УДК 539.3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВТОМНИХ КОРОТКИХ ТРІЩИН І ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ЇХ ДОКРИТИЧНОГО РОСТУ

Олександр Андрейків, Ірина Долінська, Нікіта Звягін, Святослав Настасяк, Орест Свірчевський

Львівський національний університет імені Івана Франка,
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України

oleksandr.andreykiv@gmail.com; ira_dolinska@ukr.net; zvyagin-nikita@ukr.net; svyatikna@gmail.com; orest.sv@gmail.com

Проблемою поширення коротких тріщин у металевих матеріалах дослідники теоретики та експериментатори займаються десятиліттями, проте вона досі залишається актуальною для подальшого вивчення. На сьогодні недостатньо розроблені універсальні математичні моделі для оцінки поширення втомних тріщин у широкому діапазоні їх довжин, включаючи як короткі, так і довгі тріщини. Цей факт можна пояснити різною природою поширення коротких і довгих тріщин, а також складними механізмами, що лежать в основі процесу поширення коротких тріщин. Крім того, зважаючи на різницю у механізмах та характері росту коротких та довгих тріщин, часто математичні моделі втомного руйнування, побудовані на основі експериментальних даних довгих тріщин навіть після введення певних поправок, які мали б враховувати особливості коротких тріщин, недостатньо точно прогнозують ріст втомних тріщин, починаючи від їх виникнення як коротких тріщин і до кінцевого критичного розміру [1].

У даній роботі зроблена спроба на основі фізичних законів створити розрахункові моделі та методи визначення періоду докритичного росту коротких тріщин (залишкової довговічності) елементів конструкцій, які зазнають дії циклічного навантаження. В основу моделей покладено раніше розроблений авторами енергетичний підхід [2], який базується на першому законі термодинаміки про баланс енергетичних складових і роботи зовнішніх сил і, відповідно, баланс швидкостей змін цих складових в елементі конструкції, який послаблений короткою тріщиною l і розтягується циклічними зусиллями інтенсивності p. Вважаємо, що ріст тріщини в тілі проходить стрибками і, відповідно, енергетичний баланс записуємо для одного стрибка тріщини, як елементарного акту руйнування. У даному випадку враховуємо дві енергетичні складові: енергію руйнування та енергію деформування, яку знаходимо

http://iapmm.lviv.ua/mpmm2023/materials/me06_02.pdf

наближено за допомогою відомого підходу Леонова-Панасюка-Дагдейла. Швидкість росту тріщини можна представити усереднено як відношення довжини її стрибка Δl до часу інкубаційного періоду ΔN. На основі цього і рівняння балансу швидкостей зміни енергій отримуємо диференціальне рівняння для визначення швидкості росту тріщини від початкового до її критичного розміру в елементі конструкції за довготривалого циклічного навантаження. Це рівняння разом з відповідними початковою і кінцевою умовами становить математичну модель для визначення періоду докритичного росту втомної тріщини (залишкової довговічності):

$$\frac{dl}{dN}=\frac{\alpha\left[(\delta_{\mathrm{I}t\max}-\delta_{\mathrm{I}t\min})^2-(\delta_{\mathrm{I}th\max}-\delta_{\mathrm{I}th\min})^2\right]}{\delta_{\mathrm{I}fC}-\delta_{\mathrm{I}t\min}} \tag{1}$$

$$N=0\,,\ l(0)=l_{\mathrm{I}0}\ ;\quad N=N_*\,,\ l(N_*)=l_{\mathrm{I}*}\,. \tag{2}$$

Тут α – експериментально встановлена константа; N – кількість циклів навантаження; $\delta_{\mathrm{I}t\max}$, $\delta_{\mathrm{I}t\min}$ – максимальне і мінімальне протягом періоду циклу розкриття у вершині тріщини $\delta_{\mathrm{I}t}$; $\delta_{\mathrm{I}th\max}$, $\delta_{\mathrm{I}th\min}$ – нижні порогові значення $\delta_{\mathrm{I}t\max}$, $\delta_{\mathrm{I}t\min}$, за яких не відбувається руйнування нормального відриву; $l_{\mathrm{I}0}$, $l_{\mathrm{I}*}$ – початкова і критична довжина тріщини; N_* – період докритичного росту тріщини.

Модель (1), (2) побудована в деформаційних параметрах – розкриття у вершині тріщини, а тому вона є коректною для дослідження як коротких, так і довгих втомних тріщин. Запропоновано формулу для визначення розкриття у вершині тріщини, яка враховує відносний рівень навантаження. На основі математичної моделі і формули визначено період докритичного росту (залишкову довговічність) втомної тріщини в елементі конструкції. Побудовано розрахункові моделі в деформаційних параметрах розкриття тріщини для визначення періоду докритичного росту тріщин в елементах конструкцій за дії різних силових параметрів, а також агресивних середовищ з урахуванням деградації їх матеріалів.

1. *Main B., Jones M., Barter S.* The practical need for short fatigue crack growth rate models // International Journal of Fatigue. – 2021. – **142**. – P. 105980.
2. *Андрейків О.Є., Скальський В.Р., Долінська І.Я.* Заповільнене руйнування матеріалів за локальної повзучості. – Львів: ЛНУ Франка, 2017. –400 с.

METHODS OF INVESTIGATING THE KINETICS OF FATIGUE SHORT CRACKS AND DETERMINING THE PERIOD OF THEIR SUBCRITICAL GROWTH

Using the energy approach, mathematical models were developed to determine the period of subcritical growth of short fatigue cracks in the deformation parameters. A formula for the approximate determination of deformation parameters in bodies with cracks is constructed.