

**ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И ПОЛЕЙ
ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТАДИЙНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

¹Банников М.В., ²Саженов Н.А., ²Балакирев А.А., ¹Баяндин Ю.В., ¹Никитюк А.С.,
¹Уваров С.В., ¹Наймарк О.Б.

¹Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь.

Стадийность развития разрушения в присутствии двух типов автомоделных решений исследуется экспериментально (рис. 1) на основе данных акустической эмиссии и данных DIC при деформировании композитного образца с круговым концентратором. Регистрация полей напряжений и анализ фазовых портретов для рассматриваемых режимов распространения трещин позволила установить существование двух аттракторов, соответствующих двум типам автомоделных решений, в виде множества точек «гиперболического типа» и случайного множества точек, соответствующих флуктуациям напряжений в областях локализации поврежденности и зарождения дочерних трещин.



Рис. 1. Экспериментальный комплекс для проведения испытаний:

общий вид экспериментального комплекса: 1- резонансная испытательная машина Testronic-50, 2 – тепловизионная камера NEC TN9100, 3 – светодиодная лампа, 4 – камера системы корреляции цифровых изображений LaVision, 5 – вентилятор, 6 – образец, 7 - микрофоны системы акустической эмиссии AMSY-6

В работе применены алгоритмы кластерного анализа пространственно-временной динамики многомасштабного развития поврежденности композитов в условиях одноосного квазистатического и циклического нагружений по данным акустической эмиссии и распределений флуктуаций полей деформаций. Алгоритмы и программы для реализации кластерного анализа включают в себя: алгоритм считывания данных акустической эмиссии, алгоритм считывания распределений флуктуаций полей деформаций, алгоритм расчета зависимости энергии событий акустической эмиссии от скорости её изменения, алгоритм определения наиболее флуктуирующей точки поля деформации, алгоритм расчета зависимостей флуктуаций точки поля деформаций от скорости их изменения, а также градиента их изменений, кластерный анализ на основе агломеративного иерархического подхода, мультифрактальный анализа.

Для анализа пространственного распределения полей деформаций на основе метода корреляции цифровых изображений использовалась измерительная система Strain Master, которая позволяет *in situ* регистрировать поле смещений на поверхности образца в условиях

одноосного квазистатического и циклического нагружений с последующим пересчетом в поля деформаций в различные моменты времени с временным шагом 0,1 с. Для полученных распределений флуктуаций полей деформаций (рис. 2.) применялся алгоритм определения наиболее флуктуирующей точки.

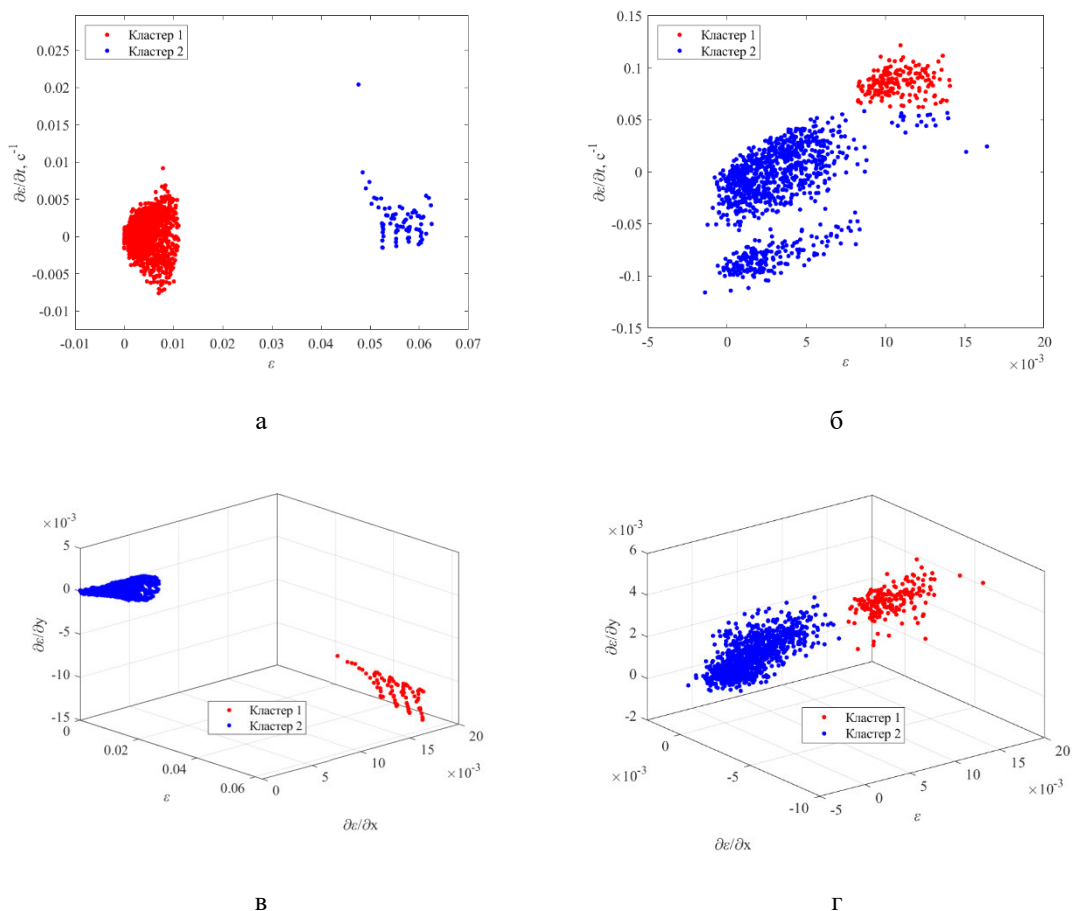


Рис. 2. Фазовые диаграммы: деформация – скорость изменения деформации (а, б) и деформация – градиент деформации (в, г) для композитов в условиях одноосного квазистатического (а, в) и циклического (б, г) нагружений

Полученные результаты по кинетике развития поврежденности в присутствии двух типов автомодельных решений находятся в соответствии с представлениями, отраженными в двухпараметрических критериях разрушения [1]. Значения когезионной прочности и когезионной длины связаны с закономерностями кинетики локализации поврежденности, и определяются параметрами, отражающими нелинейность уменьшения свободной энергии (free energy release) при зарождении и росте дефектов в условиях их взаимодействия на различных структурных масштабах [2]. Обоснование связи структурных параметров и критериев механики разрушения композитных материалов предполагает использование данных томографии развития дефектов различных масштабных уровней

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 21-79-30041

1. Naimark O., Bayandin Y., Uvarov S., Bannikova I., Saveleva N. Critical dynamics of damage-failure transition in wide range of load intensity // Acta Mech. 2021. V. 232. P. 1943–1959.
2. Naimark O.B. Energy release rate and criticality of multiscale defects kinetics // Int.J. Fracture. 2016. V. 202. P. 271–279.