EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ FAKTORU INTENZITY NAPĚTÍ PODÉL ČELA ZAKŘIVENÉ TRHLINY

Václav Mentl

Ústřední výzkumný ústav, k.p. Škoda Plzeň

Pole napětí na čele ostré trhliny je jednoznačně charakterizováno faktorem intenzity napětí, jehož výpočet u trhlin se zakřiveným čelem je spojen s řadou potíží. V příspěvku je popsána experimentální metoda určování faktoru intenzity napětí, která je založena na poznatku, že okamžitá rychlost šíření trhliny je jednoznačnou funkcí rozkmitu faktoru intenzity napětí.

Z analýzy napjatosti v okolí trhliny vyplývá, že napěťové a deformační pole v blízkosti čela trhliny může být jednoznačně charakterizováno jediným parametrem, faktorem intenzity napětí K_I. Kritická hodnota K_I se nazývá lomová houževnatost K_{IC}. Ze závislosti velikosti napětí na čele trhliny na geometrii trhliny a tělesa vyplývá, že K_I je dán obecně vztahem $K_I = Y.\sigma\sqrt{a}$, kde **a** je délka trhliny, σ působící napětí a Y konstanta charakterizující geometrickou konfiguraci.

K rozhodnutí o tom, zda se daná trhlina v daném napěťovém poli bude šířit, je nutno znát
- součinitel intenzity napětí, tzn. konstantu Y,
- lomovou houževnatost daného materiálu K_{IC}.

Při určování součinitele intenzity napětí pomocí analýzy elastické napjatosti mohou, s ohledem na typ a lokalizaci trhliny, nastat tři případy, představující v podstatě tři stupně komplexnosti celé problematiky:

a) průchozí ("dvojrozměrná") trhlina, pro kterou platí v podstatě nejjednodušší výše uvedený výraz, i když v konkrétních případech je nutno ho doplnit korekčními faktory respektujícími vliv konečných rozměrů tělesa, plastických deformací a pod.,

b) povrchové nebo vnitřní trhliny, které vyžadují řešení prostorové trojosé napjatosti. Přitom se v těchto případech může jednat
- o případy, kde pole napjatosti je konstantní nebo se mění lineárně (tah, ohyb),
- případy, kdy se trhlina nachází ve složitém napěťovém poli (případy kombinovaného namáhání, koncentrátory napětí a pod.).

Ve většině inženýrských konstrukcí bohužel převládají případy uvedené v bodě b). V těchto případech jsou přesné výpočty součinitele intenzity napětí velmi složité, v mnoha případech dosud nerealizovatelné, přitom přibližné metody výpočtu nedávají vzhledem ke složitosti problematiky dostatečně přesné výsledky a navíc neumožňují výpočet K_I podél čela trhliny, což je podstatné při úvahách o způsobu dalšího šíření trhliny.

V tomto příspěvku je popsána experimentální metoda, která umožňuje určit součinitel intenzity napětí bez ohledu na složitost geometrické nebo napěťové situace. Metoda využívá poznatku, že okamžitá rychlost šíření trhliny při cyklickém zatěžování je pro daný materiál a zátěžné podmínky (teplota, prostředí atd.) jednoznačnou funkcí rozkmitu faktoru intenzity napětí /1/. Tuto závislost určíme na tělesech a za podmínek, kdy přesný výpočet K_I nepůsobí potíže. Pro sledovanou trhlinu potom zbývá pouze určit rychlost jejího postupu v určitém místě jejího čela.

Protože se jedná o trhliny, u nichž nelze sledovat rychlost jejich šíření měřením délky trhliny na volném povrchu, zvolili jsme pro měření rychlosti šíření trhlin metodu barvení lomové plochy chřevem ("heat tinting"), která umožňuje proměření několika postupových čar na lomové ploše po lomu zkušebního tělesa.

Zkoušky byly prováděny na zkušebních tělesech obdélníkového průřezu 12,5 x 50 mm. Trhliny byly iniciovány z malých mechanicky vyrobených otvorů. Tělesa byla zatěžována ve zkušebním stroji MTS 500 kN míjivým tahovým zátěžným cyklem s konstantní velikostí amplitudy zátěžné síly frekvencí 10 Hz při teplotě 20°C. Po lomu tělesa byl nárůst trhliny v závislosti na počtu cyklů proměřován v devíti bodech podél čela trhliny při dvacetinásobném zvětšení. Tímto způsobem bylo možno pro jednotlivé trhliny stanovit závislost délky trhliny na počtu cyklů v libovolném místě čela trhliny a stanovit tak také rychlost jejího šíření v určeném místě. Na základě předem změřené závislosti rychlosti šíření trhliny na rozkmitu faktoru intenzity napětí bylo tak možno vybraným bodům podél čela trhliny přiřadit příslušnou velikost K_I.

Porovnání experimentálních výsledků získaných pro několik postupových čar trhliny iniciované ze středu delší strany průřezu s výsledky výpočtu součinitele intenzity napětí pro povrchovou poloeliptickou a polokruhovou trhlinu podle /2/ je na obr.1.

Přes značný rozptyl experimentálních výsledků, který je přirozeným důsledkem celé řady faktorů (přesnost měření trhliny, nehomogenita a anizotropie materiálu, vliv plastických deformací), je nutno přiznat, že experimentální výsledky jak kvalitativně, tak kvantitativně odpovídají teoretickému řešení, a to i přesto, že závislosti převzaté z literatury nebyly k dispozici přesně pro tu geometrii a velikost trhliny, která byla skutečně dosažena.

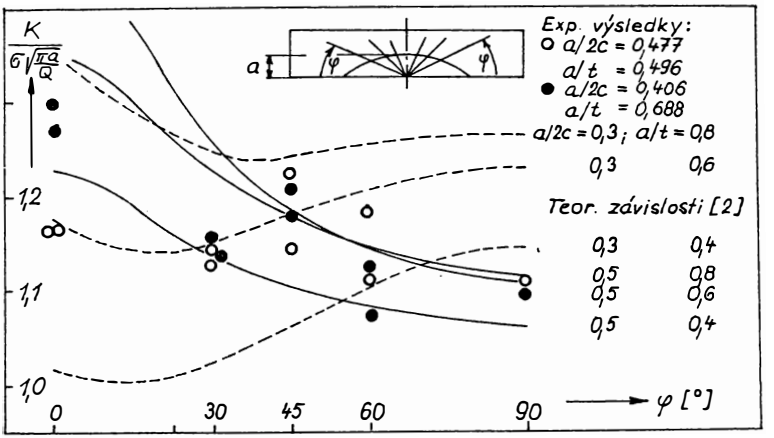
Je třeba připomenout, že reálná trhlina nemá ideální poloeliptický nebo polokruhový tvar aplikovaný ve výpočtech, ale pokud se šíří cyklickým zatěžováním v rovnoměrném napěťovém poli, zachovává v podstatě tvar, kde na čele trhliny je součinitel intenzity napětí přibližně konstantní. V obr.2 to v podstatě dokumentují vynesené závislosti K_I podél čela několika trhlin, kde je možné pozorovat jednak nižší hodnoty K_I v nejhlubším místě trhliny způsobené vlivem zadního povrchu tělesa, jednak růst K_I u trhliny iniciované mimo podélnou osu tělesa, jakmile se začal projevovat vliv konečné šířky tělesa.

Uvedené jednoduché experimentální příklady měly dokumentovat reálnou možnost použití uvedené metody pro stanovení součinitele intenzity napětí podél čela zakřivené trhliny, a to zejména v takových případech, kdy složitost geometrie tělesa, trhliny i napěťového pole, popřípadě přítomnost větších plastických deformací působí potíže při hledání přesného řešení matematickou cestou.

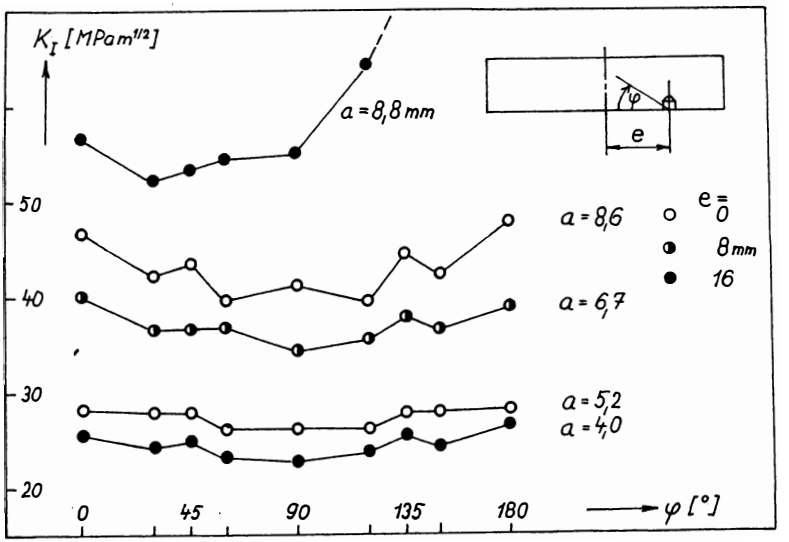
Literatura:

/1/ Paris P.C., Erdogan F., A critical analysis of crack propagation laws, J. bas. Engng, 85, str. 528 - 534, 1963

/2/ Raju I.S., Newman Jr.J.C., Stress-intensity factors for a wide range of semi-elliptical surface cracks in finite-thickness plates, Eng.Fracture Mech., 11, str. 817 - 829, 1979



Obr.1. Porovnání experimentálních výsledků s teoretickými závislostmi změny K_I podél čela trhliny



Obr.2. Experimentální výsledky rozložení K_I podél čela trhliny