



УДК 539.3

ТЕРМОМЕХАНІЧНЕ РОЗКРИТТЯ МІЖФАЗНОГО ТЕПЛОПРОНИКНОГО ДЕФЕКТУ

Середницька Х.І., Нагалка С.П.

Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача
НАН України, вул. Наукова, 3-б, Львів, 79060, labmtd@iapmm.lviv.ua

У праці [1] змодельовано температурне поле і термопружний стан біматеріалу з міжфазною тріщиною за наявності поверхневих плівок на берегах тріщини та її заповнювача. Нижче на основі цієї моделі досліджено термомеханічне розкриття такого дефекту та вплив на нього теплового потоку.

Розглянуто кусково-однорідну площину, компоненти якої відрізняються коефіцієнтами теплопровідності ($\lambda_1 \neq \lambda_2$) і лінійного теплового розширення ($\alpha_1 \neq \alpha_2$) та мають однакові механічні властивості ($\nu_1 = \nu_2 = \nu$, $G_1 = G_2 = G$). На лінії контакту півплощин розташована міжфазна тріщина завдовжки $2a$, заповнена рідиною або газом з коефіцієнтом теплопровідності λ_c . Береги тріщини покриті тонкими плівками, які створюють сумарний термоопір $R(x) = r_0 \sqrt{a^2 - x^2}$. Береги дефекту вважаємо ненавантаженими. Зовні тріщини виконуються умови ідеального механічного контакту півплощин. Біматеріал на нескінченності підданий дії однорідного теплового потоку q і розтягувальних зусиль p , перпендикулярних до міжфазної лінії.

Температуру, переміщення і напруження в композиті, використовуючи запропоновану в праці [2] методику, подано [1] через стрибок температури $\gamma(x)$ між берегами тріщини і її нормальне розкриття $h(x)$, для визначення яких отримано систему нелінійних сингулярних інтегро-диференціальних рівнянь

$$\frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{h'(t) dt}{t-x} = -\frac{\lambda \eta^-}{2} \gamma(x) - \frac{K}{2} p, \quad |x| < a, \quad h(\pm a) = 0,$$
$$\frac{\lambda_c \gamma(x)}{h(x) + r_0 \lambda_c \sqrt{a^2 - x^2}} - \frac{\lambda}{2\pi} \int_{-a}^a \frac{\gamma'(t) dt}{t-x} = q, \quad |x| < a, \quad \gamma(\pm a) = 0,$$

де $\lambda = 2 \lambda_1 \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$, $K = (1 + \kappa) / G$, $\kappa = 3 - 4\nu$; $\eta^- = \eta_2 - \eta_1$,
 $\eta_n = \alpha_n (1 + \nu) / \lambda_n$ – термічна дистортивність матеріалів.

Розв'язок цієї системи шукаємо за допомогою методу послідовних наближень з одночасним використанням методів ортогональних поліномів і колокацій.

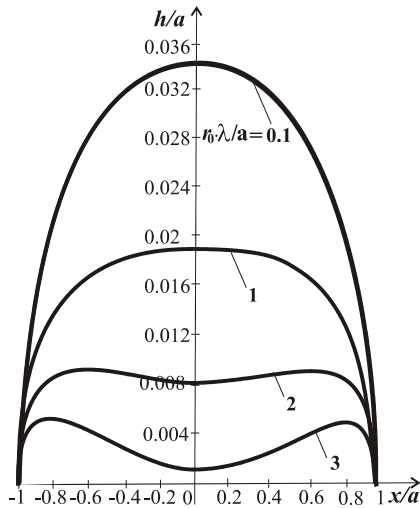


Рис. 1.

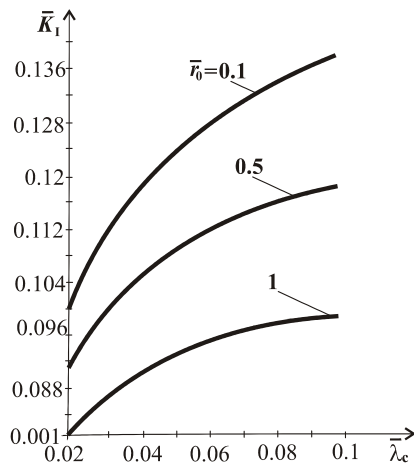


Рис. 2.

пору плівки $\bar{r}_0 = r_0\lambda/a$ у випадку теплового потоку, скерованого до

На основі числових розрахунків проаналізовано залежність розкриття тріщини від прикладеного термомеханічного навантаження, теплопровідності заповнювача і термоопору поверхневих плівки. Зокрема, виявлено, що у випадку, коли тепловий потік скерований до матеріалу з більшою термічною дистортивністю ($qa\eta^- > 0$) збільшення теплопровідності заповнювача і зменшення термоопору поверхневих плівки призводить до зменшення розкриття тріщини. Якщо ж тепловий потік скерований до матеріалу з меншою термічною дистортивністю ($qa\eta^- < 0$), то ефект протилежний. Для такого напрямку потоку на рис. 1. зображено вплив термоопору плівки r_0 на розкриття тріщини для фіксованих величин теплопровідності заповнювача ($\lambda_c/\lambda = 0.09$), теплового потоку ($qa\eta^- = -0.09$) і розтягувальних зусиль ($pK = 0.1$). Бачимо, що із збільшенням термоопору відбувається зменшення розкриття, причому, починаючи з деякого значення термоопору виникає локальний мінімум розкриття в центрі тріщини. Якщо поверхневих плівки на берегах тріщини немає, то такий ефект відсутній [3].

На рис. 2. проілюстровано залежність коефіцієнта інтенсивності нормальних напружень (КІН K_I) від теплопровідності заповнювача $\bar{\lambda}_c = \lambda_c/\lambda$ для різних значень термоопору плівки r_0 .

матеріалу з меншою термічною дистортивністю ($q\alpha\eta^- < 0$). Бачимо, що збільшення термоопору плівок призводить до зниження коефіцієнта КІН K_1 , а збільшення теплопровідності заповнювача – до збільшення K_1 . Якщо ж тепловий потік напрямлений в сторону матеріалу з більшою термічною дистортивністю, то вплив цих чинників на КІН K_1 протилежний до вище проілюстрованого.

1. Мартиняк Р. М., Гончар Х.І. Моделювання термопружної поведінки біматеріалу з теплопроникною міжфазною тріщиною // Прикл. пробл. мех. і мат. – 2005. – Вип. 3. – С. 83-88.
2. Мартиняк Р.М. Термічне розкриття початково закритої міжфазної тріщини за неідеального теплового контакту берегів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 1999. – 35:5. С. 14–22.
3. Мартыняк Р.М., Гончар Х.И. Термоупругое деформирование биматериала с межфазным дефектом, заполненным теплопроводной средой // Теорет. и прикладная механика. – 2005. – Вып. 41. – С. 58-62.

THERMO-MECHANICAL OPENING OF INTERFACE HEAT CONDUCTIVE CRACK

The behaviour of a bimaterial interface crack in the case of different thermal components properties is studied. The crack's faces takes into account surface films and substance filling the crack. The problem has been reduced to simultaneous nonlinear singular integro-differential equations for the temperature jump and crack opening. Numerical analysis of the problem is performed and dependence of crack opening on the heat conductivity surface films and substance filling the crack is investigated.