

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАЗРЫВА В ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ СЕЙСМОГЕННОГО РАЗЛОМА МЕТРОВОГО МАСШТАБА С НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ

Д. В. Павлов*, И. С. Харламов

Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского Российской академии наук, Москва, Россия

**E-mail: dpav123@mail.ru*

Будут представлены результаты экспериментов, проводящихся в настоящее время в ИДГ РАН на установке двухосного нагружения РАМА. Будет рассмотрен процесс зарождения и распространения разрыва в модели разлома размером $75 \times 12 \times 0.4$ см, состоящей из пяти чередующихся участков, заполненных материалами со свойствами скоростного упрочнения и разупрочнения. В качестве материала со свойством скоростного упрочнения используется смесь бентонитовой глины, песка и цемента; материал со свойством скоростного разупрочнения представлен смесью гранитной крошки, песка и цемента. Регистрация параметров движения в разных частотных диапазонах ведётся лазерными датчиками смещения (0–5 кГц), акселерометрами (1–15 кГц) и датчиками акустической эмиссии (20–80 кГц).

Цель настоящих экспериментов – исследовать, как смещается точка старта разрыва в зависимости от положения участков со свойством скоростного разупрочнения в модели разлома. Предполагается, что разрыв стартует на границе такого участка. Именно к такому результату привели ранее проводившиеся эксперименты на этой же установке. В ранее проведенной серии модель тектонического зацепа (асперити) имела площадь 40×10 см и располагалась в центре рабочего интерфейса. Остальная часть рабочего интерфейса была заполнена вкладышем, выполненным из листа тефлона толщиной 4 мм. Увеличение площади модели тектонического зацепа до площади всего рабочего интерфейса (75×12 см) позволяет поднять разрешение локации разрыва и использовать модель с неоднородной структурой.

Работа выполняется в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (тема 125012700824-4).

PROPAGATION OF RUPTURE IN A LABORATORY MODEL OF SEISMOGENIC FAULT OF A METER SCALE WITH A HETEROGENEOUS STRUCTURE

D. V. Pavlov*, I. S. Kharlamov

Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: dpav123@mail.ru*

The results of experiments currently being conducted in IDG RAS at the RAMA biaxial loading setup will be presented. The process of rupture initiation and propagation will be studied at a $75 \times 12 \times 0.4$ cm fault model consisting of five alternating sections filled with materials exhibiting velocity strengthening and velocity weakening properties. A mixture of bentonite clay, sand, and cement is used as the velocity strengthening material, while a mixture of granite crumbs, sand, and cement serves as the velocity weakening material. Parameters of motion are recorded in different frequency ranges using laser displacement sensors (0–5 kHz), accelerometers (1–15 kHz), and acoustic emission sensors (20–80 kHz).

The goal of these experiments is to determine how the rupture initiation point displaces depending on the position of the velocity weakening sections in the fault model. It is assumed that the rupture originates precisely at the boundary of such a section. This is the result obtained in previous experiments conducted at the same setup. In the previous series, the model of tectonic asperity had an area of 40×10 cm and was located in the center of the working interface. The rest of the working interface area was filled with a teflon plate 4 mm thick. Increasing the area of the tectonic asperity model to the area of the entire working interface (75×12 cm) will improve the resolution of rupture location and allow to use a model with a heterogeneous structure.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СРЕД ДЛЯ ОЦЕНКИ УПРУГИХ СВОЙСТВ СИЛЬВИНИТА ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

И. А. Пантелеев¹*, А. А. Барях², Д. В. Ложкин¹

¹*Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия*

²*Горный институт Уральского отделения Российской академии наук, Пермь, Россия*

*E-mail: pia@icmm.ru

Настоящая работа посвящена комплексному анализу деформационных характеристик и интегральных параметров микротрещиноватости в образцах красного сильвинита Верхнекамского месторождения солей при циклическом одноосном сжатии с постепенным увеличением максимальной нагрузки от цикла к циклу. Для оценки плотности и объёмной доли микротрещин до испытаний и после каждого цикла осуществлялась микротомографическая съёмка образцов на рентгеновском томографе Skyscan 1272 Bruker. Пространственное разрешение томографических изображений (размер ребра вокселя) составило 12 мкм. В результате анализа кривых деформирования установлена зависимость нормированного касательного модуля деформации красного сильвинита от величины максимальной нагрузки в цикле.

Анализ КТ данных показал, что объёмная доля микротрещин с величиной максимальной нагрузки в цикле растёт нелинейно, заметные изменения имеют место после нагрузки 10 МПа. Средняя объёмная плотность микротрещин после завершения испытаний составляет 1.6%. Показано, что изменение среднего нормированного касательного модуля деформации красного сильвинита линейно связано с изменением средней объёмной доли микротрещин. Для оценки плотности микротрещин по КТ данным как интегрального параметра, широко используемого в теории эффективных сред, предложено два подхода. Первый подход базируется на определении плотности микротрещин через их максимальный размер, второй – на определении плотности микротрещин через радиус монетообразных трещин эквивалентного объёма и площади поверхности. Показано, что до максимальной нагрузки 10 МПа оба подхода дают незначительный рост плотности микротрещин. Далее, плотность микротрещин, оцененная по первому способу, возрастает квазилинейно с ростом максимальной нагрузки в цикле, а плотность микротрещин, оцененная по второму способу – нелинейно.

Экспериментальные данные по изменению среднего нормированного касательного модуля деформации красного сильвинита и интегральных характеристик микротрещиноватости были использованы для верификации и сравнительного анализа различных методов теории эффективных сред. Построены зависимости нормированного эффективного модуля Юнга от максимальной нагрузки в цикле с использованием методов Мори–Танака, дифференциального метода эффективной среды и метода самосогласования. Установлено, что дифференциальный метод эффективной среды и метод самосогласования с оценкой плотности трещин по первому способу дают заниженные оценки среднего эффективного нормированного модуля Юнга, начиная уже с умеренных нагрузок, а метод Мори–Танака – завышенные оценки. Показано, что самосогласованный метод с оценкой плотности микротрещин через радиус эквивалентных монетообразных трещин даёт приемлемые оценки эффективного нормированного модуля Юнга (погрешность для средних величин не превышает 10%) для плотности микротрещин не превышающей 0.5.

Полученные результаты могут быть использованы при определении несущей способности ленточных и столбчатых целиков в части развития техногенной нарушенности, что позволит более достоверно оценивать их устойчивость. Установлен порог максимальной действующей нагрузки (10 МПа) после которого активизируется процесс неупругого деформирования соляных междукамерных целиков. Вопрос о влиянии формы образцов, масштабного фактора и вида напряженно-деформированного состояния на полученные результаты остается открытым и является предметом дальнейших исследований.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда
(проект № 26-97-20006).*