



USING BRAZIL NUT SPECIMEN FOR EVALUATION OF MIXED MODE
FRACTURE TOUGHNESS
URČOVÁNÍ LOMOVÉ HOUŽEVNATOSTI G_c POMOCÍ VZORKU
TYPU BRAZILSKÝ DISK

Zemánková J., Vavřík D.

Summary: The cracks in the structures are most frequently of the mixed mode type, so that determining of the mixed mode fracture toughness is necessary.

The Brazil Nut specimen is appropriate for this purpose namely in the case of the brittle materials. Stress state at the tip of the crack in the bimaterial interface is immanently of the mixed mode. The paper describes the theory and presents the experimental measurement of the interface fracture toughness for epoxy-glass material combination.

Převážná část trhlin, vyskytujících se v provozu v konstrukcích je obvykle situována tak, že v napěťovém poli součásti vzniká na jejím čele smíšené namáhání, nejčastěji jde o kombinaci I. a II. módu. Posuzování nestability takového defektu či životnosti součásti vyžaduje znalost odporu materiálu proti šíření trhliny za těchto okolností, tedy lomovou houževnatost G_c při smíšeném namáhání. Ukazuje se, že u většiny konstrukčních materiálů nelze velikost G_c určovat na základě znalosti G_{Ic} (K_{Ic}) a G_{IIc} (K_{IIc}) podle známých jednoduchých lomově-mechanických modelů. Líce trhliny, které nejsou ve skutečnosti ideálně hladké, vytváří svou hrubostí povrchu a vzájemným třením při narůstajícím příspěvkem II. event. III. módu namáhání předpoklady pro tzv. "crack shielding effect" v kořeni trhliny. Projevuje se zdánlivým odlehčením v okolí čela lomu, menší hnací silou trhliny, vedoucí k nezbytnosti vyššího

namáhání nutného k vyvolání nestability takové trhliny, tedy jako vyšší lomová houževnatost materiálu. Fenomenologicky lze tyto vazby popsat např. rovnicí typu [1] :

$$\left(\frac{1-\nu^2}{E}\right)(K_I^2 + \lambda_2 K_{II}^2) + \lambda_3 \frac{K_{III}^2}{2\mu} = G_{IC} \quad (1)$$

Zde E, μ jsou moduly pružnosti v tahu a ve smyku, ν je Poissonovo číslo, λ_2, λ_3 konstanty mezi 0 a 1, G_{IC} lomová houževnatost při I. módu.

Je tedy zřejmé, že odpor materiálu proti rozvoji trhliny při smíšeném módu namáhání bude záviset na relativním podílu smykových módů K_{II} (event. K_{III}) k módu otevření K_I . To potvrdila celá řada experimentálních šetření. Měření lomové houževnatosti materiálu za těchto podmínek tedy neznamená určení jediné hodnoty materiálové veličiny, jako v případě čistých módů, ale proměření funkční závislosti:

$$G_c = \Gamma = f\left(\frac{K_{II}}{K_I}\right) \quad (2)$$

Časová a finanční efektivnost a nenáročnost takovéhoho experimentálního měření závisí na volbě metodiky a typu vzorku.

Jedním z případů, kdy je na čele trhliny přítomen smíšený mód namáhání imanentně i tehdy, když by vnější zatížení a geometrie ukazovaly např. na čistý I. mód, je případ trhliny v rozhraní elastických materiálů s odlišnými moduly pružnosti. Příčinou je právě tato asymetrie materiálových vlastností.

U trhliny v bimateriálovém rozhraní bylo navrženo posuzovat její stabilitní stav [2] nerovností:

$$G_i \geq G_{ic} = \Gamma(\hat{\psi}, \hat{r}) \quad (3)$$

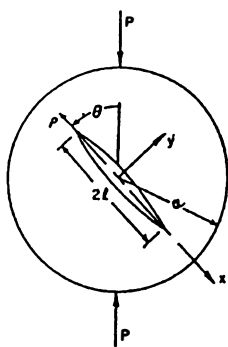
kde G_i je hnací síla trhliny v rozhraní, index c značí její kritickou hodnotu, Γ lomová houževnatost rozhraní. Fázový úhel $\hat{\psi}$ v kořeni trhliny, neboli mixcita, byla definována v bodě \hat{r} před čelem trhliny jako:

$$\hat{\psi} = \arctg \frac{\tau_{xy}}{\sigma_y} \Big|_{r=\hat{r}} \quad (4)$$

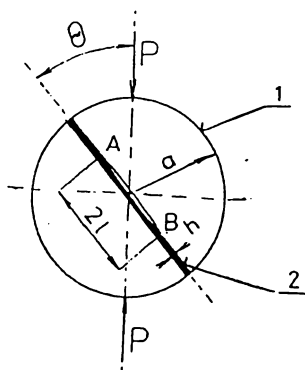
τ_{xy}, σ_y je smyková a normálová složka napětí na čele trhliny, které jsou úměrné složkám K_2 a K_1 komplexního faktoru intenzity napětí, r jedna z polárních souřadnic s počátkem v kořeni lomu.

Měření lomového odporu bimateriálového rozhraní Γ jako funkce mixicity jsme ze zmíněných důvodů efektivitivy chtěli provádět na jediném typu vzorků s trhlinou. Pro tento účel je vhodný vzorek typu "brazilský disk". Jde o kotouč s radiální trhlinou v ose vzorku namáhaný vzhledem k rovině trhliny tlakem pod měnicím se úhlem (obr. 1). Tím je možné vyvolat na čele trhliny napjatost od čistého I. módu přes smíšený po čistý II. mód (u isotropního tělesa při $l/a = 0.3$ je $\theta \in \langle 0; 21^\circ \rangle$). K-kalibrační funkce pro tento případ byly spočteny a publikovány v práci [3]. U trhliny ležící v rozhraní bimateriálového disku byly kalibrační funkce spočteny numericky MKP dr. Fialou z ÚTAM [4], pro sendvičové uspořádání, kdy materiál 2 má podobu tenké vložky v materiálu 1 (obr. 1a), jsme je odvodili z obecných doplňujících relací uvedených v [5]. Bylo bráno $\hat{r} = lmm$.

Obr.2 ukazuje výsledky našeho měření lomové houževnatosti bimateriálového rozhraní sklo-epoxidová pryskyřice pro sendvičový brazilský disk. Stručně lze získané závěry shrnout následovně: potvrdil se obecně zjišťovaný nárůst lomové houževnatosti s rostoucím $\hat{\psi}$. Nejnižší hodnoty houževnatosti rozhraní při převládajícím "I. módu" ($\hat{\psi} \equiv 0$) jsou obvykle nižší než houževnatost objemově převládajícího materiálu. V tomto smyslu se rozhraní skutečně chová jako nejslabší místo. Jde-li o spoj objemově stejně zastoupených materiálů, je naměřená houževnatost bližší houževnatosti křehčího materiálu. Překvapivé však bylo, že podle hodnot lomových houževnatostí se rozhraní nechová jako "osobitě" prostředí, ale přizpůsobuje své vlastnosti objemově převládajícímu materiálu. Tento závěr vyvolává potřebu nového měření a kritického zhodnocení koncepce lomové mechaniky rozhraní.

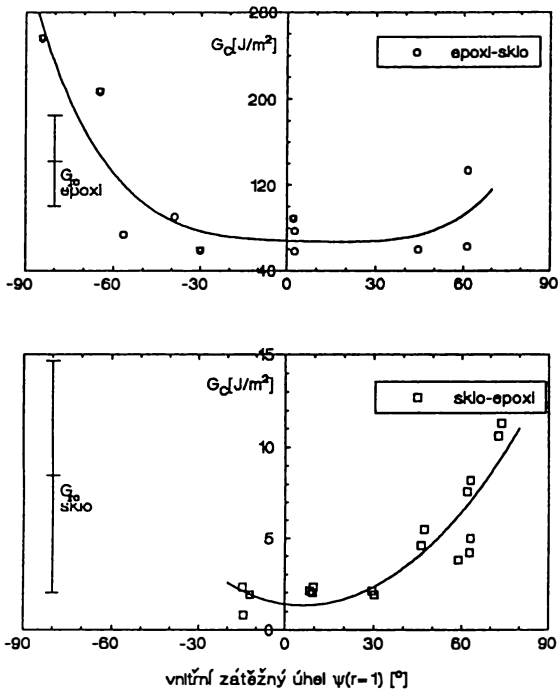


Obr. 1: brazilský disk.



Obr. 1a: brazilský sendvičový disk.

LOMOVÁ HOUŽEVNATOST G_c -BRAZILSKÝ SENDVIČOVÝ DISK



Obr.2: Lomová houževnatost G_c rozhraní sklo-epoxi.

LITERATURA:

- [1] JENSEN,H.M.:Mixed mode fracture criteria. Rep. No 404, Technical University of Denmark, May 1990. -[2] RICE,J.R.: Journ. Appl. Mech., March 1988, p.98. -[3] ATKINSON,C. -SMELSER,R. -SANCHEZ,J.: Int. Journ. Fract., 18, 1982, p.279. -[4] FIALA,Z.: Výpočet kFIN pro trhlinu v bimateriálovém rozhraní. VZ: ÚTAM AV ČR, Praha 1992. -[5] SUO,Z. -HUTCHINSON,J.W.: Mater. Sci. Engn., A 107, 1989, p98

Ing. Jaroslava Zemánková CSc

Ing. Daniel Vavřík

Institute of Theoretical and Applied Mechanics ASCR Vyšehradská 49, 128 49 Prague 2

Telephone 422-299171/FAX 422-295903