

Статистические закономерности формирования магистральной трещины в горных породах: акустическая эмиссия и рентгеновская томография

Дамаскинская Е.Е., Гиляров В.Л., Пантелеев И.А., Корост Д.В., Фролов Д.И.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф.

Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: damaskinskaya@yahoo.com

Проведено исследование особенностей формирования магистральной трещины в образцах гранита Westerly при квазистатическом одноосном сжатии без бокового подпора по данным акустической эмиссии (АЕ) и рентгеновской компьютерной микротомографии (СТ). Всего было испытано две серии образцов (по 7 в каждой). Первая серия – специально изготовленные цилиндрические образцы с не плоскопараллельными торцами (непараллельность составляет $\approx 0.5^\circ$), вторая серия – стандартные цилиндрические образцы с плоскопараллельными торцами. Отсутствие параллельности торцов позволяет получить при одноосном квазистатическом сжатии явно выраженную сдвиговую компоненту, что сказывается на процессе формирования магистральной трещины. При испытании образцов второй серии снятие нагрузки проводилось незадолго до макроразрушения образца, после чего процесс регистрации акустической эмиссии продолжался. Такой алгоритм нагружения позволил исследовать процесс релаксации напряжений в материале с развитой дефектной подсистемой (с фактически полностью сформированной магистральной трещиной). Во всех экспериментах был проведен один этап сжатия с постоянной скоростью перемещения пуансона 10 мкм/мин .

Для исследования стадийности процесса формирования магистральной трещины были использованы два подхода к анализу данных акустической эмиссии, зарегистрированной в течение всего времени деформирования: мультифрактальный анализ пауз между последовательными во времени сигналами АЕ и анализ функционального вида распределения сигналов АЕ по энергии.

Мультифрактальный анализ был применен для изучения временных рядов пауз между сигналами АЕ. Ряды пауз разделялись на частично перекрывающиеся последовательности из 1024 элементов, для каждой из которых рассчитывался спектр сингулярностей. Строились зависимости от времени двух основных его параметров – коэффициента Херста и ширины спектра. Отмечено увеличение коэффициента Херста и уменьшение ширины спектра сингулярностей при приближении к моменту разрушения образцов. Исходя из этого сделан вывод о фрактальной самоорганизации перед разрушением – изменением характера процесса от более сложного мультифрактального к более простому монофрактальному.

Проведен детальный анализ функционального вида распределений сигналов АЕ по энергии. Во всех экспериментах с помощью метода последовательных приближений удалось определить момент времени, после которого энергетическое распределение становится степенным. (До этого времени энергетическое распределение описывается экспоненциальной функцией).

В экспериментах образцы сохранили целостность, что позволило провести томографическую съемку. На основе анализа томографических срезов были построены трехмерные картины дефектной структуры. В образцах с не плоскопараллельными торцами образовалась одна плоская трещина (фрактальная размерность ≈ 2.2) параллельная оси образца, расположенная ближе к его краю, что указывает на преимущественно сдвиговой характер ее формирования.

Трехмерная область локализации микротрещин (магистральная трещина) в образцах второй серии имеет более сложную форму (фрактальная размерность ≈ 2.6) и наклонена относительно оси деформирования на некоторый угол, который является типичным для одноосно деформируемых образцов с трением на торцах. Важно отметить, что в обеих сериях экспериментов все дефек-

ты образовались только в области магистральной трещины, в других частях образца дефектов не обнаружено. Следовательно, в этих экспериментах не наблюдалось дисперсного накопления дефектов вне области трещины.

В данных экспериментах, несмотря на локализованный (в пространстве) характер накопления дефектов, выявленный методом рентгеновской микротомографии, анализ энергетических распределений сигналов АЕ позволил выделить принципиально различные стадии развития магистральной трещины. Это свидетельствует об универсальности используемого подхода и найденных закономерностей.

Данный результат позволяет говорить о том, что формирование магистральной трещины является многостадийным процессом, с присущей таким явлениям сменой стадии равновесной устойчивой эволюции на стадию неустойчивого развития.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-05-00248.