

EXPERIMENTÁLNÍ A NUMERICKÉ URČENÍ PARAMETRŮ LOMOVÉ MECHANIKY PRO PŘÍPAD KOMBINOVANÉHO ZATÍŽENÍ

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL DETERMINATION OF FRACTURE MECHANICS PARAMETERS IN THE CASE OF COMBINED LOADING

F. Plánička, V. Laš, P. Koška, J. Vízner

The boundary element method is applied to the J-integral determination in the case of a mixture of modes I and II. Results are compared with those obtained using photoelasticity method.

Příspěvek se zabývá stanovením hodnot J-integrálu u rovinné desky s centrální šikmou trhlinou zatíženou jednoosým tahem. Výpočet byl proveden numericky s využitím metody hraničních prvků (MHP) a ověřen experimentálně pomocí fotoelasticimetrické metody.

Stanovení J_I a J_{II} pomocí MHP

Při řešení úloh se symetrickou trhlinou se výpočtový model sestavuje pouze z jedné poloviny zkoumané oblasti. Tyto úlohy lze řešit běžným programem založeným na bázi MHP. Tento program však selhává při výpočtu nesymetrických úloh.

Jedna z možností jak řešit nesymetrické úlohy, je využití techniky substruktur v MHP [1]. Tato metoda spočívá v tom, že se řešená oblast rozdělí řezem procházejícím trhlinou na dvě části (substrukтуры), které jsou spolu svázány okrajovými podmínkami

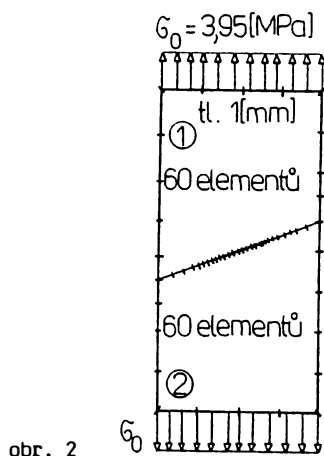
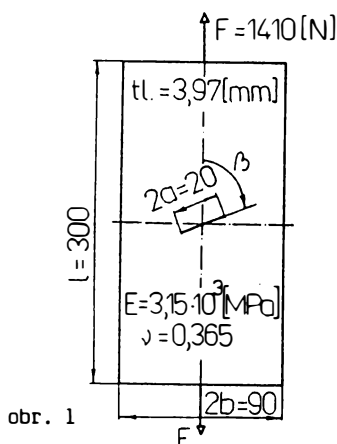
$${}^1u_i = {}^2u_i ; \quad {}^1t_i = - {}^2t_i ; \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

kde 1u_i , 2u_i , 1t_i , 2t_i jsou posuvy a napětí v uzlových bodech části 1 a části 2 na společné hranici. Tyto posuvy a napětí vstupují do výpočtu jako další neznámé hodnoty na hranici.

Jedním z kritérií stability trhliny je Rice-ův J-integrál. U obecně umístěné trhliny dochází při zatížení ke kombinaci modu I a modu II a J-integrál obsahuje příspěvky obou modů. Platí obecně známý vztah [3]

$$J = J_I + J_{II} \quad (2)$$

$$\text{kde } J_k = \int_{\Gamma} \left[w^k dx_2 - t_i^k \frac{\partial u_i^k}{\partial x_1} ds \right], \quad k = I, II, \quad i = 1, 2.$$



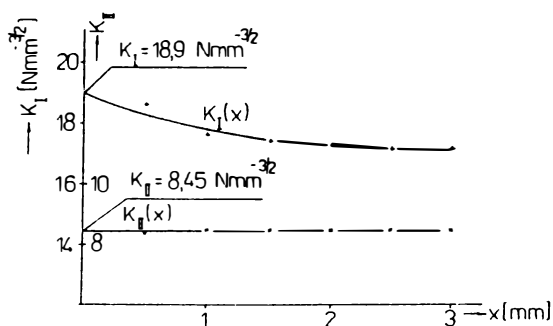
Výpočet hodnot J_I a J_{II} byl proveden na rovinné desce se šikmou centrální trhlinou. Rozměry desky, zatížení a materiálové konstanty jsou zřejmé z obr. 1. Výpočtový model byl vytvořen pomocí 120ti elementů, přičemž v okolí hrotů trhliny byla zvolena jemná síť o velikosti elementů 1 [mm] (obr. 2).

Fotoelasticimetrická metoda

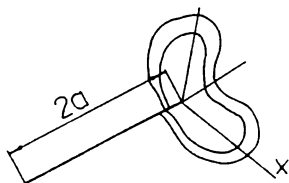
Hodnoty integrálů J_I , J_{II} a $J = J_I + J_{II}$ pro uvažovaný případ rovinné napjatosti byly z experimentálně

určených součinitelů intenzity napětí K_I a K_{II} [4] (obr. 3) pro úhel $\beta = 60^\circ$ vypočteny pomocí vztahu

$$J_J = \frac{1}{E} K_J^2, \quad \text{kde } J = I, II \quad (3)$$



obr. 3



obr. 4

K odstranění značného rozptylu při výpočtu součinitelů intenzity napětí K_I a K_{II} z naměřených fotoelastimetrických veličin m a φ byl použit nový postup, kdy obě měřené veličiny byly určovány v závislosti na vzdálenosti r od vrcholu trhliny podél dvou přímek vedených tak, aby pokud možno procházely vrcholy izochromát (obr. 4). Hodnoty K_I a K_{II} byly vypočteny pomocí vztahů [4]

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{2\sqrt{\pi a}} g \cos B + \frac{K_{II}}{2\sqrt{\pi a}} (h \cos A - g \sin B) \quad (4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{m}{2t} k_o \sin 2\varphi$$

vždy ze dvou hodnot pro uvažované přímky na stejném poloměru x . Výsledná hodnota obou veličin byla na poloměru x určena jako střední hodnota z osmi hodnot získaných vyhodnocením měření. Extrapolací do vrcholu trhliny byly určeny hodnoty součinitelů napětí K_I a K_{II} , obr. 3.

Závěr

Experimentálně bylo uvedeným postupem bylo určeno $K_I = 18,9 \text{ Nmm}^{-3/2}$, $K_{II} = 8,45 \text{ Nmm}^{-3/2}$ pro $\beta = 60^\circ$. Ze vztahu (3) bylo vypočteno $J_I = 11 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$, $J_{II} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$ a $J = 13,3 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$. Pomocí numerické metody hraničních prvků bylo vypočteno: $J_I = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$, $J_{II} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$ a $J = 12,5 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-1}$. Odtud vyplývá, že rozdíl se pohybuje v rozmezí 6% u J-integrálu a 17% u J_{II} , kde také rozdíly výsledků získaných experimentálně a pomocí analytické závislosti pro větší úhly β , tedy při menším podílu II. modu, jsou větší. Hodnota J_{II} získaná numerickým výpočtem se blíží hodnotě vypočtené z analytické závislosti ($J_{II} = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ Nmm}^{-2}$).

Práce byla uskutečněná za finanční podpory Grantové agentury ČR s číslem grantu 101/93/0113.

LITERATURA:

- [1] Brebbia, C. A.: Boundary element techniques, Springer - Verlag, Berlin 1984.
- [2] Plánička, F. - Laš, V.: Porovnání součinitelů intenzity napětí stanovených experimentálně a numericky, Sborník konference EAN, Měříň 1993, s. 239 - 242.
- [3] Rice, J. R.: A path independent integral and the approximate analysis of strain concentrations by notches and cracks. J. Appl. Mech., 33, June 1968, pp. 379 - 386.
- [4] Vísner, J. - Bělský, A.: Napětí u špičky šikmé trhliny - fotoelasticimetrické určení součinitelů K_I a K_{II} , Výzkumná zpráva Škoda k.p. Plzeň, Závod Energetické strojírenství, 1986.

František Plánička, Prof., Ing., CSc.; Vladislav Laš, Doc. Ing. CSc.; Petr Koška, Ing.

Západočeská univerzita, Americká 42, 306 14 Plzeň

Telefon 019/2171131, fax 019/274251

Josef Vísner, Ing., CSc.

Škoda, Jaderné strojírenství s.r.o., Orlická 266, 316 06 Plzeň

Telefon 019/2155294, fax 019/525967