ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика.

**Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

**посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина**

в рамках

**Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

DOI: 10.17223/9785946219242/48

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ ТРЕЩИНЫ В ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ: АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ И РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

¹Дамаскинская Е.Е., ¹Гиляров В.Л., ²Пантелеев И.А., ³Корост Д.В.

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

²Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

Целью работы является экспериментальное выявление закономерностей формирования и роста магистральной трещины в объеме материала в процессе механического воздействия. Особенностью исследований является применение двух независимых методов неразрушающего контроля: акустическая эмиссия и рентгеновская компьютерная томография.

Томографические исследования дефектной структуры образцов природных гетерогенных материалов до и после механических испытаний проводилось с помощью рентгеновского томографа SkyScan 1172 (Bruker). Было достигнуто пространственное разрешение $\sim 3 \mu\text{m}$.

Квазистатические испытания цилиндрических ($d = 10 \text{ mm}$, $h = 20 \text{ mm}$) образцов метапесчаника песчаника Berea проводились в условиях одноосного сжатия на электромеханической испытательной машине Shimadzu AGX-Plus. Для непрерывного мониторинга акустической эмиссии в процессе деформирования была использована система Amsy-5 Vallen. Каждый сигнал АЕ характеризуется временем излучения, координатой и энергией. Образцы метапесчаника нагружали ступенчато (рис.1а). Образцы песчаника Berea деформировались в два этапа. На первом этапе механическое напряжение удерживалось на уровне $\sim 0.83\sigma_{\text{max}}$ (σ_{max} - разрушающее напряжение) до тех пор, пока активность сигналов АЭ не спадала до нуля а на втором этапе - на уровне $\sim 0.95\sigma_{\text{max}}$ (рис.1б,с).

Рис. 1. Изменение напряжения (сплошная линия) и энергии отдельных сигналов АЕ (точки):
а – образец метапесчаника, б,с – образец песчаника Berea.

Для изучения этапов процесса образования магистральной трещины были использованы два различных метода анализа данных АЕ: мультифрактальный анализ пауз между последовательными сигналами АЕ и анализ функционального вида распределения энергии сигналов АЕ.

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 (рис.2). 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

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

от более сложного мультифрактального к более простому монофрактальному.

Проведен детальный анализ функционального вида распределений сигналов АЕ по энергии. При ступенчатом нагружении метापесчаника с помощью метода последовательных приближений удалось определить момент времени T_c (соответствует напряжению $\sim 0.8\sigma_{\max}$), после которого энергетическое распределение становится степенным. До этого времени энергетическое распределение описывается экспоненциальной функцией.

Рис. 2. Временные зависимости глобального коэффициента Херста и ширины спектра сингулярностей: а) для образца метापесчаника, б) для образца песчаника Berea.

При двухэтапном нагружении песчаника Berea наблюдалась подобная картина: при напряжении $\sim 0.83\sigma_{\max}$ энергетическое распределение сигналов АЕ имеет экспоненциальный вид; на предразрушающем этапе ($s \sim 0.95\sigma_{\max}$) энергетическое распределение становится степенным.

В экспериментах образцы сохранили целостность, что позволило провести томографическую съемку. На основе анализа томографических срезов были построены трехмерные картины дефектной структуры (рис.3).

Рис. 3. Трехмерная визуализация дефектной структуры, построенная по данным рентгеновской томографии: а – образец метापесчаника, б – образец песчаника Berea.

Трехмерная область локализации микротрещин (магистральная трещина) имеет сложную форму 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 дефекты 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 и мультифрактальный анализ позволил выделить принципиально различные стадии развития магистральной трещины. Это свидетельствует об универсальности используемого подхода и найденных закономерностей.

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