

Библиографический список

1. Хайдакин В. И., Томилин В. Б., Пожидаев В. Ф. Обогащение углей в сепараторах с магнетитовой суспензией: Монография. – Луганськ: Изд-во СЧУ им. В. Даля, 2004. –192 с.
2. Тихонов О. Н. Управление флотуруемостью промышленных схем на основе флотометрического анализа руды. // Применение ЭВМ и математических методов в горном деле / Труды 17-го международного симпозиума, Москва, 20 – 25 октября 1980 года. – М.: Недра, 1982. Т.2. – С. 361 – 364.
3. Ариненков Ю. Д. Фундаментальное условие обогащения // Применение ЭВМ и математических методов в горном деле / Труды 17-го международного симпозиума, Москва, 20 – 25 октября 1980 года. – М.: Недра, 1982. Т.2. - С. 364.
4. Ямпольский М. Н. Математическое моделирование технологических процессов обогащения углей. // Применение ЭВМ и математических методов в горном деле / Труды 17-го международного симпозиума, Москва, 20 – 25 октября 1980 года. – М.: Недра, 1982. Т.2. – С. 327 – 335.
5. Верховский И. М. Основы проектирования и оценки процессов обогащения полезных ископаемых. – М.- Л.: Углетехиздат, 1949. –490 с.
6. Arinenkov Yu. Universal model for research both optimization of technological processes and circuits of coal preparation factories on the COMPUTER // 2nd Regional APCOM'97 Symposium. Moscow, Russia - 1997. - Moscow: The Moscow State Mining University Publishing Center, 1997. -P. 209-214.
Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования: Справочник/ Под ред. П.Е.Остапенко. – М.: Недра, 1990, - 264 с.
7. Ариненков Ю. Д. Оценка и прогноз параметров обогащения // Наук. праці Донецького державного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. – Донецьк, 2001. Вип. 35. -С. 10-15.

© Ариненков Ю. Д., 2007

УДК 539.375

БАЧУРИН Л. Л., РЕВВА В. Н., ВАСИЛЕНКО Н. И., МОЛОДЕЦКИЙ А. В.
(Институт физики горных процессов НАН Украины)

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Представлено описание, основные параметры и методика расчета трещиностойкости горных пород с использованием способа разрушения дискообразных образцов центробежными усилиями.

При решении ряда задач, связанных с изучением и прогнозом процессов разрушения горных пород, используются параметры, характеризующие сопротивление пород образованию и развитию в них трещин, в конечном счете – приводящих к разрушению [1, 2]. Одной их наиболее информативных характеристик трещиностойкости является эффективная поверхностная энергия (ЭПЭ), используемая, в частности, в нормативном способе оценки выбросоопасности горных пород [3, п. 6.3.9.5]. В отношении методик, используемых при прогнозе выбросоопасности, одним из факторов эффективности является время, затрачиваемое на выполнение сопутствующих операций, в том числе – на подготовку и исследование образцов.

Анализ существующих способов определения характеристик трещиностойкости горных пород при нагружении образцов [4], показал, что большинство из них малоприменимы в качестве экспресс-методов по причине либо технологической сложности, либо в связи с завышенными (зачастую – недостижимыми) требованиями к качеству образцов и методике нагружения (что в отношении такого изначально дефектного ма-

териала как горная порода представляется неоправданным). С другой стороны, инструментальные и косвенные методы определения характеристик трещиностойкости, не смотря на выигрыш во времени, значительно уступают по своей точности способам, основанным на использовании образцов пород в различных схемах нагружения. Таким образом, разработка способа экспериментального определения ЭПЭ, не требующего специфического лабораторного оборудования и образцов специальной формы, является актуальной задачей.

В условиях подземных горных работ наиболее доступным способом получения образцов из глубины массива является выбуривание керна, что естественным образом предопределяет форму образца. Соответственно, наиболее целесообразным представляется использование образцов цилиндрической либо дисковидной формы. Если речь идет о выбросоопасных породах, в ряде случаев практически нереально получить цельный керн длиной несколько десятков сантиметров, что ограничивает возможность применения разновидностей инженерного метода [5] в приложении к цилиндрическим образцам [6]; таким образом, целесообразно остановиться на рассмотрении образцов в форме дисков.

В одном из наиболее распространенных методов, в частности, описанном в «Методических указаниях...» [5], для определения трещиностойкости образца в I (растяжение) или II (сдвиг) моде нагружения используются плоские диски, изготовленные из керна путем распиливания и последующей шлифовки. В центре образца создается искусственная зародышевая трещина либо надрез, либо отверстие – возможно сплошное, возможно с надпилами для облегчения старта трещины и задания направления. Разрушение диска происходит путем раскалывания его по диаметру пуансонами с малой площадью контакта (существуют также методики, при которых диск раскалывается между двух плоских плит), в результате чего в материале диска формируются растягивающие напряжения, ориентированные перпендикулярно линии приложения нагрузки.

К недостаткам данного метода следует отнести следующее:

- велика вероятность разрушения материала диска в месте контакта с пуансонами;
- поле растягивающих напряжений неоднородно и в существенной степени зависит от качества подготовки диска – необходимо выдерживать строгую параллельность сторон диска; контролируется отсутствие дефектов в месте приложения нагружающих усилий.

С учетом вышесказанного для определения характеристик трещиностойкости образца предлагается следующая принципиальная схема. Используется также диск, изготовленный из кернового материала путем распиливания. В центре диска высверливается сквозное отверстие диаметром 20...24 мм, причем сверление может использоваться для получения данных о его энергоемкости с дальнейшим использованием при оценке ЭПЭ.

В отверстие вставляется матрица с осевым коническим отверстием. Матрица состоит из двух или более сегментов; диаметр матрицы должен быть достаточно близким к диаметру отверстия в диске – чтобы размещаться в нем без люфта.

В матрицу вставляется конический пуансон с профилем, соответствующим параметрам отверстия в ней (диаметр, угол наклона образующей). В результате приложения усилия к пуансону происходит расхождение сегментов матрицы, которые передают нагрузку на стенки отверстия в диске (рис. 1).

Такая схема обеспечит создание растягивающих усилий в образце «напрямую», а не путем перераспределения внутренних напряжений. Кроме того, при использовании, к примеру, *двухсегментной* симметричной матрицы, возможно ориентированное приложение нагрузки. В таком случае также желательно выполнить симметричные либо

односторонние надрезы по диаметру отверстия, что позволит исследовать условия распространения трещины в определенном направлении.

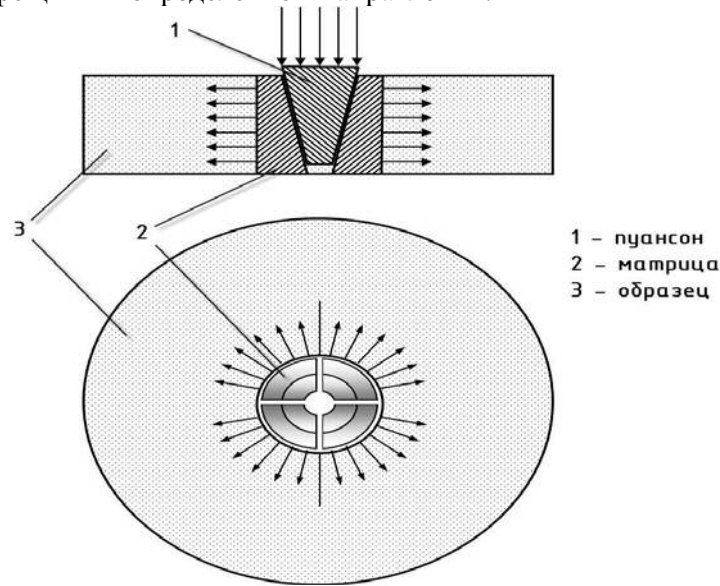


Рис 1. Схема нагружения образца центробежными усилиями.

Соответственно, возможно исследование трещиностойкости с учетом анизотропии материала образца.

С другой стороны, при определении *критических* значений характеристик трещиностойкости породы интерес представляет минимальное значение вязкости разрушения, независимо от направления распространения трещины – т. е. обобщенная оценка трещиностойкости образца.

В таком случае следует использовать матрицу с бóльшим количеством сегментов – для обеспечения неориентированного и как можно более равномерного распределения усилий по периметру отверстия.

Исходя из предположения о близости напряженно-деформированного состояния в образце при использовании многосегментной матрицы к напряженно-деформированному состоянию образца, находящегося под действием внутреннего гидростатического давления, была рассмотрена в численной постановке задача нахождения коэффициента интенсивности напряжения (КИН) в вершине радиальной трещины, развивающейся в толстостенном кольце (рис. 2).

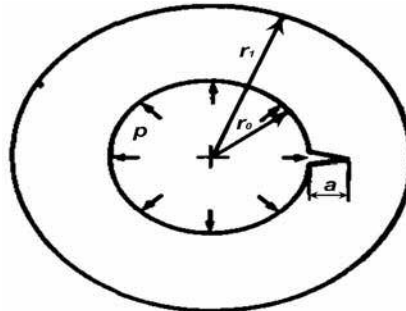


Рис. 2. Расчетная схема. Кольцо с внутренней краевой радиальной трещиной под действием внутреннего давления

Согласно [7] для данной схемы КИН определяется по формуле:

$$K_I = F_I p \sqrt{\pi a},$$

где p – давление на внутреннем периметре кольца, Па; a – глубина краевой радиальной трещины, м; F_I – поправочная функция геометрических характеристик образца – r_1/r_0 и a/r_0 .

Имеющиеся табличные и графические данные для определения F_I охватывают диапазон $\beta = r_1/r_0$ от 1,25 до 2,5. Данный диапазон соотношения внешнего и внутреннего диаметров использовать нецелесообразно, поскольку изменчивость поправочной функции F_I в таком случае очень велика и существенно влияет на погрешность вычислений. Кроме того, во избежание преждевременного разрушения образцов, необходимо обеспечить как можно большее значение β .

Моделирование нагружения образца по схеме рис. 2 с геометрическим параметром β до 5 с использованием метода конечных элементов позволило уточнить значения поправочной функции F_I . Аппроксимирующее выражение имеет вид:

$$F_I = ha(\beta) \cdot \alpha^2 + hb(\beta) \cdot \alpha + 1,$$

где $ha(\beta) = 30,353 \cdot \beta^{-5,382} + 0,494$, $hb(\beta) = 21,9 \cdot \beta^{-6,634} - 0,772$, $\alpha = \frac{a}{r_0}$, $\beta = \frac{r_1}{r_0}$.

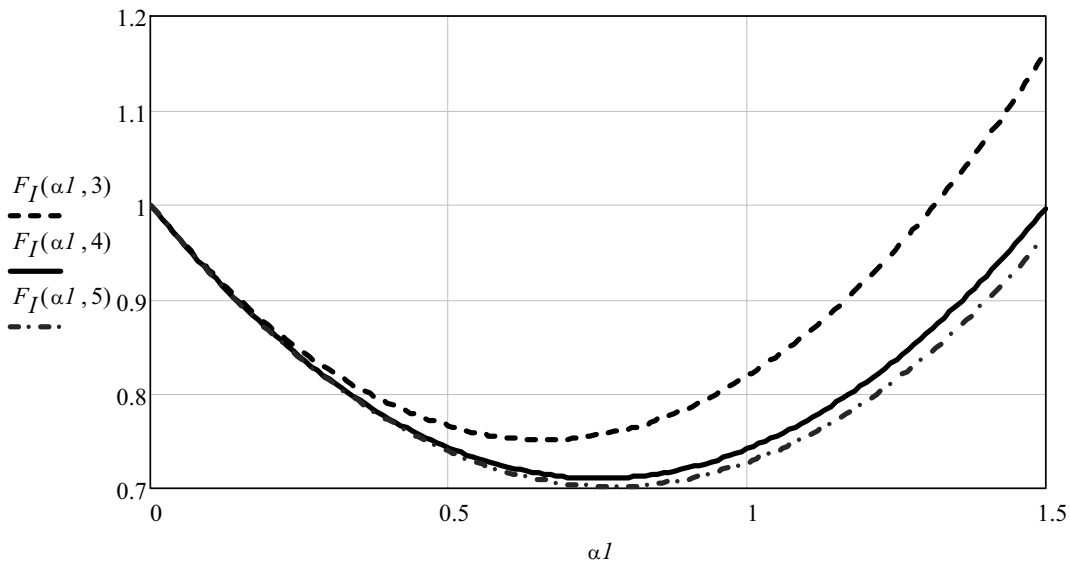


Рис. 3. Изменение поправочной функции F_I при значениях $\beta = 3, 4$ и 5 в зависимости от параметра α .

Заметно, что с увеличением β функция F_I стабилизируется (рис. 3), поэтому для снижения влияния геометрического фактора на точность результатов необходимо, чтобы соотношение диаметров диска и отверстия в нем было не менее 3,5; соответственно, с учетом технологических ограничений на диаметр отверстия (не менее 18...20 мм), диаметр кернов для изготовления дисков должен быть не менее 63...70 мм, что вполне соответствует существующей практике кернавого бурения в подземных условиях.

Целью метода, в частности, является определение эффективной поверхностной энергии γ , которая может быть выражена через вязкость разрушения K_{Ic} следующим образом:

$$\gamma = K_{Ic}^2 \frac{1-\nu^2}{2E},$$

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

Для определения вязкости разрушения, необходимо зафиксировать нагрузку N_c на пуансоне в момент старта трещины (фактически – в момент разрушения образца). Давление p , передаваемое матрицей на внутреннюю поверхность отверстия можно определить в предположении, что оно будет распределено по периметру равномерно (схема приведена на рис. 4).

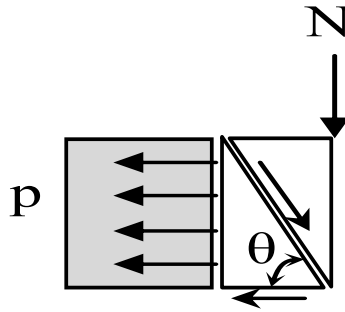


Рис. 4. Схема для определения внутреннего давления (половина)

$$p = \frac{N \operatorname{tg} \theta}{2\pi r_0 b},$$

где N – усилие на пуансоне, Н; θ – угол у основания конуса (штифта), град.; r_0 – внутренний радиус, м; b – толщина диска, м.

В целях упрощения принято, что трение между штифтом и матрицей, а также между матрицей и основанием близко к нулю. Для практического же применения потребуется калибровка.

Результирующее выражение для критического коэффициента интенсивности напряжений (вязкости разрушения):

$$K_{Ic} = F_I \frac{N_c \operatorname{tg} \theta}{2r_0 b} \sqrt{\frac{a}{\pi}},$$

где N_c – разрушающее усилие, Н.

Соответственно, ЭПЭ определяется из выражения:

$$\gamma = \frac{a}{8\pi E} (1-\nu^2) \left(F_I \frac{N_c \operatorname{tg} \theta}{r_0 b} \right)^2.$$

Выводы: Для предлагаемого способа определения трещиностойкости горных пород получены основные расчетные соотношения. Выполненные расчеты показали также, что параметры образцов, предполагаемые к использованию в рамках данного способа, соответствуют условиям кернового бурения. Исходя из известных значений ЭПЭ для горных пород можно также оценить силовые характеристики прибора, с помощью которого можно будет реализовать предлагаемую схему нагружения образцов.

Перспективы: выполненные расчеты потребовали ряда упрощений, поэтому окончательные параметры и соотношения могут быть получены лишь на основе экспериментальных данных, для чего необходимо провести лабораторные исследования для

калибровки параметров применительно к конкретным горным породам. Кроме того, следует также изучить влияние толщины образцов, параллельности плоскостей диска и количества сегментов матрицы на оцениваемые характеристики.

Библиографический список

1. **Черепанов Г. П.** Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
2. **Черепанов Г. П.** Механика разрушения горных пород в процессе бурения. – М.: Недра, 1987. – 308 с.
3. **Бачурин Л. Л., Ревва В. Н.** Применимость существующих способов определения трещиностойкости горных пород в качестве экспресс-методов // Вісті донецького гірничого інституту. – 2006. – № 1. – С. 24—30.
4. **Правила** ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: СОУ 10.1.00174088.011-2005: Стандарт Мінвуглепрому України. – К.: 2005.
5. **Методические** указания по применению способа прогноза выбросоопасности горных пород по их эффективной поверхностной энергии / А.Д.Алексеев, Н.В. Недодаев, Н.А.Рязанцев // Препринт Дон-ФТИ-83-20-75 – Донецк, 1983. – 20 с.
6. **Rechtorisz Á., Bojtár I., Gálos M.** Determination of stress intensity factors on rock specimens // 2nd Int. PhD Symposium in Civil Engineering, 1998. Budapest.
7. **Справочник** по коэффициентам интенсивности напряжений: В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 448 с.

© Бачурин Л. Л., Ревва В. Н., Василенко Н. И., Молодецкий А. В., 2007

УДК 622.831:338.48

БОНДАРЕНКО А.Д., РУБИНСКИЙ А.А., ЛЕВЧЕНКО Л.М. (МакНИИ)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ БОРЬБЫ С ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

*К 100-летию Государственного
Макеевского научно-исследовательского
института по безопасности работ
в горной промышленности (МакНИИ)*

Рассмотрены этапы разработки способов безопасного ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям, в частности, опасных по внезапным выбросам угля и газа. Показана их эффективность.

Строительство подземных сооружений и шахт, добыча угля, солей, золота и других полезных ископаемых подземным способом осложняется внезапными выбросами угля, соли, песчаники и газа [1,2,3], впервые произошли внезапные выбросы изверженных пород – порфиринов и углекислого газа, кварцев (далее ГДЯ).

Все они обладают поражающими факторами механического и газового характера, которые в отдельных случаях являются причиной травматизма людей.

Поэтому повышение безопасности разработки угольных месторождений, содержащих угольные пласты, опасные по внезапным выбросам угля и газа и повышение безопасности при проведении выработок по выбросоопасным породам одна из главных задач горного производства [5]. Уровень безопасности, технико-экономических показателей эффективности, может быть определен как в натуральных показателях (например, снижение травматизма от внезапных выбросов или уменьшения количества интенсивности выбросов) так и в стоимостных показателях (уменьшении затрат на выполне-