

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ И СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ СДВИГУ

Розроблена методика встановлення коефіцієнтів внутрішнього тертя і опірності крихких матеріалів зсуву, яка заснована на експериментальному визначенні залежності руйнуючого зсуваючого зусилля від нормального стискуючого навантаження. Визначені величини опірності і коефіцієнтів внутрішнього тертя для піщано-цементного матеріалу, габбро, мармуру і граніту. Проведено порівняння отриманих результатів із результатами інших робіт.

DETERMINATION OF THE INTERNAL FRICTION FACTORS AND SHIFT RESISTIBILITY OF BRITTLE MATERIALS

The technique for determination of internal friction factors and shift resistibility of brittle materials, grounded on experimental determination of dependence of destroying shifting force from normal compressive loading is developed. Magnitudes of resistibility and internal friction factors for a sandy - cement material, a gabbro, a marble and granite are defined. Comparison of the received results with results of other works is carried out.

Одной из важнейших задач современной геомеханики является обеспечение безопасного состояния подземных сооружений, выработок различного назначения, откосов различного происхождения. В связи с этим возникают задачи установления параметров предельного состояния горных пород, многие из которых обладают хрупким характером разрушения. Эти параметры определяют, как правило, при одноосном раздавливании их образцов.

Возможность более адекватного описания разрушения хрупких материалов представляется при учете влияния внутреннего трения материала на величину его предельного сопротивления сдвигу. Так в работе [1] показано, что при увеличении значения коэффициента внутреннего трения до 1,7 величина отношения значений прочности хрупких материалов на сжатие и растяжение возрастает до 22. Проверка этих результатов требует экспериментального установления, как параметров предельного состояния нагружаемых тел, так и влияния условий нагружения на проявление трения в формировании их напряженно-деформированного состояния. Для этого необходимо знание величин сопротивляемости исследуемого материала сдвигу и его коэффициента внутреннего трения.

Несмотря на то, что значения коэффициентов внутреннего трения материалов сегодня можно найти лишь в немногочисленной литературе, приведенные в ней данные достаточно противоречивы [2, 3]. Объяснить это можно различием применяемых методик, некоторые из которых дают погрешность до 70%, и условий определения этих величин (значение нормальной нагрузки, однородность нормальных напряжений по плоскости сдвига и т.д.). Поэтому для корректной постановки и проверки решения фундаментальных задач была разработана методика определения сопротивляемости сдвигу и коэффициентов внутреннего трения хрупких материалов. Суть методики состоит в оп-

ределении зависимости разрушающего сдвигающего усилия от нормальной сжимающей нагрузки.

Образец 1 (рис. 1), изготовленный из исследуемого материала в виде прямоугольного параллелепипеда с выступами 2 на одной из его граней, которые выполнены также в виде прямоугольных параллелепипедов, располагают между плоскими поверхностями двух стальных плит пресса так, что первая плита пресса 3 соприкасается с одним из двух выступов, а вторая плита 4 - с противоположной ему гранью образца. Боковые грани образца 1 соприкасаются с упорами 5, жестко закрепленными относительно второй плиты пресса 4. Через упругий элемент 6 с тензометрическим мостом осуществляют одноосное сжатие образца с выступом силой P до значения P_{01} . Вращая винт 7 в опоре 8, жестко закрепленной относительно второй плиты 4, через упругий элемент 9 с тензометрическим мостом воздействуют на выступ 2 образца 1 сдвигающей нагрузкой F , ортогональной силе P .

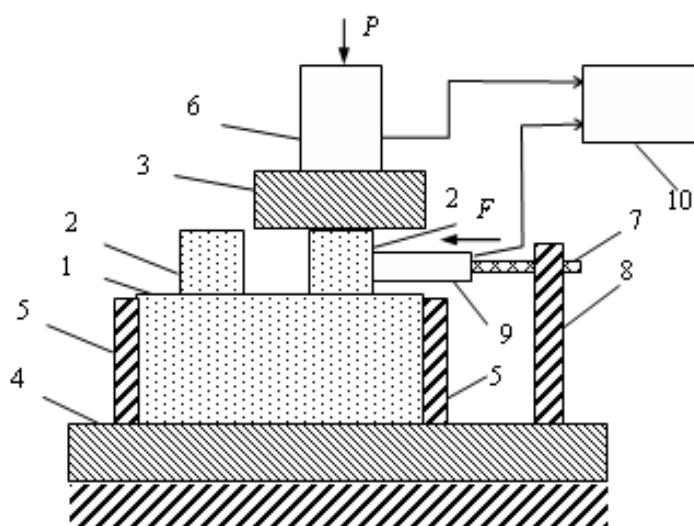


Рис. 1 – Схема определения зависимости разрушающего сдвигающего усилия $F(t)$ от нормальной сжимающей нагрузки $P(t)$

Сигналы от тензометрических мостов упругих элементов 6 и 9 подают в регистрирующее устройство 10, например, аналогово-цифровой преобразователь (АДА-1292А) и устройство памяти компьютера. При этом результат регистрации изменяющихся во времени t величин $P(t)$ и $F(t)$ отображается в реальном времени на мониторе компьютера в виде графиков (рис.2). Сдвигающую нагрузку $F(t)$ увеличивают вращением винта 7 до значения $F_{c1}(t_{c1})$, при котором происходит разрушение образца 1, состоящее в сдвиге первого выступа 2 относительно образца 1, и которое определяют по излому кривой $F(t)$. Затем определяют соответствующее этому моменту времени t_{c1} значение силы $P_{c1}(t_{c1})$, которое превышает первоначальную силу сжатия P_{01} за счет действия на образец 1 нагрузки $F_{c1}(t_{c1})$. После этого устанавливают значения $F_{c2}(t_{c2})$ и $P_{c2}(t_{c2})$, соответствующие разрушению образца 1, состоящего в сдвиге второго выступа 2 относительно образца 1.

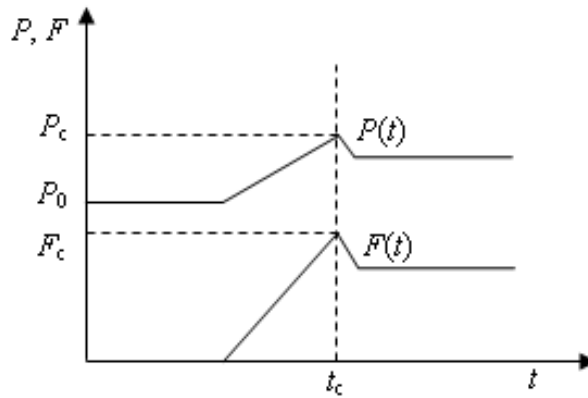


Рис. 2 – Изменение во времени t сжимающей $P(t)$ и сдвигающей $F(t)$ нагрузок

Для выбранной схемы нагружения с учетом законов Кулона и Кулона-Амонтона можно записать

$$F(t_c) = F_0 + \mu P(t_c) + kP(t_c),$$

где $F_0 = \tau_0 \times s$, τ_0 – сцепление материала образца; s – площадь predetermined поверхности разрушения образца при сдвиге; μ – коэффициент его внутреннего трения; k – коэффициент внешнего трения образца по плите 3.

Тогда

$$\mu = \frac{F_{c2}(t_{c2}) - F_{c1}(t_{c1})}{P_{c2}(t_{c2}) - P_{c1}(t_{c1})} - k. \quad (1)$$

Разработанная методика повышает достоверность и точность определения сцепления и коэффициента внутреннего трения материалов за счет устранения возможности реализации разрушения типа нормального отрыва при разрушении образца сдвигающей силой. (Такое разрушение может происходить вследствие приложения к выступу образца сдвигающей силы, смещенной относительно predetermined плоскости разрушения.)

Для снижения влияния значения k на величину коэффициента внутреннего трения и уменьшения погрешности его определения между образцом и плитой пресса 3 устанавливалась фторопластовая пластина толщиной 0,1 мм. Это позволило снизить величину k до 0,08 и тем самым существенно уменьшить влияние внешнего трения на формирование напряженно-деформированного состояния образца.

Результаты определения с помощью разработанной методики зависимостей сопротивляемости материалов сдвигу τ от нормального напряжения σ для песчано-цементного материала (ПЦМ), габбро, мрамора и гранита представлены на рис. 3. При этом классы обработки поверхностей материалов составляли: стальные плиты пресса – 10, песчано-цементный материал – 10, габбро – 5...6, мрамор – 5...6.

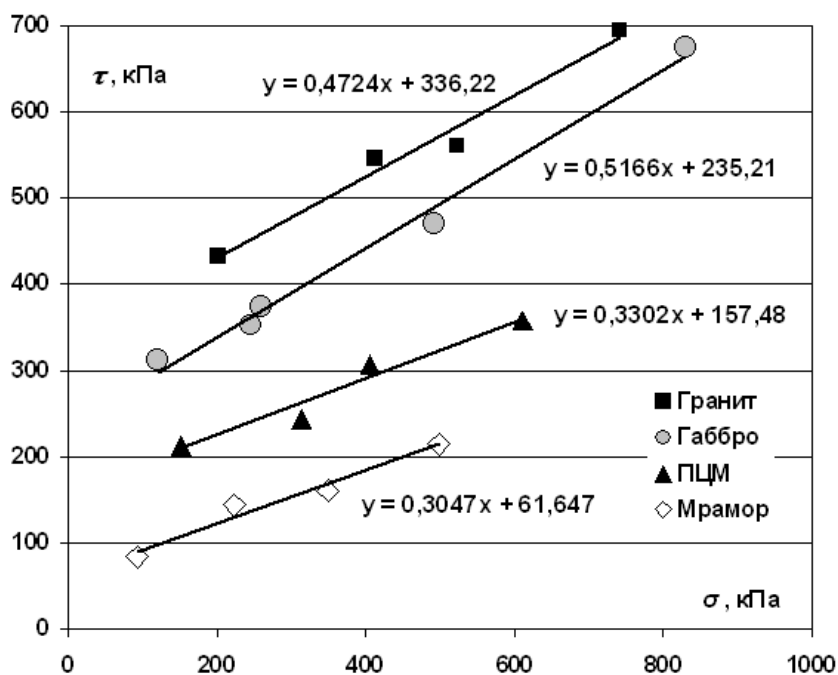


Рис. 3 – Результаты определения зависимостей сопротивления материалов сдвигу τ от нормального напряжения σ

На рис. 3 представлены также линии тренда для соответствующих зависимостей и их уравнения в виде $y = bx + y_0$, где, согласно (1), в качестве b следует понимать сумму коэффициентов внутреннего μ и внешнего трения k , а в качестве y_0 - величину сцепления τ_0 соответствующего материала. Величина достоверности аппроксимации R^2 при этом была не хуже 0,95. Из этого следует, что для всех рассмотренных материалов в исследуемом диапазоне нагрузок зависимости разрушающего сдвигающего усилия от нормальной сжимающей нагрузки можно считать линейными. Незначительность разброса полученных данных относительно аппроксимирующей линии по сравнению с приведенными в [2] свидетельствует о корректности разработанной методики.

Значения коэффициентов внутреннего трения некоторых материалов, взятые из различных источников и полученные в настоящей работе, приведены в таблице 1. Из их сравнения следует, во-первых, существенное различие между данными, приведенными в [2] и [3], и, во-вторых, значительное их превышение над результатами, полученных в настоящей работе. Последнее можно объяснить тем, что предлагаемая методика устраняет возможность реализации разрушения типа нормального отрыва при разрушении образца сдвигающей силой по predeterminedной поверхности. Образование при сдвиге разрывных трещин вне predeterminedной поверхности требует больших энергетических затрат, следовательно, больших значений сдвигающей силы, что в свою очередь приводит к завышению действительных значений коэффициентов внутреннего трения.

Таблица 1 – Значения коэффициентов внутреннего трения по данным:
1 - [2]; 2 - [3]; 3 – настоящей работы.

Горная порода	1	2	3
Кварцевые порфиры, сиениты, грано-диорит-порфиры, вторичные кварциты, песчаники	0,70 - 0,75	0,73 - 0,75	0,40
Известняк, метаморфические кристаллические сланцы, порфиры, серпентиниты, алевролиты	0,60 - 0,65	0,73 - 0,75	0,23
Выветрелые и каолинизированные гранодиориты, сиениты, диориты, гранодиоритпорфиры	0,58 - 0,60	0,73 - 0,75	-
Филлиты, глинистые сланцы, габбро-диабазы, аргиллиты	0,49 - 0,51	0,62 - 0,73	0,44
Песчано-цементный материал	-	-	0,26

Следует отметить, что применение предлагаемой методики позволяет определить и предельные характеристики хрупких материалов, и их коэффициенты внутреннего трения в одних условиях и практически на одном оборудовании, что в значительной степени повышает достоверность установления влияния внутреннего трения на прочностные свойства материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Л.М. Предельные кривые разрушения хрупких трещиноватых материалов при плосконапряженном состоянии : материалы XV междунар. науч. школы им. акад. С.А. Христиановича / Л.М. Васильев, Л.Т. Холявченко, К.В. Цепков // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках. – Симферополь: Таврич. нац. ун-т, 2005. – С. 48-52.
2. Барон, Л.И. Характеристики трения горных пород / Л.И. Барон. – М.: Наука, 1967. – 208 с.
3. Порпевский, А.К. Основы физики горных пород, геомеханики и управления состоянием массива / А.К. Порпевский, Г.А. Катков. – М.: Московский гос. открытый ун-т, 2004. – 120 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.М. Васильевим 18.08.09.