

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОЙ ЭНЕРГИИ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дамаскинская Е.Е., Кадомцев А.Г

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия,
Kat.Dama@mail.ioffe.ru

Проведен анализ распределений по энергии сигналов акустической эмиссии (АЭ) на двух масштабных уровнях: при деформировании гранитных образцов, и при измерениях, проводимых на действующем горном предприятии.

Цилиндрические образцы гранита ($h = 190.5$ mm, $d = 76.2$ mm) деформировали в условиях постоянного всестороннего сжатия и одноосного осевого нагружения. Наблюдение за трещинообразованием проводилось с помощью регистрации сигналов акустической эмиссии (АЭ). В результате проведенного эксперимента формировалась база данных, каждый сигнал в которой характеризовался временем излучения, тремя координатами гипотендра и амплитудой, приведенной к определенной референс-сфере. Важно отметить, что приведенная амплитуда не зависит от геометрии расположения пьезопреобразователей и может служить энергетической характеристикой источника сигнала.

Аналогичная база данных получена в результате измерений, проводимых ИГД РАН г. Хабаровска на глубоких горизонтах месторождения «Антэй».

В работе приведены характерные для серии экспериментов результаты.

Подробный пространственно-временной анализ развития разрушения в эксперименте был проведен ранее в [1]. В настоящей работе проведен детальный анализ распределений АЭ-сигналов, зарегистрированных в различных пространственных областях образца и на разных этапах нагружения. На рис. 1а показано пространственное распределение координат гипотендр АЭ-сигналов (по существу — распределение образующихся дефектов) на начальной стадии нагружения (-0.5 – 0.6 времени жизни образца). Видно, что дефекты образуются равномерно по образцу. Распределения по энергии АЭ-сигналов, соответствующих данным дефектам, в различных пространственных областях образца, приведены на рис.2. Установлено, что в большей части объема образца

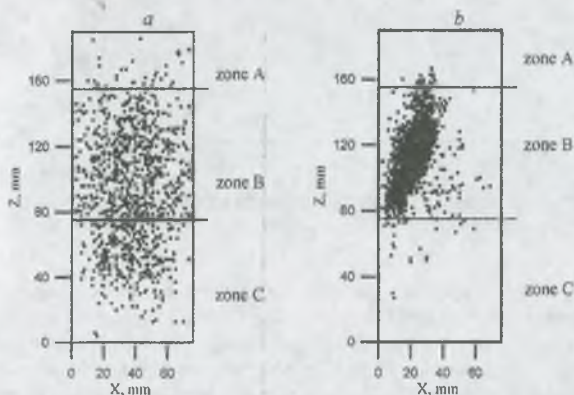


Рис. 1. Проекция координат гипотендр источников АЭ: а – начальная стадия нагружения; б – локализованное разрушение.

(рис. 1а zone A, C) распределение описывается экспоненциальной функцией (рис.2а). Однако, явно выделяется область (рис. 1а zone B), в которой распределение аппроксимируется степенной функцией (рис.2б).

Если же построить распределение для сигналов из всего объема образца, то его не удастся удовлетворительно аппроксимировать ни степенной, ни экспоненциальной функцией. Это означает, что имеет место суперпозиция функций. Именно пространственное

«сканирование» позволило найти области образца с явно выраженным различным видом энергетического распределения.

На завершающем этапе нагружения наблюдается локализация дефектообразования, и распределение по энергии АЭ-сигналов, естественно, имеет степенной вид. Пространственное распределение координат гипоцентров этих АЭ-сигналов (рис. 1b) явно демонстрирует, что локализация дефектообразования происходит именно в той области образца (zone B), в которой еще на ранних этапах энергетическое распределение имело степенной вид.

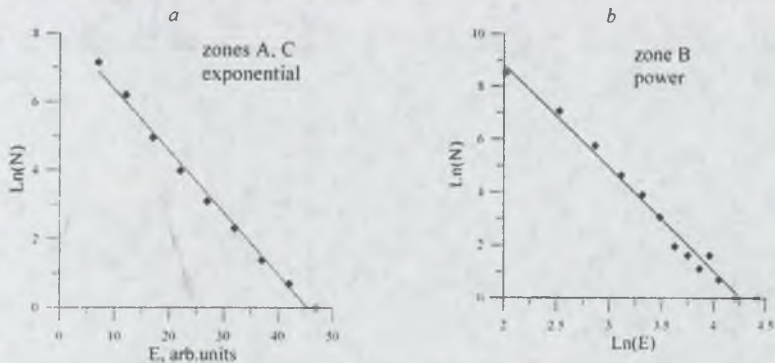


Рис. 2. Распределения числа N сигналов акустической эмиссии по энергии E (период времени от начала нагружения до 0.6 долговечности образца): a – zone A,C; b – zone B.

Для проверки предположения, что при дисперсном разрушении распределение всегда имеет экспоненциальный вид, был проведен анализ экспериментов с водонасыщенными образцами, в которых как было показано [1], на протяжении всего эксперимента не наблюдается локализация, образование дефектов происходит дисперсно вплоть до макро-разрушения. Мы установили [2], что на протяжении всего эксперимента и в любых пространственных областях распределение сигналов АЭ по энергии сохраняет экспоненциальный вид и не переходит в степенную функцию.

На большом масштабе разрушения (действующее горное предприятие) также был проведен анализ изменения функционального вида распределения энергии АЭ-сигналов. Оказалось, что на начальных этапах разрушения распределение аппроксимируется экспоненциальной функцией (рис. 3a). В этот период времени локализации дефектов не наблюдается (рис. 3a). По мере накопления дефектов функциональный вид распределения изменился и стал степенным (рис. 3b). При этом на пространственном распределении дефектов отчетливо видна локализация (рис. 3b). Можно предположить, что система перешла в «опасное» состояние самоорганизованной критичности [3], при котором возможно образование крупных дефектов, сопровождаемое выделением большой энергии.

Функциональный вид распределения АЭ-сигналов по энергии связан с характером образования дефектов, а именно: при некоррелированном дефектообразовании распределение имеет экспоненциальный вид, если же образование дефектов происходит коррелированно, то распределение аппроксимируется степенной функцией.

Можно предположить, что на характер образования дефектов влияет не только величина внешней нагрузки, но и структура материала, в том числе дефекты типа трещин, пор, капилляров, существовавшие до нагружения. Возможно, именно дефектная структура и определяет место зарождения макроразрыва.

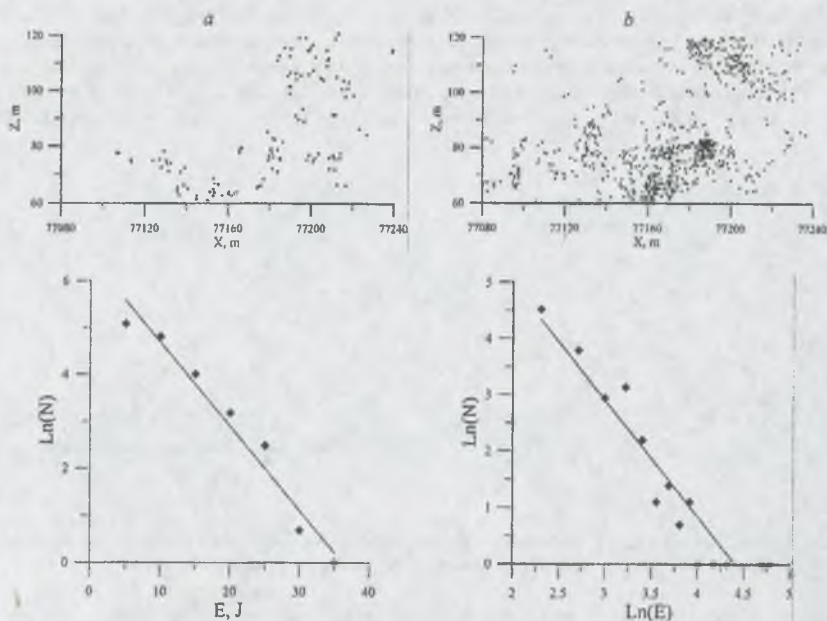


Рис. 3. Проекция координат гипоцентров источников АЭ и соответствующие распределения по энергии (при разрушении горного массива): а – дисперсное разрушение; б – локализованное разрушение.

Таким образом, пространственно-временной анализ результатов лабораторных экспериментов и натуральных измерений позволил сделать следующий вывод.

1. Распределение АЭ-сигналов по энергии не всегда аппроксимируется степенной функцией.

2. При дисперсном разрушении распределение сигналов АЭ по энергии имеет экспоненциальный вид, в то время как в области локализации разрушения распределение становится степенным.

3. В случае, когда распределение представляет собой суперпозицию степенной и экспоненциальной функций, можно (путем пространственного «сканирования») выделить пространственные области, в которых распределение будет аппроксимироваться только одной из функций.

4. Функциональный вид распределения на ранних этапах нагружения позволяет выделить пространственную область образца, в которой в дальнейшем произойдет локализация дефектообразования, приводящая к макроразрушению.

Список литературы

1. Кадомцев А.Г.; Дамаскинская Е.Е., Куксенко В.С. // ФТТ 2011, Т.53, С. 1777-1782
2. Кадомцев А.Г., Гиляров В.Л., Дамаскинская Е.Е., Рассказов И.Ю. // «XX Петербургские чтения по проблемам прочности» С.Петербург, Соло, 2012, ч.1, 62
3. P. Bak, How Nature Works. NY, Springer -Verlag. 1986.