

УДК 539.219. 2

ФРАКТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ИЗЛОМОВ

© Титова К.Е., Хибник Т.А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация

e-mail: christine03@yandex.ru

Традиционное описание структур материалов в научной практике основано на их приближенном представлении геометрическими объектами с целыми размерностями, такими как точки, линии, поверхности и их совокупности, в частности трехмерные объекты. Одним из перспективных путей решения задач количественного описания структур материалов является их параметризация, основанная на использовании теории фракталов (объектов, характеризующихся самоподобием в широком интервале масштабов рассмотрения), открытая Мандельбротом [1]. Он ввел понятие не только фрактала, но и фрактальной геометрии, отличающейся от евклидовой дробными размерностями. Авторами работ [2; 3] проведены исследования структуры материала, а именно поверхности разрушения на макро-, мезо-, микроуровне.

В области материаловедения самоподобными фрактальными структурами являются пористые и зеренные структуры, структуры сетки трещин и поверхности разрушения.

Реальную фрактальную структуру линии фронта усталостной трещины можно увидеть в усталостных изломах компактных и цилиндрических образцов (см. рис.).

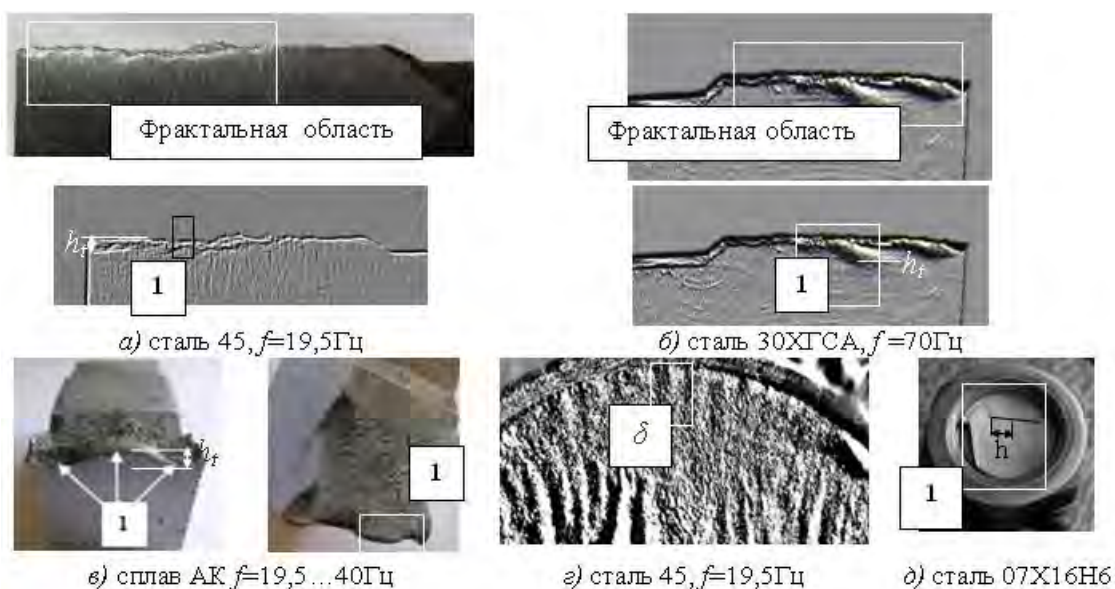


Рисунок – Фрактальная область линии фронта усталостной трещины компактных образцов (а, б, в) и цилиндрического образца (г) : 1 – самоподобная структура (фрактал)

Для определения размерности фрактала, Мандельброт предложил использовать размерность Хаусдорфа – Безиковича, где фрактальная размерность D_f превышает топологическую размерность D_h . Фрактальная размерность для трещины, траектория которой в плоскости имеет отклонение от горизонтали на угол Θ_0 определяется по формуле (1) [4]:

$$D_f = \lg 3 / \lg (5 + 4 \cos \Theta) \quad (1)$$

Упорядоченный процесс формирования усталостных бороздок, шаг (δ) которых определяется степенью стеснения пластической деформации, позволяет установить соотношение (2) между интервалом длины трещины L_δ и шагом δ :

$$L_\delta = L_i \delta^{1-D_f} \quad (2)$$

Фрактальная размерность D_f устанавливает закон изменения длины трещины по мере уменьшения масштаба измерения единичного приращения, характеризуемого шагом усталостной бороздки. Линия фронта усталостной трещины имеет фрактальную природу и поэтому имеет конечную длину. Процесс развития усталостной трещины можно связать со средней скоростью роста трещины V_i на рассматриваемом отрезке длины и с минимальной величиной шага усталостных бороздок формулой (3):

$$V = V_i (\delta_{\min})^{1-D_f} \quad (3)$$

Современные компьютерные технологии обработки изображений позволяют определять фрактальные характеристики изломов фрактально-спектральным методом [5].

Следовательно, используя современное оборудование, позволяющие сканировать поверхность разрушения, и компьютерные программы, на определенном масштабном уровне (макро-мезо-микро) можно описать процесс разрушения материалов с помощью теории фракталов, так как структура изломов, структура трещин в материалах в определенном масштабном интервале выглядят подобным образом.

Библиографический список

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
2. Кольцун Ю.И. Макроструктурный анализ усталостных изломов. Проблемы, достижения и перспективы // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте: сб. докладов VII Международной конференции по проблемам прочности материалов и сооружений на транспорте 23–24 апреля 2008 г. / Петербургский государственный ун-т путей сообщений. СПб., 2008. С. 149–182.
3. Панин В.Е. Физическая мезомеханика поверхностных слоев твердых тел // Физическая мезомеханика. 1999. Т. 2 (6). 320 с.
4. Xie H., Sanderson D.J. Fractal effects of crack propagation on dynamic stress intensity factors and crack velocities // Intern. Journ. Fract. 1995. Vol. 74. P. 29–42.
5. Шаняевский А.А., Артамонов М.А. Фрактально-спектральный метод анализа параметров рельефов поверхностей // Байкальские чтения по математическому моделированию в синергетических системах: сб. трудов конф. Улан-Удэ; Томск, 1999. С. 25–31.