

УДК 539.421

ПРО МОДЕЛЬ ПОВОРОТУ МІЖФАЗНОЇ ТРІЩИНИ ВІД МЕЖІ ПОДІЛУ КВАЗІПРУЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анатолій Камінський, Михайло Дудик, Юлія Решітнік, Юрій Черноіван

*Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини*

dfm11@ukr.net, dudik_m@hotmail.com,
dikhtiarenko_iu@udpu.edu.ua, fract@inmech.kiev.ua

Використання виробів із композитних матеріалів у режимах, за яких окремі конструкційні елементи можуть наблизитись до граничних станів, вимагають дослідження надійності їх експлуатації. З цією метою ще на етапі проєктування доцільно здійснювати швидку попередню оцінку їх тріщинозмітності, не вдаючись до процедур натурного або числового моделювання, затратних фінансово або за часом. У цьому випадку корисними можуть стати наближені аналітичні моделі, які в достатній мірі враховують механічні властивості матеріалів композитного з'єднання і дозволяють швидко отримати попередні оцінки умов зародження і поширення тріщин у складових частинах виробу.

Модель, розвинута в цій роботі, стосується дослідження поведінки міжфазної тріщини за умови квазікрихкого руйнування одного з матеріалів з'єднання і передбачає визначення параметрів маломасштабної зони передруйнування біля вершини тріщини. Це є актуальним для прогнозування повороту тріщини від межі поділу матеріалів, що є менш вивченим явищем порівняно з міжфазним поширенням тріщин. З цією метою сформульовано математичну модель зони передруйнування, яка в умовах плоскої деформації поширюється з вершини міжфазної тріщини під кутом до плоскої межі поділу двох різних однорідних ізотропних матеріалів. Матеріал, в якому поширюється зона, розглядається як квазіпружний, тоді як інший матеріал вважається пружним. Квазіпружність першого матеріалу означає його лінійну пружність всюди, крім зони передруйнування.

Відповідно до моделей Леонова–Панасюка і Дагдейла зону передруйнування подано лінією розриву нормального і дотичного переміщення, на якій виконується умова міцності типу Мізеса–Хіл्ला

$$\left(\frac{\sigma_{\theta}}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r\theta}}{\tau_1}\right)^2 = 1,$$

де σ_1 , τ_1 – опори відриву та зсуву першого матеріалу відповідно.

Задачу про визначення параметрів зони зведено до векторного функціонального рівняння Вінера–Гопфа, для якого знайдено наближений аналітичний розв'язок. З отриманого розв'язку виведено рівняння для розрахунку довжини і орієнтації зони передруйнування, фазового кута напружень і швидкості вивільнення енергії в зоні та розкриття тріщини у її вершині. Вказаних величин виявляється цілком достатньо для прогнозування напрямку поширення тріщини та умов її зрушення.

Для ілюстрації можливостей моделі виконано числовий аналіз параметрів зони передруйнування в кінці внутрішньої міжфазної тріщини у кусково-однорідній площині при її навантаженні рівномірно розподіленими тангенціальними і розтягувальними нормальними зусиллями. Виявлено суттєвий вплив на досліджувані параметри фазового кута зовнішнього навантаження і відношення опору відриву до опору зсуву матеріалу, в якому розвивається зона передруйнування. Показано, що в умовах двовісного пропорційного навантаження кут нахилу зони до межі поділу мало змінюється при збільшенні навантаження і може служити в якості прогнозованого кута повороту міжфазної тріщини. Продемонстровано можливість передбачення умов зрушення тріщини в рамках розвинутої моделі на основі критерію швидкості вивільнення енергії. Застосування моделі до аналізу окремих експериментальних результатів щодо повороту міжфазної тріщини засвідчило якісне і, частково, кількісне узгодження з ними та вказало на необхідність для квазікрихких матеріалів одночасного урахування крихкого і пластичного механізмів руйнування.

ON THE MODEL OF INTERFACE CRACK KINKING FROM THE INTERFACE OF QUASI-ELASTIC MATERIALS

To predict the kinking of an interface crack in a quasi-elastic material under plane strain conditions, a mathematical model of the process zone is formulated. In this model, the process zone extends from the tip of the interface crack at an angle to the plane interface of two homogeneous isotropic materials. In the process zone, the strength criterion of the Mises–Hill type is fulfilled, which implies a quasi-brittle mechanism of fracture. Determining the zone parameters is reduced to the Wiener–Hopf vector functional equation, for which an approximate analytical solution has been found. Equations are derived for calculating the length and orientation of the process zone, the phase angle of stresses, the amount of energy dissipation in the zone, and the crack tip opening. Under biaxial load conditions, a numerical analysis of the process zone parameters dependence on the loading values and the characteristics of the bounded materials was carried out. It is found that the studied parameters are significantly influenced by the phase angle of the external load and the ratio of the tensile strength to the shear strength for the material in which the process zone develops. The analysis of experiments on the kinking of the interface crack showed the possibility of using the developed model in studying the fracture of some composites of quasi-elastic materials.