

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ FAKTORU INTENZITY NAPĚTÍ PODÉL ČELA ROHOVÉ TRHLINY

Václav Mentl, ÚVZÚ k.p.Škoda Plzeň

V příspěvku jsou uvedeny výsledky měření faktoru intenzity napětí podél čela rohové trhliny ve zkušebním tělese obdélníkového průřezu při míjivém cyklickém zatěžování.

V řadě inženýrských konstrukcí dochází k případům, kdy se trhlina nachází ve složitém napěťovém poli (kombinované namáhání, koncentrátoři napětí), navíc samotná trhlina se co do tvaru čela odlišuje od ideálních případů (část kruhu nebo elipsy) řešitelných známými matematickými postupy. Pro takové trhliny neexistuje doposud přesné analytické řešení faktoru intenzity napětí (FIN) podél čela trhliny a jeho výpočty jsou založeny na různých aproximačních matematických postupech při využití špičkové výpočetní techniky.

Postulované vstupní předpoklady, použitý matematický model a kapacita výpočetní techniky (a tím v neposlední řadě i ekonomika) ovlivňují přesnost získaných výsledků. Ta je poměrně dobrá (v rozsahu několika procent) při uvažování statického stavu, při řešení rozvoje trhliny v důsledku únavového namáhání a výpočtu životnosti konstrukce se však chyba statického výpočtu násobí, takže výsledný odhad životnosti je zatížen často nepřijatelnou chybou.

Změny tvaru čela trhliny v průběhu jejího šíření při cyklickém zatěžování jsou komplexní povahy a závisí na

- 1) okamžitém (původním, výchozím) tvaru trhliny
- 2) lokálním stavu napjatosti (rovinná napjatost, rovinná deformace) a úrovni zatížení
- 3) redistribuci napětí v důsledku koncentrátorů napětí
- 4) vlivu volných povrchů, okrajů a rohů tělesa (souvisí úzce s body 2 a 3)
- 5) lokálních mechanických vlastnostech prostředí, ve kterém se trhlina šíří (homogennost, isotropie).

Experimentální metoda umožňující stanovení FIN v konkrétním místě čela trhliny, popsaná podrobněji v dřívějších příspěvcích /1/ a /2/, využívá poznatku, že rychlost šíření trhliny při cyklickém zatěžování je jednoznačnou funkcí rozkmitu FIN a lze ji vyjádřit Parisovým vztahem $dc/dN = A \cdot \Delta K^n$. Změříme-li rychlost šíření trhliny (na zkušebním tělese, u něhož lze jednoduše vypočítat velikost FIN) v závislosti na velikosti rozkmitu FIN, můžeme z uvedeného vztahu určit obě materiálové konstanty A a n.

U reálné trhliny v tělese libovolného tvaru (z téhož materiálu jako zkušební těleso, na němž byla měřena rychlost šíření trhliny) lze tedy lokální rychlost šíření trhliny vyjádřit stejným vztahem. Změříme-li změnu délky trhliny v určitém místě jejího čela v závislosti na počtu zatěžných cyklů, můžeme z výše uvedené rovnice stanovit velikost FIN v tomto místě.

V pracích /1/ a /2/ byla uvedená metoda použita ke stanovení FIN podél čela reálné povrchové trhliny šířící se z delší strany obdélníkového průřezu tělesa.

V tomto příspěvku jsou experimentálně určeny průběhy FIN podél čela rohové trhliny, a to pro dva případy trhlín:

- 1) jednostranná rohová trhlina v tělese obdélníkového průřezu, obr.1
- 2) souměrná dvojice rohových trhlín šířící se z kruhového otvoru, obr.2.

V obou případech bylo cyklické zatěžování realizováno v režimu řízeného konstantního rozkmitu zatěžné síly v mezích od $F_{\min} = 0$ do $F_{\max} = 180$ kN (průřez tělesa 12,5 x 50 mm, nominální napětí $\bar{\sigma} = 300$ MPa = 0,5 R_g) při teplotě cca 25°C. Důsledné mívivé zatěžování ($F_{\min} = 0$) usnadnilo následné vyhodnocování, neboť ve všech případech automaticky platilo $K_I = K_{\max} - K_{\min} = K_I$. Zatěžování bylo prováděno sinovým cyklem frekvencí 6 Hz na elektrohydraulickém zkušebním zařízení MTS 500 kN. Postup trhliny byl značkován metodou ohřevu ("heat tinting") a po zlomení tělesa proměřován při dvacetinásobném zvětšení.

Jedním ze zdrojů chyb při matematickém řešení problematiky reálných trhlin je náhrada skutečného tvaru čela trhliny (v našem případě rohové) kruhovým obloukem nebo čtvrtelipsou. Podívejme se proto nejprve, jak je tento předpoklad splněn ve skutečnosti. Získané tvary trhlin v případě trhliny podle obr.1 jsou uvedeny na obr.3. Je zřejmé, že tyto trhliny se blíží předpokladu čtvrtkruhové trhliny; při hloubce trhliny $a = 10 \text{ mm}$ se postup trhliny ve směru tloušťky tělesa poněkud zpomaluje ($a/c = 0,9$) zřejmě vlivem zadního povrchu tělesa, aby se následně trhliny poměrně rychle rozšířila přes zadní roh tělesa ($da/dN \gg dc/dN$) a šířila se dále v podstatě již jako boční trhliny.

Rohové trhliny šířící se z kruhového otvoru dle obr.2 poskytl zcela jiný obraz. Trhlina postupovala značně rychleji ve směru tloušťky tělesa ($da/dN > dc/dN$) viz obr.3, takže s výjimkou situace na samotném počátku šíření trhliny nelze její tvar aproximovat ani kružnicí a velmi brzy po té již ne ani elipsou. Rychlejší šíření ve směru podélné osy otvoru lze vysvětlit zřejmě odlišeným stavem napjatosti v okolí otvoru. Tento způsob šíření rohové trhliny není možno zobecnit, je zřejmě jen vyjádřením působení určité kombinace vlivů uvedených výše.

Porovnání experimentálně vyhodnocených FIN podél čela rohové trhliny s výsledky matematických řešení různých autorů /3/ - /7/ ukazuje obr.4. Rohová trhlina podle obr.1, šířící se přibližně jako čtvrtkruhová, zachovává v podstatě konstantní rozložení FIN podél svého čela. Rozptýl experimentálních hodnot je nutno přičíst na vrub nepřesnosti měření a na okrajích také vlivu větších plastických deformací. Trhlina vycházející z kruhového otvoru vykazuje podstatně vyšší hodnoty FIN v oblasti přilehlé k otvoru, což je v souladu s vyšší pozorovanou rychlostí jejího šíření v tomto směru.

Je zřejmé, že matematické modely nerespektující reálný tvar trhliny, který, jak bylo ukázáno, může být značně odlišný od kruhové, resp. eliptické aproximace, si nemohou činit nároky na vyšší přesnost ani v případech homogenního isotropního prostředí. Naopak by měly být schopné brát v úvahu i situace, kdy se trhlina šíří ve složitém napěťovém poli, kde

např. různé koncentrátoři napětí mění lokální napěťovou situaci a vlastní trojosá napjatost v tělese se superponuje s napjatostí v tělese.

Na základě uvedených výsledků je možno konstatovat následující:

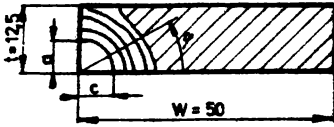
Jednostranná rohová trhlinka se šíří způsobem, který v podstatě zachovává přibližně polokruhový tvar a jako taková může být také matematicky interpretována. V okrajových partiích, kde má vliv stav rovinné napjatosti v povrchové vrstvě, vykazují experimentální výsledky opačný trend než dávají matematická řešení. Kvalitativní i kvantitativní nesouhlas je patrný i v případě symetrických trhlin šířících se z kruhového otvoru.

Je nutno samozřejmě připustit, že experimentální hodnoty jsou zatíženy poměrně značnou chybou měření, na druhé straně však matematické postupy pravděpodobně příliš zjednodušují a idealizují reálnou situaci.

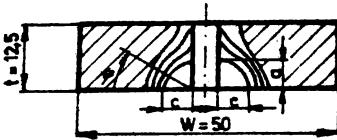
Nepopiratelnou skutečností zůstává, že tvar čela šířící se trhliny věrně respektuje jak napěťovou situaci v tělese, tak homogennost a isotropii mechanických vlastností. Z tohoto pohledu zůstane studium šíření reálných trhlin významným kritériem pro teoretické předpoklady a postupy.

Literatura

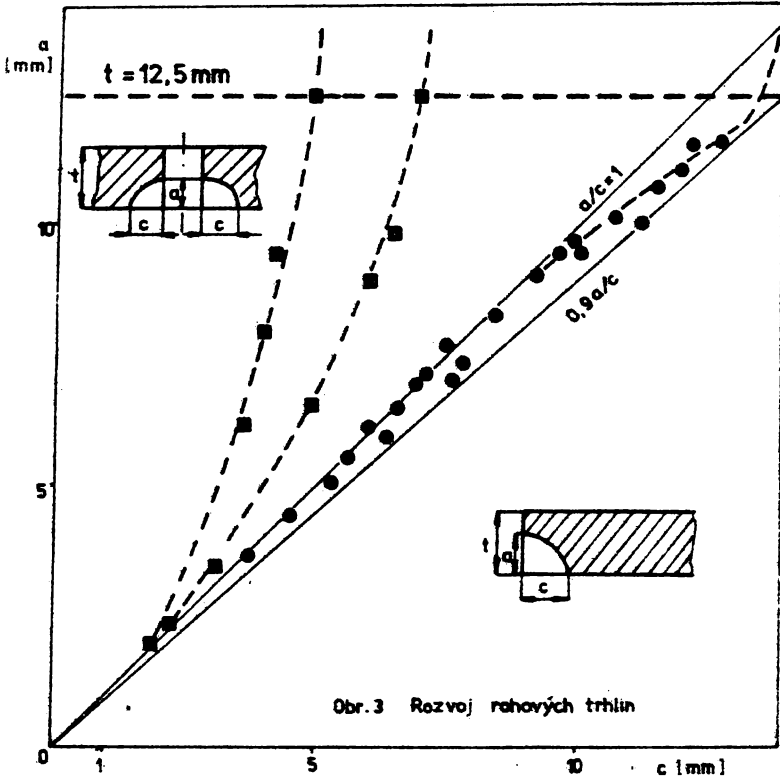
- /1/ Mentl V.: Exp.stanovení faktoru intenzity napětí podél čela zakřivené trhliny, Sb. EAN'86 Olomouc, str.142
- /2/ Mentl V.: Exp.stanovení vlivu konečných rozměrů tělesa na velikost součinitele int.napětí, Sb.EAN'88, Holany, str.84
- /3/ Raju I.S., Newman J.C.Jr., ASTM STP 677, 1979, str.411-430
- /4/ Pickard A.C., Proc.Int.Conf.Numer.Methods Fracture Mech., Swansea, 1980
- /5/ Grandt A.F.Jr., Kullgren T.E., Proc.Aerosp.Conf.Emerg. Technol, S.Francisco, 1980
- /6/ Pin Tong, Atluri S.N., On hybrid finite element tech. for crack problems, pramen neznámý
- /7/ Kullgren T.E., Smith F.W., Ganong G.P., Trans.ASME, JEMT, Vol.100, 1978, str.144

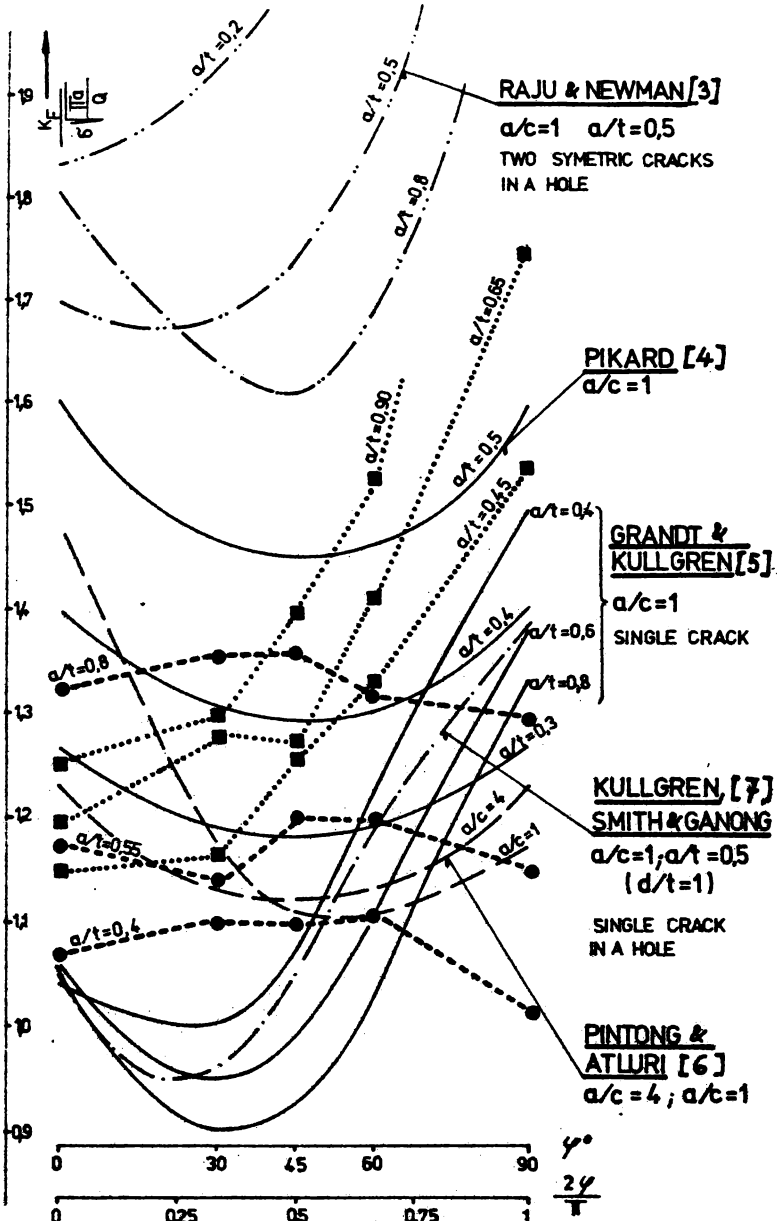


Obr.1 Jednostranná rohová trhlina
(označení ●)



Obr.2 Symetrické rohové trhliny šířící se z kruhového otvoru
(označení ■)





Obr. 4 Rozložení FIN podél čela trhliny