МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАСТЯЖЕНИЕ МЕТОДОМ СЖАТИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПО ОБРАЗУЮЩЕЙ

Ленинград
1969

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГОРНОЙ ГЕОМЕХАНИКИ И МАРКШЕЙДЕРСКОГО ДЕЛА
ВНИМИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЮ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАСТЯЖЕНИЕ МЕТОДОМ СЖАТИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПО ОБРАЗУЮЩЕЙ

Ленинград
1969

А Н Н О Т А Ц И Я

В настоящих "Указаниях" описывается косвенный метод определения прочности горных пород на растяжение путем сжатия цилиндрических образцов по образующей. Приводится анализ расчетных схем и формул для определения предела прочности пород на растяжение описываемым методом, предлагаются рекомендации по методике и технике проведения испытаний, а также по обработке полученных результатов.

"Указания" рекомендуются для использования в научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных организациях угольной промышленности.

"Указания" составлены сотрудниками лаборатории механических испытаний ВНИМИ канд.техн.наук Ю.М.Карташовым, инженерами М.М.Михеевой и М.А.Малык.

Научное руководство осуществлялось заведующим лабораторией механических испытаний канд.техн.наук Б.В.Матвеевым.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных прочностных характеристик горных пород является прочность на одноосное растяжение. Применяющиеся в настоящее время методы испытаний на растяжение можно разделить на две группы:

1) методы, основанные на прямом растяжении образцов горных пород;

2) косвенные методы испытаний.

Методы первой группы позволяют получать достоверные показатели прочности пород при условии создания в образце одноосного и однородного напряженного состояния. Однако, обеспечение этих условий, как справедливо отмечают многие исследователи, встречает большие технические трудности. Основными недостатками при испытаниях пород на растяжение методами первой группы являются следующие:

1) трудность точного центрирования нагрузки относительно образца и несоосность приложенной к образцу нагрузки, вызывающей изгиб образца при испытаниях;

2) возникновение на контактах образца с захватами, (а так же в местах изменения сечения образца) концентрации напряжений. Кроме этих основных недостатков, связанных с методикой проведения самих испытаний, необходимо отметить и трудность (а в некоторых случаях и невозможность) изготовления образцов пород, значительных по величине и достаточно точных по размерам, а иногда и сложных по конфигурации.

Указанные недостатки удалось преодолеть, применив разработанный ВНИИМИ метод испытаний /10/, при котором образец скрепляется легкоплавким сплавом с двумя захватами, движущимися вдоль цилиндрической направляющей прибора (тип прибора ПР-2). Испытания на этом приборе образцов пород с наклеенными датчиками сопротивлений показали, что распределение напряжений в средней части образца близко к однородному; концентрация напряжений в местах соединения образца с легкоплавким сплавом значи-

тельно меньше, чем при других прямых методах испытаний; возможность перекоса образца при испытаниях исключена. Величину прочности породы на растяжение, полученную при испытаниях в приборе ПР-2, можно считать наиболее точной и достоверной характеристикой. Однако, недостатком этого метода является сложность аппаратуры, большая трудоемкость и малая производительность испытаний. Поэтому нельзя рекомендовать этот метод для массовых испытаний. Наиболее целесообразно выборочное использование точного метода, как эталона прочности, в сочетании с упрощенными (косвенными) методами испытаний.

Среди косвенных методов испытаний большое распространение в практике лабораторий, занимающихся исследованием свойств пород, получили такие методы, как метод сосных пуансонов /11/, метод ВУГИ (сжатие пуансоном тонкого диска породы, опертого по краям) /17/ и методы раскалывания, разрабатываемые и внедряемые ИГД им.А.А.Скочинского /5-7, 9,16, 18/, ВНИМИ /1,4,8,14/ и рядом других организаций. Подробный анализ отечественных и зарубежных работ, посвященных изучению прочности материалов на растяжение методами раскалывания, приведен в вышеупомянутых работах ИГД им.А.А.Скочинского и использован в настоящих указаниях.

Настоящая работа посвящена описанию метода испытания пород на растяжение путем сжатия цилиндрических образцов нагрузкой, приложенной по образующей. Метод относится к косвенным, основанным на раскалывании образцов, и к настоящему времени широко применяется как в СССР, так и за рубежом. Метод сжатия цилиндров в радиальном направлении в литературе часто называется также "бразильским", по названию страны, в которой он был впервые описан. x)

---

x) Исследования горных пород методом сжатия цилиндрических образцов по образующей впервые проводились в 1933-35 гг. в СССР /5/, однако, вследствие запоздания соответствующей публикации, приоритет в разработке метода принадлежит бразильским исследователям.

Необходимо отметить, что данный метод используется для определения прочности на растяжение как горных пород, так и других хрупких материалов: бетон, гипс, чугун, пластмассы, стекло и т.д. Для отдельных материалов описываемый метод принят как стандартный (ГОСТ 4800-59 "Бетон, гидротехнические методы испытаний бетона").

Международным бюро по механике горных пород (Прага, 1963) рекомендован в качестве стандарта проект методики испытаний горных пород на растяжение методом сжатия цилиндрических образцов по образующей /24/. Проектом предусматривается раздавливание цилиндрических образцов двумя диаметрально противоположными силами; диаметр и длина образцов - 40-45 мм. Способ передачи нагрузки - через плиты пресса. Скорость приложения нагрузки - 1-5 кг/см^2 в 1 сек. Прочность на растяжение подсчитывается по формуле (1).

1. Состояние вопроса

Испытание горных пород на растяжение методом сжатия цилиндрических образцов по образующей впервые описали бразильские исследователи Карнейро и Барцеллос /21/. Схема испытаний по данному методу изображена на рис.1, а.

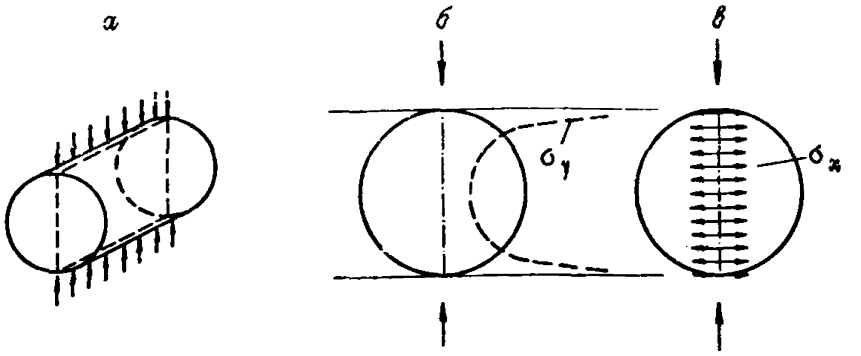


Рис.1.

Цилиндрический образец горной породы нагружается равномерно распределенными силами, приложенными к диаметрально противоположным образующим образца и нормальными к его оси. Метод основан на известном решении задачи теории упругости - задачи Герца - /23/, из которого следует, что в плоскости действия внешних сил растягивающие напряжения, перпендикулярные к этой плоскости, имеют постоянную величину и равномерно распределены по диаметру образца (рис.1в). Величина этих растягивающих напряжений σ_x равна

$$\sigma_x = \frac{2P_u}{\pi d l},$$

где P_u - усилие, равномерно распределенное по образующей цилиндрического образца;
d - диаметр образца;
l - длина образца.

В плоскости загружения, кроме растягивающих напряжений, возникают действующие в вертикальном направлении сжимающие напряжения (рис.1,б). У точек приложения нагрузки эти напряжения (теоретически) бесконечно велики, а с увеличением расстояния от точек нагружения быстро падают и имеют минимальные значения $\sigma_y = 3\sigma_x$ в центре образца (таким образом, в центре образца напряжения сжатия в три раза превышают растягивающие напряжения). При увеличении усилий, действующих по образующей образца, возрастают растягивающие напряжения, перпендикулярные к плоскости действия этих усилий, и при достижении ими предельных значений образец разрушается (происходит отрыв двух частей образца от растягивающих напряжений по поверхности, совпадающей с плоскостью действия внешних сил).

Предел прочности породы на растяжение σ_p определяется по формуле, основанной на теории Герца:

$$\sigma_p = \frac{2P}{\pi d l}, \qquad (1)$$

где P - усилие, при котором образец разрушается;
d и l - соответственно диаметр и длина образца.

Формулу (1) можно представить в следующем виде:

$$\sigma_p = K \frac{P}{F}, \qquad (2)$$

где $K = \frac{2}{\pi} = 0{,}637$ по теории Герца;

$F = d \cdot l$ – площадь сечения плоскости разрыва.

Процесс разрушения образца состоит из двух стадий: образование зоны местного разрушения (уплотненной раздробленной породы, находящейся в условиях объемного напряженного состояния) вблизи контактов материала образца с давильными плитами и последующее полное (объемное) разрушение образца на две части /7/. Объемное разрушение (вторая стадия) начинается, как считают одни исследователи, в центре образца /7, 16, 20, 22/, а другие – на некотором удалении от центра /19/. Интересно отметить, что экспериментальные данные, доказывающие, что разрушение начинается в центральной части образца /16/, противоречат, как показано в работе /20/, теории Мора в области растягивающих напряжений и еще раз служат подтверждением того, что общей огибающей в этой области (в осях "$\sigma - \tau$") не существует /13/.

Несмотря на то, что метод сжатия образцов по образующей основан на точном математическом описании напряженного состояния образца, подтвержденном оптико-поляризационным методом, среди исследователей нет единого мнения о формуле, по которой необходимо расчитывать прочность пород (или других хрупких материалов) на растяжение.

Основные причины различных подходов к интерпретации полученных результатов испытаний заключаются в следующем:

1) Отличие реальной картины напряженно-деформированного состояния в образцах горных пород от теоретических данных о распределении напряжений и деформаций;

2) Большое разнообразие условий проведения испытаний;

3) Различные расчетные схемы, принимаемые разными исследователями при математическом анализе напряженного состояния образца;

4) Отсутствие (в большинстве случаев) сопоставлений получаемых результатов с данными испытаний на прямое растяжение в условиях одноосного и однородного напряженного состояния образца. Первая причина детально разобрана в работах /7, 16/, авторы которых справедливо указывают, что уравнение теории упругости, полученное при решении задачи Герца, должно быть строго справедливо только для идеально упругих материалов при условии совершенно равномерно распределенной вдоль образующей нагрузки. Реальные горные породы не всегда подчиняются при нагружении закону Гука, а нагрузка распределяется по некоторой площадке смятия (при испытании образца между плоскими плитами пресса) или же происходит вдавливание в породу нагрузочных элементов (при испытании образца между клиньями, стержнями и т.п.). Эти обстоятельства приводят к отклонению реального процесса деформирования и разрушения образцов пород при испытаниях от расчетной идеализированной схемы.

Условия проведения испытаний по данным различных исследователей настолько отличаются друг от друга, что в настоящее время нет возможности сопоставлять результаты испытаний образцов (даже при расчетах прочности на растяжение по одной формуле). Существуют три основные схемы передачи усилия при испытаниях /1-7, 9,15-16, 18-27/:

а) передача усилия на образец через жесткие плоские плиты пресса или специальных нагрузочных устройств;

б) передача усилия на образец через различные податливые прокладки (резина, дерево, фанера, пробка, алюминий, дюраль, фибра и т.п.);

в) передача усилия на образец через жесткие металлические стержни или клинья.

Изменение контактных условий ведет, естественно, к изменению напряженно-деформированного состояния образ-

ка и к изменению предельной разрушающей нагрузки. Как отмечается в работах /16,19/, разрушающая нагрузка увеличивается при испытании образца с прокладками, а при сжатии между шлифованными плитами больше, чем при испытании между металлическими стержнями.

Размеры образцов, чистота обработки их боковой поверхности, условия контактного прилегания давильных приспособлений к образцу и многие другие элементы техники испытаний до настоящего времени не стандартизированы и изменяются в больших пределах. Нет также во многих публикациях ссылок на то, как проводились испытания: с применением центрирующих и шарнирных устройств или без них.

Вышеизложенные обстоятельства привели к тому, что многие исследователи отказываются от формулы (1) и предлагают свои формулы, основанные на различных представлениях о механизме разрушения образца.

Верховский А.В. и Романовская В.В. предложили для определения прочности на растяжение следующую формулу /2/

$$\sigma_p = \frac{P}{F}\left(1 + 0{,}01\,\frac{P}{F}\right). \qquad (3)$$

Размерность отношения $\frac{P}{F}$ в этой формуле - кг/мм^2. Для металлов и сплавов значение $K = (1+0{,}01\,\frac{P}{F})$ лежит в пределах от 1,05 до 1,50; для горных пород значение $\frac{P}{F}$ можно принимать от 0,1 кг/мм^2 до 2,0 кг/мм^2, поэтому K близко к единице.

Данилевским Г.Б. проведены исследования по теоретическому и экспериментальному обоснованию определения прочности пород на растяжение описываемым способом /3/. Предложенная им формула имеет вид:

$$\sigma_p = K\,\frac{P}{F} \approx 0{,}85\,\frac{P}{F}\,. \qquad (4)$$

Коэффициент K в этой формуле переменный и зависит от параметров породного клина, образуемого при разрушении у мест контакта образца с нажимными стержнями

и раскалывающего образец. Диапазон изменения значения K по формуле (4) - от 0,78 до 1,00 при среднем значении K=0,85.

Кунтыш М.Ф., решив задачу плоскодеформированного состояния образца, предлагает учитывать в расчетной формуле коэффициент Пуассона μ /9/;

$$\sigma_p = \frac{2}{\pi} \frac{P}{F} (1+\mu)(1+2\mu) . \qquad (5)$$

В этой формуле значение $K = \frac{2}{\pi}(1+\mu)(1+2\mu)$ изменяется в довольно широких пределах: от 0,637 при μ =0 до 1,91 при μ =0,5.

Для практических целей, учитывая, что коэффициент Пуассона большинства горных пород находится в пределах от 0,10 до 0,25, Кунтыш М.Ф. предлагает принимать K=1 и использовать для расчета предела прочности на растяжение следующее простое выражение:

$$\sigma = \frac{P}{F} . \qquad (6)$$

Чирков С.Е. провел опыты по эмпирическому определению коэффициента K /13/ и установил, что при раскалывании призм, пластин и кубов различных пород (т.е. при исследовании схемы испытаний, отличающейся от рассматриваемой) коэффициент $K \approx 1$. Выражение (6) для определения прочности на растяжение (K=1) предлагает (в качестве условной меры прочности) использовать Койфман М.И. /8/.

С другой стороны, многие исследователи проводят обработку результатов испытаний по формуле (1), обосновывая экспериментально или теоретически пригодность основной формулы (1,4,14,19-21,24,26/.

В табл.1 представлен анализ расчетных формул и значение коэффициента K по данным различных исследователей.

Недостатком большинства из рассмотренных исследо-

Таблица I

Сопоставление расчетных формул, применяющихся для определения прочности пород на растяжение при испытании методом скатия образцов по образующей

№ № п.п.	Формула	Размерность	Номер формулы по тексту	Значение коэффициента K ($\sigma_p = K\frac{P}{F}$)			
				минимальное	среднее	максимальное	рекомендуемое
I	$\sigma_p = \frac{2}{\pi}\frac{P}{F}$	кг/см^2	I	K = 0,637	K = 0,637	K=0,637	K= 0,637
2	$\sigma_p = \frac{P}{F}(I+0,0I\frac{P}{F})$	кг/мм^2	3*	K=I,00I ≈ I,00 при $\frac{P}{F}$=0,I кг/мм^2	K=I,0I ≈ I,00 при $\frac{P}{F}$=I кг/мм^2	K=I,02≈I,00 при $\frac{P}{F}$=2кг/мм^2	K= I,00
3	$\sigma_p = K\frac{P}{F}$	кг/см^2	4	K = 0,78	K = 0,85	K= I,00	K= 0,85
4	$\sigma_p = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{P}{F}(1+\mu)(1+2\mu)$	кг/см^2	5	K = 0,637 при $\mu = 0$	K = I,I9 при μ=0,25	K= I,9I при μ =0,5	K= I,00
5	$\sigma_p = \frac{P}{F}$	кг/см^2	6	K = I,00	K = I,00	K= I,00	K= I,00

ваний является отсутствие сопоставительных испытаний с методом прямого растяжения, причем некоторые исследователи отмечают "сложность создания однородного напряженного состояния в опытах на прямое растяжение и недостоверность получаемых из таких опытов показателей сопротивления разрыву хрупко разрушающихся материалов" /16/. Если можно согласиться с первой частью данной формулировки (сложность), то вторая часть (недостоверность) является спорной. При любых косвенных методах определения того или иного показателя физико-механических свойств пород необходимо обязательное сопоставление результатов с точными прямыми методами испытаний (эталонные методы), как бы сложны они не были. В противном случае нет возможности объективной оценки той или иной расчетной схемы и предлагаемой формулы.

Сопоставление результатов испытаний (точным и косвенным методом) проводились в работах /3,4,16,20,27/. Многими авторами было отмечено, что прочность, получаемая при прямом растяжении, меньше, чем прочность, полу-

ченная методом сжатия образцов по образующей (при вычислении прочности на растяжение по формуле (1). Следует отметить, что если расчитывать прочность по формулам (3), (4), (5) и (6), то получится еще большее расхождение между экспериментальными данными (увеличение значения предела прочности на 30-50%).

При сопоставлении методов прямого растяжения и сжатия образца по образующей необходимо иметь ввиду, что в первом случае невозможно предугадать место разрыва, так как образец при этом разрушается в наиболее "опасном" месте, по плоскости наибольшего естественного ослабления случайными дефектами породы, а во втором случае - по заранее выбранной, "вынужденной" плоскости, обусловленной положением сжимаемого цилиндра относительно давильных плит или стержней. Это, естественно, должно привести к завышению показателей прочности на растяжение. Отклонение от прочности при прямом растяжении будет тем больше, чем более неоднородна порода, чем больше в ней трещин, прослойков и т.д.

2. Обоснование методики и техники проведения испытаний

Рекомендуемой настоящими указаниями методикой испытаний обоснованно нормируются все положения, существенно влияющие на результаты испытаний:

размеры образцов (диаметр и отношение длины образца к его диаметру), чистота обработки их боковой поверхности, способ передачи давления на образец и выбор формулы для расчета прочности на растяжение. Это обоснование базируется на сопоставлении полученных результатов испытаний с результатами испытаний на одноосное растяжение.

Учитывая работу /24/, целесообразно применять для испытаний цилиндрические образцы пород диаметром 40-45мм.

Основываясь на результатах работ /1,15/ и специально проведенных ВНИМИ исследований, отношение длины образца к его диаметру необходимо принимать равным 0,8-1,0.

При таком соотношении прочностные показатели практически не меняются, а коэффициент вариации оказывается минимальным.

Для обоснования способа передачи давления, а также для экспериментальной проверки предложенных различными авторами расчетных формул, во ВНИМИ проведены сопоставительные испытания образцов горных пород как методом прямого растяжения (в камере ПР-2), так и методом сжатия образцов по образующей /4/. Испытания были проведены на мраморе (в двух направлениях), песчанике и сланце. Боковая поверхность образцов перед испытанием шлифовались. При испытаниях применялись три схемы нагружения: сжатие образца между шлифованными плитами (рис.2,б), сжатие образца между двумя металлическими

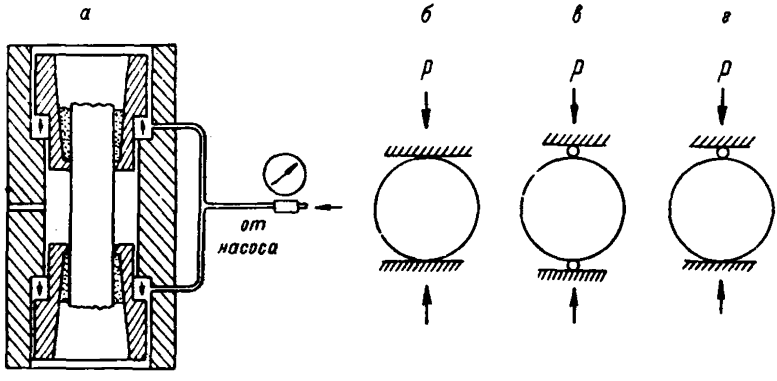


Рис.2.

стержнями диаметром 3 мм (рис.2,в), сжатие образца между шлифованной плитой и стержнем диаметром 3мм (рис.2,г). Схема испытаний на одноосное растяжение представлена на рис.2,а. Определение прочности на растяжение при сжатии цилиндров по образующей производилось по формуле $\sigma_p = 0{,}637 \frac{P}{F}$

Результаты исследований приведены в табл.2.

Анализ результатов испытаний показывает следующее. Прочность на растяжение при испытании образцов по схеме "в" (рис.2) практически совпадает с прочностью образцов, испытанных по схеме "г". Поэтому, для упрощения техники испытаний, целесообразно проводить испытания по схеме "г", т.е. с одним стержнем и шлифованной плитой. Сопоставительные испытания показали, что прочность на растяжение, определенная при испытании по схемам "в" и "г", практически мало отличается от прочности при одноосном растяжении (схема "а"), а результаты испытаний по схеме "б" превышают прочность на одноосное растяжение на 30% (для мрамора). Таким образом, при сжатии образцов между шлифованными плитами прочность получается выше, чем при испытании по схемам "в" и "г", и при одноосном растяжении.

Были испытаны также образцы пород с нешлифованной боковой поверхностью. На боковой поверхности таких образцов делались путем шлифовки на планшайбе, плоские фаски шириной от 2 до 5 мм в местах контакта образца с давильными устройствами. Результаты испытаний (при сжатии образца между шлифованной плитой и стержнем) в обоих случаях (шлифованная и нешлифованная боковая поверхность образца с фасками), практически мало отличались. При испытании образцов с нешлифованной боковой поверхностью и без фасок прочность уменьшалась на 5-20%.

Испытания были проведены в специальном приборе, сконструированном на базе аксиатора для соосных пуансонов (прибор типа БУ-11, позволяющий проводить испытания на сжатие и растяжение методом соосных пуансонов, на изгиб по ВУГИ и на растяжение путем сжатия образцов по образующей). Схема прибора изображена на рис.3. Резиновые вкладыши прибора служат для центровки образца, шарнирное устройство обеспечивает плотное, без зазоров и поперечных смещений, прилегание давильного стержня к боковой поверхности образца.

С учетом результатов данных исследований, а также вышеупомянутых работ других авторов, обеспечивающих

Таблица 2

Результаты сопоставительных испытаний горных пород на растяжение

№ пп	Метод испытания	Схема испытания	Кол-во испытанных образцов	Предел прочности на одноосное растяжение, кг/см^2	Коэффициент вариации %	Относительная прочность (отнесенная к прочности на одноосное растяжение)
	1. МРАМОР (растягивающие напряжения перпендикулярны напластованию)					
I	Одноосное растяжение в камере ПР-2	а	6	47,8	7,0	I,00
2	Метод сжатия образцов по образующей	г	6	50,0	4,7	I,05
	2. МРАМОР (растягивающие напряжения параллельны напластованию)					
I	Одноосное растяжение в камере ПР-2	а	9	73,7	5,6	I,00
2	Метод сжатия образцов по образующей	б	6	95,0	6,3	I,29
		в	7	79,0	4,8	I,07
		г	6	80,0	5,3	I,08
	3. ПЕСЧАНИК					
I	Одноосное растяжение в камере ПР-2	а	I2	I4,7	7,9	I,00
2	Метод сжатия образцов по образующей	г	7	I8,3	26,0	I,25
	4. СЛАНЕЦ					
I	Одноосное растяжение в камере ПР-2	а	I0	53,8	I6,3	I,00
2	Метод сжатия образцов по образующей	г	7	6I,0	4,8	I,I3

основные элементы техники и испытаний, ниже приведены инструктивные положения о проведении испытаний рассматриваемым способом.

3. Рекомендуемые методика и техника испытаний

3.1 Метод сжатия цилиндрических образцов по образующей является косвенным методом определения прочности горных пород на растяжение.

3.2. Для испытаний изготовляются образцы горных пород цилиндрической формы. Рекомендуемые размеры образцов:

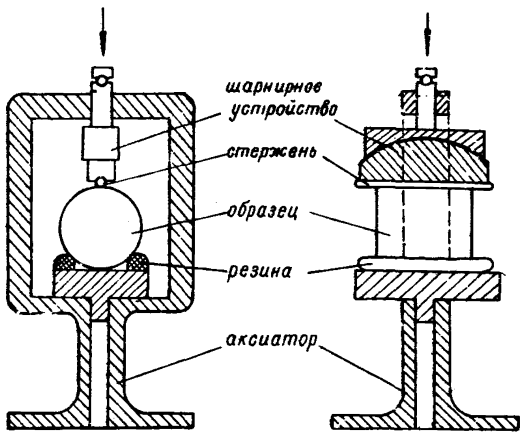


Рис.3.

диаметр – 43 мм, длина – (0,6–1,0) диаметра образца.

Допускаются к испытаниям также образцы и других диаметров (от 30 мм до 80 мм) в тех случаях, когда изготовить образцы оптимального диаметра не представляется возможным.

При слоистости сложения породы ось ее образцов должна быть необходимым образом ориентирована относительно направления наслоений.

Технология изготовления образцов должна предусматривать следующие допуски точности их изготовления и чистоту внешней поверхности:

а) Чистота боковой поверхности – не 2 классу ГОСТ 2789-51.

При массовых испытаниях рекомендуется не обрабатывать боковую поверхность образца после его выбуривания, а делать на двух противоположных боковых сторонах образца (по образующей) на планшайбе две плоские

фаски, шириной 3–5 мм, к которым будет прикладываться усилие. Разница в диаметрах у обоих торцов не должна превышать 1–2% от средней величины диаметра.

б) Чистота поверхности торцов – не стандартизируется. Рекомендуется отрезка торцов алмазной пилой, без последующей их шлифовки. При массовых испытаниях, (особенно в полевых и шахтных условиях, а также в геологоразведочных партиях) рекомендуется по предложению проф. М.И.Кейфмана изготовлять образцы из кернов, раскалывая их в поперечном направлении клиньями, стержнями и т.д. на куски полуправильной цилиндрической формы с соотношением длины образца к его диаметру от 0,6 до 1,0. Торцевые поверхности при этом получаются колотыми.

(Такое раскалывание, если оно проводится на испытательном прессе, может также служить оценкой прочности на растяжение в направлении, перпендикулярном оси образца). Разница в длине сторон раскалываемых образцов не должна превышать 10–15% от средней длины образца.

Разница в длине сторон образцов, подготовленных к испытанию с помощью алмазной пилы (отрезка торцов), не должна превышать 1–3% от средней длины образца.

3.3. Рекомендуемая схема приложения нагрузки–сдавливание образца по образующей между шлифованной плитой и одним металлическим стержнем диаметром 3 мм. Необходимо предусматривать шарнирное устройство при передаче давления через стержень, для того чтобы последний самоустанавливался и без перекосов и поперечного смещения прилегал к боковой поверхности образца (фаске).

Подготовленный для испытания образец устанавливается в испытательный прибор (например, типа БУ–11). При этом направление стержня, передающего нагрузку, должно совпадать с направлением образующей; образец устанавливается в центре относительно шарнира.

Контактные линии (контакты образца с плитой и стержнем) должны располагаться на противоположных сторонах образца (по его диаметру в плоскости намечаемого разрушения), с отклонением от диаметра не более 0,5–1,0 мм (в

противном случае необходимо рассчитывать площадь сечения образца после разрушения прямым измерением).

3.4. Испытание на растяжение проводится на любом пригодном для этого испытательном прессе. Скорость нагружения должна быть установлена такой, чтобы время нагружения (до разрушения) составляло 20–40 секунд. После разрушения образца фиксируется нагрузка P, соответствующая разрушению, и проверяются обломки образца: учитываются результаты испытаний только таких образцов, которые разрушаются в диаметральном направлении. Если в наличии имеется мало породного материала, рекомендуется проводить вторичное испытание уже испытанного образца: при этом обе половинки образца складываются и образец снова сжимается по образующей в направлении, перпендикулярном к поверхности первого раскола; однако, необходимо иметь ввиду, что прочностные показатели при этом оказываются заниженными на 10–20%.

3.5. Прочность на растяжение σ_p подсчитывается по формуле:

$$\sigma_p = \frac{2}{\pi} \frac{P}{dl} = 0{,}637 \frac{P}{F},$$

где P – разрушающая нагрузка при испытании, кг;

F – площадь сечения плоскости разрыва равная произведению диаметра образца d на длину образца l, $см^2$.

Площадь сечения плоскости разрыва при испытании образцов с неровными торцами (например, полученными методами раскалывания) может измеряться планиметром или путем подсчета площади обведенного контура разрыва на миллиметровой бумаге.

3.6 Число образцов выбирается, исходя из требуемой надежности определения прочности породы:

Число образцов шт.	2	3	4	5	6	8	10
Надежность %	81	77	86	91	94	97,5	99,2

ЛИТЕРАТУРА

1. Бублик Ф.П., Колесников А.Е. Новый метод определения прочности угля на разрыв. ЦНИИТЭИ угля - "Технология и экономика угледобычи", № 4, 1963.

2. Верховский А.В., Романовская В.В. - Определение предела прочности при растяжении методом сжатия цилиндрических образцов. Заводская лаборатория, № 11, 1951.

3. Даниловский Г.Б. - Исследование раскалывания как метода определения прочности каменных горных пород. Диссертация на соискание ученой степени канд.техн.наук,Харьков, ХАДИ, 1963.

4. Карташов Ю.М., Малых М.А. - Сопоставительные испытания горных пород на растяжение. Сб.ВНИМИ, № 70, 1968.

5. Койфман М.И. - Скоростной комплексный метод определения механических свойств горных пород. В сб."Механические свойства горных пород". Изд. АН СССР, М., 1963.

6. Койфман М.И. - Простой метод определения прочности горных пород в кернах разведочного бурения. Сб. "Физико-механические свойства горных пород", научн. сообщения № 37, изд. "Недра", М., 1967.

7. Койфман М.И. - Задача Герца и теории дробления. (Там же)

8. Кузнецов С.Т., Воронин И.Н. - Испытание горных пород на растяжение методом раскалывания. ЦНИИТЭИ угля "Технология и экономика угледобычи", № 92, 1964.

9. Кунтыш М.Ф. - Исследование методов определения основных физико-механических характеристик горных пород, используемых при решении задач горного давления. Диссертация на соискание ученой степени канд.

техн.наук, ИГД им.А.А.Скочинского, М, 1964.

10. Матвеев Б.В. - Методические указания по испытанию прочности горных пород на одноосное растяжение. Изд.ВНИМИ, Л., 1964.

11. Матвеев Б.В. - Руководство по механическим испытаниям горных пород методом соосных пуансонов. Изд.ВНИМИ, Л., 1960.

12. Матвеев Б.В. - О необходимом числе образцов для испытания свойств горных пород. Сб.ВНИМИ, № 60, 1966.

13. Матвеев Б.В. - О паспортах прочности горных пород. "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", изд. "Наука", Новосибирск, № 6, 1966.

14. Матвеев Б.В. - Временные требования по составу и методам механических испытаний горных пород при разведке месторождений полезных ископаемых для проектирования подземной разработки. Изд.ВНИМИ, Л., 1966.

15. Никелин В.И., Нарышкин Г.А. - К определению предела прочности горных пород при растяжении по методу раскалывания кернов. В сб. "Вопросы горного давления", вып.22, Новосибирск, Сибирское отд. АН СССР, 1964.

16. Протодьяконов М.М., Кейфман М.И., Чирков С.Е., Куныш М.Ф., Тедер Р.М. - Паспорта прочности горных пород и методы их определения. Изд. "Наука", М., 1964.

17. Руппенейт К.В. - Механические свойства горных пород. М., Углетехиздат, 1953.

18. Чирков С.Е. - Исследование влияния масштабного фактора на прочность углей в условиях различных напряженных состояний. Диссертация на соискание ученой степени канд.техн.наук ИГД им.А.А.Скочинского, М., 1965.

19. A d d i n a l l E., H a c k e t t P. Rock in tension. A problem in strata control", Colliery Guard.", 208, N.5372, pp.446-452, 1964

20. B e n g t B. B r o m s. Tensile strength of rock materials. "Contributions to the First Congress of the International society of Rock Mechanics, Lisbon, 1966" , Swedish geotechnical Institute, Stockholm, 1967.

21. C a r n e i r o F., B a r c e l l o s A. Resistance a la Traction des Betons. Inst. National de Technologia. Rio de Janeiro, 1949.

22. C o l b a c k P. S. B. An analysis of brittle fracture initiation and propagation in the brazilian test. "Proc. of the First Congr. Internat. Soc. Rock Mech. Lisbon, 1966, Vol.1", Lisboa, 1966, 385-391.

23. H e r t z H. Über die Verteilung der Druckkräfte in einem elastischen Kreiszylinder. "Zeitschr. für Mathemat. u. Physik", B.28, 1883, 125

24. Hou u s k a J a r o m i r, P o l a k V a c l a v. Normalizace zkousky pevnosti hornin v tahu. "Inzen. stavby, 1964, N.2, 63-65

25. С а а к и К а д з у р а, Т а к а т а А к и р а. Application of cylinder-splitting test on rock specimens. "Сайко то хоон, Mining and Safety", (японск. резюме англ.), IO,№2, I964.

26. Л е с а в р Ж а н. Испытание, имеющее будущее: бразильская проба. IX международный конгресс по прикладной механике , т. УШ , I957.

27. P f o r r H e r b e r t, R o s e t z G ö t z-P e t e r Kritischer Vergleich von Methoden zur Zugfestigkeitsbestimmung an Gesteinen. "Bergakademie", 1965, 17, N.2, 522-528

Печатный цех ВНИМИ Заказ № 70 Тираж 500 22/XII-69
М- 57626 Объем 1,5 п.л. Цена 10 к.

gost.e-ecolog.ru