

УДК 620.192.49

Павло Марущак, д.т.н., проф.; Володимир Дзюра, д.т.н., проф.; Олена Марущак
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

БАГАТОМАСШТАБНА КЛАСИФІКАЦІЯ МОРФОЛОГІЧНИХ СКЛАДОВИХ ПОВЕРХНІ ВТОМНОГО РУЙНУВАННЯ

Розглянуто алгоритми розпізнавання та обчислення параметрів втомних борозенок, що забезпечило можливість порівняння їх функціональності для забезпечення достовірності фрактографічного контролю стадійності росту втомних тріщин в полікристалічних матеріалах.

Ключові слова: фрактографія, втомні борозенки, циклічна тріщиностійкість

Pavlo Maruschak, Volodymyr Dzyura, Olena Maruschak

MULTI-SCALE CLASSIFICATION OF MORPHOLOGICAL COMPONENT SURFACES OF FATIGUE DESTRUCTION

Algorithms for recognizing and calculating the parameters of fatigue striations were considered, which provided an opportunity to compare their functionality to ensure the reliability of fractographic control of the stages of fatigue cracks growth in polycrystalline materials.

Key words: failure analysis, fatigue striations, fatigue crack resistance.

Аналіз залишкової довговічності конструкцій тривалої експлуатації, збільшення ресурсу роботи, прогнозування їх роботоздатності за циклічного навантаження потребують дослідження, узагальнення та накопичення даних про циклічну тріщиностійкість, кінетику і мікромеханізми руйнування матеріалів. Особливу роль при цьому відіграють методи фрактографічного аналізу, які забезпечують фізико-механічну інтерпретацію параметрів циклічної тріщиностійкості визначених за кінетичною діаграмою втомного руйнування. Кількісний фрактографічний аналіз різних зон втомного руйнування зосереджений на виявленні зв'язку мікроструктури матеріалу з його міцністю та здатністю опиратися поширенню тріщини. Одним з пріоритетних напрямків аналізу поверхонь втомного руйнування є застосування методів машинного навчання, які забезпечують можливість автоматизувати процес вилучення кількісної інформації з зображень одержаних методами скануючої електронної мікроскопії.

Метою даного огляду є систематизація наявних методів досліджень механізмів РВТ та кількісного аналізу втомних борозенок автоматизованими та інтелектуалізованими методами. Інформативність кількісного фрактографічного аналізу зростає за умови наявності на кожному структурному рівні притаманних йому елементів рельєфу, які є складовими морфології зламу для певного масштабу, рис. 2.

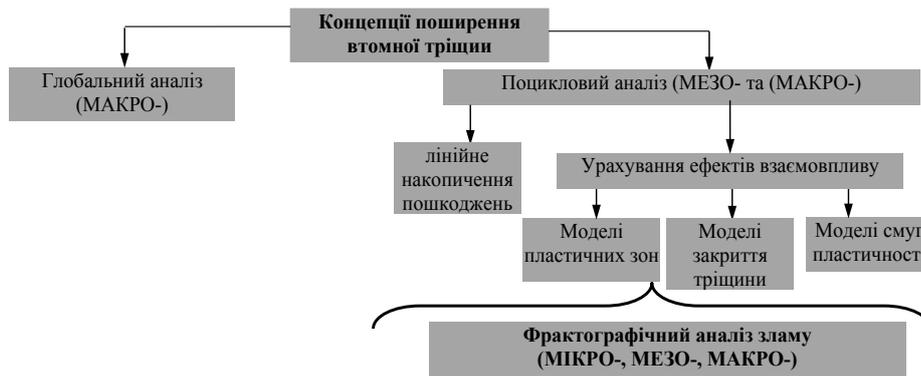


Рис. 1. Схема опису тріщиностійкості полікристалічного зразка та відповідні масштабні рівні опису процесів деформування і руйнування

Злам при цьому є своєрідним накопичувачем інформації, який містить дані про мікромеханізми руйнування матеріалу на різних масштабних рівнях. Втомний злам з одного боку відображає мікромеханізми руйнування матеріалу в локальному об'ємі, а з іншого дозволяє встановити причини поломки аналізованого об'єкту. Закономірності РВТ на макрорівні, аналізували ґрунтуючись на кінетичних діаграмах втомного руйнування матеріалу, на яких експериментальні результати представлені в координатах: «швидкість РВТ - розмах коефіцієнту інтенсивності напружень (КІН) у вершині втомної тріщини».

Встановлено, що РВТ притаманні такі закономірності:

- поширення втомної тріщини є дискретним процесом;
- одним з основних механізмів періодичного підростання втомної тріщини є втомні борозенки.
- геометричні параметри втомних борозенок визначаються НДС у вершині тріщини під час її поширення та параметрами циклічного навантаження (частотою, асиметрією, тощо)

Вивчення взаємозв'язку макро-, мезо- та мікрорівнів руйнування потребує розроблення нових інструментальних методів, що описують морфологічні характеристики процесу, рис. 2. Тому, фрактографічний аналіз зламу є «розшифруванням» цього запису. Важливо наголосити, що термін «мікрофрактографія» традиційно використовують без виділення мезоскопічного рівня. Разом з тим, його введення відіграє важливу роль в аналізі руйнування, і забезпечує глибшу систематизацію морфологічних утворень аналізованих поверхонь РВТ, рис. 2.

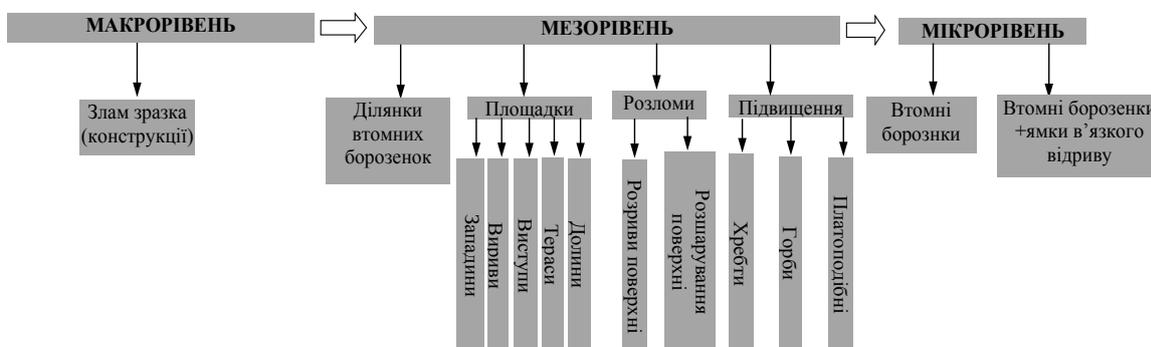


Рис. 2. Схема структурних рівнів руйнування при РВТ та притаманні їм морфологічні утворення зламу

Слід зазначити, що аналізований фрагмент поверхні руйнування на мікрорівні є локальною ділянкою, а втомні борозенки не завжди мали чіткий профіль. Загалом поширення тріщини є набагато складнішим явищем, ніж просто формування смуг просування тріщини з чітко визначеним інтервалом, що помітно з невідповідностей між кроком втомних борозенок та макроскопічною швидкістю росту тріщини. РВТ супроводжувався формуванням розривів у різних площинах, виникненням вторинних мікротріщин. Саме тому мезорельєф поверхні руйнування займає проміжне місце між макро- та мікрорівнем.

За результатами огляду та систематизації наявних досліджень механізмів поширення втомних тріщин в полікристалічних матеріалах та кількісного аналізу втомних борозенок було систематизовано:

- методологічні особливості фактографічного опису механізмів РВТ на макро, мезо- та мікрорівнях, охарактеризовано їх ознаки та параметри, проаналізовано механізми формування та сформульовано методологічні вимоги до вимірювання;

- ручні та автоматизовані описи зламів та морфологічних структур на основі візуального співставлення та порівняння елементів будови поверхні руйнування, це забезпечило можливості їх кількісного опису та оцінювання;

- методи визначення геометричних характеристик і структурно-лінгвістичного опису морфології зламів поверхні РВТ, що створило передумови їх уніфікованого оцінювання та стандартизацію параметрів, які їх характеризують;