

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/63

**ДЕФОРМИРОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ АЛЕВРОЛИТА С НАРУШЕНИЯМИ
СПЛОШНОСТИ ПРИ ТРЕХСТАДИЙНОМ ПРЯМОМ СДВИГЕ**

Усольцева О.М., Цой П.А., Семенов В.Н.

Институт горного дела им. Н.А. Чинакала» СО РАН, Новосибирск

Геологическая среда является существенно неоднородной, состоит из блоков, пластов, слоев, линз, нарушений сплошности разной формы и размера, залегающих в земной коре горизонтально, наклонно или в виде сложных складок, характеризуется большой сложностью структуры. Сдвиг по нарушению сплошности является одним из основных причин разрушения подземных тоннелей и горных выработок, стволов скважин, бортовых откосов глубоких карьеров. Понимание сдвигового поведения позволяет оптимальным образом проектировать горнотехнические сооружения, и прогнозировать геомеханическое состояние массивов горных пород.

Целью данного лабораторного исследования являлось определение характера деформирования образцов из аргиллита с нарушениями сплошности при нагружении в условиях чистого сдвига. За основу методики лабораторного определения сопротивления сдвигу нарушений сплошности горных пород взята обновленная версия стандарта ISRM ASTM D 5607–08, опубликованная в [1, 2]. В общем случае, методика включает в себе требования к проведению испытаний по определению сопротивления прямому сдвигу образцов горных пород, как сплошных, имеющих невысокую прочность, так и содержащих нарушения сплошности, при двух случаях граничных условий: постоянная нормальная (нагрузка, действующая в направлении, перпендикулярном сдвиговому усилию) нагрузка (Constant normal load – *CNL*) и постоянная нормальная жесткость (Constant normal stiffness – *CNS*) (жесткость в направлении, перпендикулярном действию сдвигового усилия). При этом, нарушения сплошности могут быть открытыми или почти закрытыми, и должны проявлять ничтожно слабую прочность на разрыв. Для проведения экспериментов был разработан и создан стенд, подробно описанный в [3], с возможностью выполнения сдвигового нагружения по стандарту ASTM D 5607 на базе сервогидравлического одноосного пресса Instron 8802.

Испытание проводилось при граничном условии *CNL*, которое подходит для ситуаций, когда окружающая горная порода позволяет нарушению сплошности свободно сдвигаться без ограничений дилатансии, в результате чего сохраняется постоянное нормальное напряжение во время процесса сдвига. Испытание на сдвиг при граничном условии *CNL* имитирует реальные условия скольжения блоков в горном массиве на открытых скальных склонах.

Программа нагружения задавалась следующим образом: 1) предварительно прикладывалась нормальная нагрузка, перпендикулярная усилию сдвига, со скоростью 0,01 МПа/с до достижения заданного значения нормального напряжения, и в дальнейшем она удерживалась постоянной для каждой стадии нагружения; 2) после стабилизации нормальных смещений от приложенной нормальной нагрузки прикладывалось сдвиговое усилие. Смещение сдвига задавалось с постоянной скоростью, и увеличивалось до тех пор, пока не будет достигнуто предельное или остаточное касательное напряжение. Скорость сдвига составляла 0,2 мм/мин. Проводились непрерывные измерения сдвигового и нормального усилий, сдвигового и нормального перемещений с частотой 10 Гц.

Образцы с нарушениями сплошности из аргиллита подготавливали путем предварительного раскалывания на 2 части бразильским методом. Отбирались образцы с удовлетворительно сопрягающимися нарушениями сплошности (с отсутствием выбоин). Для поверхностей этих образцов были определены значения коэффициента шероховатости поверхности *JRC* по формуле [4] путем оцифровки поверхностей с помощью лазерного 3-D сканера Rangevision PRO 5M с шагом сканирования 1 мм.

Для испытаний были скомплектованы 3 следующие группы образцов: 1) $JRC_1=0,9; 1,4; 1,9$ (среднее значение $JRC_1=1,4$); 2) $JRC_2=4,9; 5,7; 6,4$ (среднее значение $JRC_1=5,7$); 3) $JRC_3=10,9; 12,1; 14,6$ (среднее значение $JRC_1=12,5$). Было проведено 9 испытаний при

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

сдвиговом деформировании образцов при граничном условии CNL с тремя стадиями нагружения при значениях нормального сжимающего напряжения: 0,3; 0,6 и 0,9 МПа.

Несмотря на разброс свойств, характерный для природных образцов горных пород вследствие их неоднородности, были выявлены следующие закономерности деформационного процесса:

1. С увеличением коэффициента шероховатости возрастает величина сцепления: при $JRC_1=1,4$ сцепление составляет $C_0=0,022$ МПа, при $JRC_1=5,7$ – $C_0=0,091$ МПа, при $JRC_1=12,5$ – $C_0=0,304$ МПа; для угла внутреннего трения зафиксированы незначительные изменения.

2. Для образцов с невысокими средними значениями коэффициента шероховатости $JRC_1=1,2$ на зависимости «касательное напряжение–сдвиговое перемещение» в окрестности предельного касательного напряжения наблюдается горизонтальный участок на каждой стадии сдвига. Значения предельного касательного напряжения составляют на первой стадии $0,21\div 0,22$ МПа и на последующих 2-х стадиях возрастают примерно на такую же величину ($1,8\div 0,2$ МПа).

3. Для образцов со значениями коэффициента шероховатости $JRC_2=5,7$ в большинстве случаях невозможно было определить пиковое касательное напряжение, т.к. после окончания линейной стадии деформирования напряжение продолжало возрастать. Величина прироста касательного напряжения до «пикового» значения (или до точки излома кривой) на различных стадиях сдвига составляла от 60 до 110% от величины предельного напряжения на 1-й стадии. Сдвиговые перемещения на каждой стадии нагружения были существенно меньше, чем при $JRC_1=1,4$.

4. Для образцов со значениями коэффициента шероховатости $JRC_3=12,5$ на зависимости «касательное напряжение–сдвиговое перемещение» наблюдается существенно нестабильный характер сдвигового деформирования, пилообразный вид кривой, резкие падения напряжения на постпиковом участке; при этом, характер кривых «касательное напряжение–сдвиговое перемещение» на разных стадиях сдвига имеет значительные различия, что, видимо, связано с механизмом разрушения пиков шероховатости; величина прироста предельного напряжения на 2-й и 3-й стадии относительно значения на 1-й стадии имеет значительный разброс – до 400%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00915) на оборудовании ЦКП геомеханических, геофизических и геодинамических измерений СО РАН.

1. ASTM D 5607 – 9502. Standard Test Method for Performing Laboratory Direct Shear Strength Tests of Rock Specimens Under Constant Normal Force.
2. Muralha J., Grasselli G., Tatone B., Blumel M., Yujing P., Chryssanthakis J.. ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2014, Vol. 47, Iss.1, pp. 291–302.
3. Усольцева О. М., Цой П. А., Семенов В. Н. Экспериментальное исследование деформационно-прочностных свойств горных пород с нарушениями сплошности в условиях прямого сдвига // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2018: 14 междунар. науч. конгр. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: междунар. науч. конф., Новосибирск, 23–27 апр. 2018 г. : сб. материалов : в 6 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 6. – С. 227-236. DOI: 10.18303/2618-981X-2018-6-227-236.
4. Tse R., Cruden D. Estimating joint roughness coefficients. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. 1979, Volume 16, Issue 5, P. 303-307.