных испытаниях, основанные на различных вариациях соотношения (2) рассмотрены в работе [5], где, в частности отмечено, что наиболее стабильные показатели в широком диапазоне обеспечивает соотношение, полученное в [6].

Рассмотрим основные методы испытаний образцов горных пород, применяемые зарубежными исследователями.

Наиболее распространены испытания в режиме нагружения I (чистое растяжение, рис. 1), которые рекомендованы Международным обществом механики горных пород (ISRM, International Society for Rock Mechanics) [7, 8].



Рис. 1. Основные режимы образования трещины

Существует также ряд методов для режима II (чистый сдвиг), но они не отличаются надежностью, в связи со сложностью создания таких условий разрушения для хрупкого материала. Для режима антиплоского сдвига (III) существует весьма мало методов, обусловленных также сложностью его реализации [9, 10].

Для определения вязкости разрушения в I режиме, K_{IC} , предложено много методик испытаний. Среди них, например, SCB или HDB (трехточечный изгиб полудиска) [11], SCB со щелью [12], BD (Бразильский диск) [13], RCR (радиальное нагружение кольца) [14]. Детальный обзор методов испытаний приведен в [15, 16].

ISRM рекомендованы к применению три метода: CB или S3PBI (трехточечный изгиб балки прямоугольного сечения, рис. 2, А), SR (растяжение призмы с боковым надрезом, рис. 2, В) и CCNBD или NBDI (бразильский диск с центральной трещиной по направлению

раскалывания, рис. 2, С). Метод SR позволяет исследовать эффект анизотропии материала, благодаря направленному нагружению.

Метод NBDI введен с 1995 года [8], однако методы вычисления K_{IC} остаются предметом продолжающихся исследований.

Большинство методов определения вязкости разрушения в режиме сдвига, K_{IIC} , были разработаны для металлов и позднее применены для горных пород, а также породоподобных материалов (например, бетоны).

В 1981 г. был предложен метод антисимметричного четырехточечного изгиба (AFPV или 4PB, рис. 3, А) при нагружении в режиме II, либо смешанном режиме I-II [17]. Для более компактных образцов схема реализуется в модифицированном методе (AFPBC, рис. 3, В) [18]. В 1983 г. предложен метод испытаний при чистом сдвиге штампом прямоугольной области образца, ограниченной искусственными трещинами (PTS, рис. 3, С) [19].

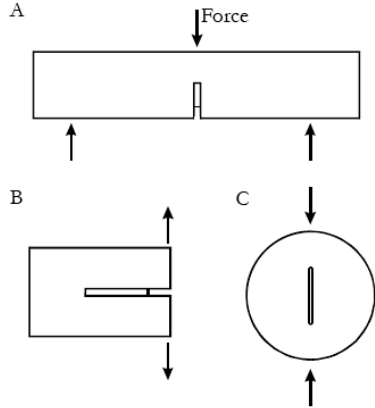


Рис. 2. Методы определения вязкости разрушения при растяжении

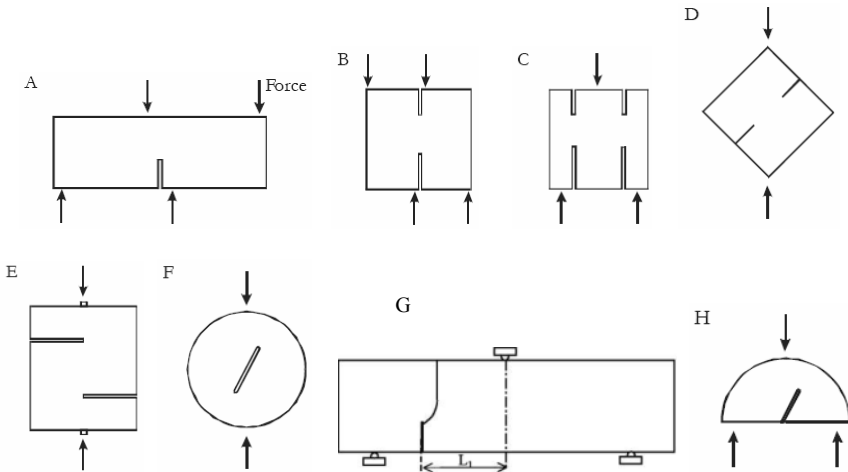


Рис. 3. Методы определения вязкости разрушения при сдвиге и в смешанном режиме

Сдвиговое развитие трещины провоцируется в ряде методов, в которых необходимое напряженно-деформированное состояние образцов обеспечивается специальной ориентировкой щелей относительно направления приложения нагрузки (CSC, рис. 3, D; SBC, рис. 3, E; модифицированный CCNBD, рис. 3, F; АЗРВ, рис. 3, G; ЗРБСД или модифицированный SCB, рис. 3, H) [20—22, 8, 16, 11].

Из перечисленных выше методов и им подобных, в отечественной исследовательской практике используются трех- и четырехточечные схемы изгиба балок (т.н. инженерный метод), бразильский метод с центральной щелью, растяжение образца с боковым надрезом (аналогичен SR), внецентренное сжатие призматического образца с боковыми надрезами (аналогично SBC).

Опыт исследований, как отечественных, так и зарубежных, свидетельствует, что методики испытаний имеют недостатки, связанные с необходимостью тщательной обработки образцов, соблюдения определенных геометрических размеров как образцов, так и щелей. Это ограничивает возможности применения перечисленных методов для оперативного установления характеристик трещиностойкости горных пород. В то же время, зарубежные авторы показывают, что применительно к керновым пробам с достаточной степенью точности возможно использование в изгибных схемах цилиндрических образцов, что упрощает условия эксперимента [23, 24]. Сравнительные лабораторные и численные эксперименты [5] показывают, также, что геометрические параметры щели-инициатора трещины в приложении к горным породам несут незначительный вклад; также следует внимательнее относиться к выбору методики пересчета экспериментальных данных в конечный показатель (вязкость разрушения либо ЭПЭ).

Экспериментальные данные определения характеристик трещиностойкости горных пород при испытаниях образцов с использованием перечисленных методов показывают, что применительно к горным породам существуют возможности смягчения требований к подготовке образцов и выборе метода, наиболее подходящего для исследования той или иной частной характеристики. В то же время, все стандартные методики не относятся к категории экспресс-методов. В этом направлении необходимо проведение дальнейших исследований.

Литература:

1. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В., Рязанцев Н.А. Методические указания по применению способа прогноза выбросоопасности горных пород по их эффективной поверхностной энергии: Препр. / АН УССР. ДонФТИ. – Донецк: 1983. – 20 с.

2. Методика определения вязкости разрушения (трещиностойкости) горных пород. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1990. – 15 с.
3. ГОСТ 29167-91. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – Введ. 01.07.92. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 17 с.
4. ASTM Standards, Vol. 31, May 1969.
5. Summers D.A., Corwine J. and Chen Li-king. A comparison of methods available for the determination of surface energy: Preprint / <http://www.umr.edu/~rockmech/faculty/papers/paper6.pdf>.
6. Srawley, J.E. and Brown, W.F. Jr., Fracture Toughness Testing Methods, in Symposium on Fracture Toughness Testing, ASTM 381, 1965, pp. 133-195.
7. Ouchterlony, F. Suggested methods for determining the fracture toughness of rock / Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1988. – №25. – P. 71-96.
8. Fowell, R.J. Suggested methods for determining Mode I fracture toughness using cracked chevron notched Brazilian disc specimens / Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1995. – № 32. – P. 57-64.
9. Cox, S.J.D. & Scholz, C.H. Rupture Initiation in Shear Fracture of Rocks: An Experimental Study. / J. Geophys. Res. – 1988. – № 93. – P. 3307-3320.
10. Yacoub-Tokatly, Z., Barr, B. & Norris, P. Mode III fracture – a tentative test geometry. In: Shah, S.P., Swartz, S.E. & Barr, B. (eds.). Fracture of Concrete and Rock – recent developments. – Elsevier, University Press, Cambridge, UK. – 1989. – P. 596-604.
11. Chong, K.P. & Kuruppu, M.D. New specimen for fracture toughness determination of rock and other materials. Int. J. Fract. – 1984. – №26. – P. 59-62.
12. Kuruppu, M.D. Fracture toughness measurement using chevron notched semi-circular bend specimen. Int. J. Fract. – 1997. – №86. – L33-L38.
13. Guo, H., Aziz, N.I. & Schmidt, L.C. Rock fracture toughness determination by the Brazilian test. Eng. Geol. – 1993. – №33. – P. 177-188.
14. Shiryayev, A. & Kotkis, A.M. Methods for determining fracture toughness of brittle porous materials. Industrial Laboratory. – 1982. – №48. – P. 917-918.
15. Whittaker, B.N., Singh, R.N. & Sun, G. Rock Fracture Mechanics, Principles, Design and Applications. Developments in Geotechnical Engineering, 71. Elsevier, Amsterdam, 1992.
16. Chang, S.-H., Lee, C.-I. & Jeon, S. Measurement of rock fracture toughness under modes I and II and mixed-mode conditions by using disc-type specimens. Eng. Geol. – 2002. – №66. – P. 79-97.
17. Ingraffea, A.R. Mixed Mode fracture initiation in Indiana limestone and Westerly granite. In: Proc. 22nd US Symp. Rock Mech., Cambridge, MA. – 1981. – P. 186-191.

18. Barr, B. & Derradj, M. Numerical study of a shear (mode II) type test specimen geometry. Eng. Fract. Mech. – 1990. – №35. – P. 171-180.
19. Watkins, J. Fracture toughness test for soil-cement samples in Mode II. Int. J. Fract. – 1983. – №23. – P. 135-138.
20. Izumi, M., Mihashi, H. & Nomura, N. Fracture toughness of concrete for mode II Fracture Toughness and Fracture Energy of Concrete. In Wittmann, F.H. (ed.), Elsevier Science Publishers, Amsterdam. – 1986. – P. 347-354.
21. Rao, Q., Sun, Z., Stephansson, O., Li, C. & Stillborg, B. Shear fracture (Mode II) of brittle rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. – 2003. – №40. – P. 355-375.
22. Atkinson, C., Smelser, R.E. & Sanchez, J. Combined mode fracture via the cracked Brazilian disk test. Int. J. Fract. – 1982. – №18. – P. 279-291.
23. Rechterisz Á., Bojtár I., Gálos M. Determination of stress intensity factors on rock specimens // 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering, 1998. Budapest.
24. Backers, T. Fracture Toughness Determination and Micromechanics of Rock Under Mode I and Mode II Loading / D. Dissertation. Institut für Geowissenschaften. Universität Potsdam. Potsdam, 2004.

УДК 622.831.322

АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ ШАХТ КРАСНОАРМЕЙСКОГО РАЙОНА ДОНБАССА

Исаенков А.А., Ляшок Я.А., к.т.н., доцент, Бачурин Л.Л.
Красноармейский индустриальный институт ДонНТУ

В Красноармейском угленосном районе угольные пласты разрабатываются шахтами трех государственных предприятий «Добропольеуголь», «Красноармейскуголь» и «Селидовуголь», а также Угольными компаниями «Краснолиманская» и «Красноармейская-Западная №1».

На территории района шахты (по газу) имеют категории от 1 до 4 [1]. В табл.1 приведено распределение шахтопластов по газоносности.

Из табл.1 видно, что только в «Селидовуголь» отрабатываются пласты с природной газоносностью до $5 \text{ м}^3/\text{т}$. Остальные шахты разрабатывают пласты с газоносностью от 5 до $25 \text{ м}^3/\text{т}$.

На выемочных участках газообильность изменяется от 0 до $25 \text{ м}^3/\text{т}$ и даже более. В табл.2 приведены сведения о распределении газообильности выемочных участков [2].