

Oponentní posudek dizertační práce

NUMERICKÉ MODELOVÁNÍ RŮSTU ÚNAVOVÉ TRHLINY VE SLITINĚ D16CT1

Autor: Ing. Ondřej ŠIMEK

Školitel: doc. Ing. Vladislav OLIVA, CSc.

Pracoviště: FJFI ČVUT v Praze

Práce pojednává o inženýrsky důležité a stále aktuální tématice šíření únavových trhlin. Jejím hlavními cíli byly: a) provést co nejvěrnější simulace mechaniky cyklické elasticko-plastické deformace a napětí na reálně zakřiveném čele VCÚ trhliny v hliníkové slitině D16CT1; b) testovat různá kritéria NCÚ životnosti pro kvantifikaci poškození před čelem VCÚ trhliny; c) posoudit oprávněnost přenosu životnostních charakteristik ze standardních vzorků pro NCÚ do mikroobjemu před čelem trhliny.

Práce je rozdělena do několika kapitol. V rešeršní kapitole je pozornost zaměřena zejména na modely růstu únavových trhlin, kde je podán vyčerpávající popis fenomenologických modelů na bázi mechaniky kontinua s využitím únavových experimentů. Je zde však zmínka pouze o jednom z mikroskopických modelů (Van der Giessen et al.), založených na dynamice diskretních dislokací. K této kapitole mám poznámku, která se jeví jako zásadní vzhledem k cíli c), tj. posouzení oprávněnosti přenosu NCÚ charakteristik do mikroobjemu před čelem trhliny:

Poznámka: *dnes je již možno pokládat za prokázané (např. Pokluda et al., FFEMS 2013), že u velké většiny kovových materiálů se únavová trhlina převážně šíří podle klasických deformačních modelů (Pelloux 1970, Neumann 1974 a Pippan 1991), tj. mechanismem plastického otupování čela emisí stínících dislokací. Z těchto modelů vyplývá, že rychlost šíření trhliny je úměrná velikosti sumárního Burgersova vektoru emitovaných dislokací v zátěžném cyklu. Dekohezní model na bázi účinku antistínících dislokací (podle Van der Giessena et al.), který nevede k plastickému otupování, se může částečně uplatnit pouze u materiálů s planárním skluzem, jako je zejména austenitická ocel (2013Vojtek et al., Acta Mater. 2013). Mechanismus otupování čela ani dekohezní mechanismus však nemají v podstatě nic společného s představou kumulace poškození uvnitř cyklické plastické zóny, neboť jsou vázány na bezprostřední okolí čela trhliny pod vlivem volných povrchů (čelo, líce). Tato skutečnost a zejména fakt, že otupovací mechanismus zatím nelze simulovat v rámci fenomenologických MKP modelů, nutně vede k jejich selhání při respektování reálného stavu RD. Větší úspěšnost těchto modelů za nepřítomnosti reálného předpokladu RN pak lze do jisté míry vysvětlit tím, že v důsledku otupovacího mechanismu mají volné povrchy na šíření trhliny značný vliv i uvnitř vzorku.*

Další kapitoly jsou věnovány experimentům ke zjištění vlastností použité hliníkové slitiny D16CT1, numerickým experimentům s modely růstu VCÚ trhlin v plochých tělesech a fenomenologickému modelu pro predikci rychlosti růstu VCÚ trhliny na základě principu lokální NCÚ. Tyto kapitoly svědčí o pečlivém přístupu uchazeče k vědecké práci a výsledky jsou zde prezentovány jasně a dostatečně přesvědčivě. Zajímavým výsledkem je např. srovnání napěťově-deformačních parametrů na čele zahnuté a přímé trhliny. Mám jen několik drobných připomínek a dotazů:

- (i) popis obr. 3.27: jsou zaměněny body b) a c) - jednosměrná deformace odpovídá obrázku z 3.27b), nikoliv c).
- (ii) s. 79 dole: je uvedena smluvní povrchová délka trhliny $l_{mi} = 80\mu m$, ale v popisu obr. 3.26 se uvádí povrchová délka $100\mu m$.
- (iii) s. 80: existence konečné délky trhliny a_f , nezávislé na úrovni zatížení, se mi jeví překvapující (i pro oblast NCÚ).
- (iv) s. 97 dole: téměř řádově větší cyklická plastická zóna ve stavu RN než ve stavu RD je nepřilíš reálný výsledek.
- (v) s. 113, nadpis kapitoly 5: nemyslím si, že se jedná o **fyzikální** model VCÚ trhliny – jde zde mnohem spíše o fenomenologický model.

V šesté kapitole je model pro predikci rychlosti trhliny aplikován na výsledky numerických simulací. Je ukázáno, že použití kumulačních kritérií podle Mansonova-Coffinova vztahu a disipované energie za předpokladu RD v několika řádech podceňují experimentálně zjištěnou rychlost šíření trhliny. Naopak kritérium založené na SWT parametru dává řádově srovnatelné výsledky. Mám pouze následující poznámky:

- (vi) s. 117: pro aplikaci kritérií je uvedena vzdálenost $\rho = 0,1\mu m$ před čelem trhliny, zatímco na s. 114 je uvedena $\rho = 1,5\mu m$. Dále je uvedeno „...změřených při NCÚ zkouškách“, ale ve skutečnosti to byly VCÚ zkoušky.

Předposlední kapitola je věnována diskuzi výsledků práce a úvahám o oprávněnosti užitého přístupu k predikci rychlosti únavové trhliny. Mám k ní následující poznámky:

- (viii) s. 123: MKP modely zpravidla podceňují úroveň plasticky indukovaného zavírání trhliny na povrchu vzorku a zejména neuvažují drsnostně indukované zavírání. Hlavní příčinou zkreslení poměru rychlostí šíření na povrchu a uvnitř vzorku je ale neadekvátní předpoklad přenosu kumulace poškození z objemu na čelo trhliny – viz **Poznámka**.
- (ix) s. 124 nahoře: je dostatečně známo, že postup únavové trhliny se téměř výlučně uskutečňuje pohybem dislokací, tj. plastickou částí deformace. Zahrnutí elastické složky do modelu by tedy bylo fyzikálně neopodstatněným empirickým trikem.
- (x) I když přijatelné výsledky získané na základě SWT kritéria lze pokládat za zajímavý výstup práce, obávám se, že jde spíše o výsledek platný pro daný materiál a nikoliv o obecněji použitelný poznatek (viz **Poznámka**).
- (xi) s. 126: V rámci lomové mechaniky (a dokonce i přístupu kumulace poškození) je znám jednoduchý model „sítě“ rostoucích mikrotrhlin v objemu materiálu, jak je tomu zpravidla v částicových nebo vláknových kompozitech. Tento model je založen na určitém přenosu informace mezi šířícími se mikrotrhlinami a vysvětluje, proč kumulace poškození v kompozitech se v čase zpomaluje, zatímco při šíření jedné magistrální trhliny v kovech se naopak zrychluje - to vede k synergickému efektu v kompozitech. Avšak existence nějakého hypotetického přenosu informace mezi mikrotrhlinami při NCÚ a velkou trhlinou při VCÚ kovových materiálů je spíše v oblasti spekulativních přání než fyzikální reality.

V závěrečné kapitole jsou stručně shrnuty nejdůležitější poznatky a závěry předkládané práce.

Celkově lze konstatovat, že předložená práce je napsána pečlivě, srozumitelně a ukazuje na již dobrou vědeckou erudici autora. Práce přinesla zajímavé poznatky o napětově deformačních parametrech na čele zahnuté trhliny a aplikačních možnostech MKP modelů a jednoznačně tím splnila dva hlavní cíle a), b). I když by se to na první pohled nemuselo zdát, velmi náročný třetí cíl byl rovněž přinejmenším částečně splněn. Mikroskopickým rozbořem struktury materiálu (provedeným nad obvyklý rámec MKP modelů) a aplikací

několika MKP modelů bylo totiž kvalifikovaně potvrzeno, že modely na bázi přenosu charakteristik z NCÚ vzorků do mikroobjemu před čelem trhliny nevedou k rozumnému popisu rychlosti šíření „parisovských“ trhlín v kovech. Ukazuje se, že pro většinu kovových materiálů bude aplikace MKP modelů relevantní až tehdy, kdy bude možno dostatečně věrohodně simulovat proces otupování čela trhliny.

Závěr:

Dizertační práce má velmi dobrou odbornou i formální úroveň, je napsána přehledně a přináší některé nové poznatky o aplikačních možnostech MKP modelů šíření únavových trhlín. Podle mého soudu tedy splňuje všechna obecně požadovaná kritéria na dizertační práci. Doporučuji tedy, aby po úspěšné obhajobě byla panu Ing. Ondřeji Šimkovi přiznána vědecká hodnost PhD.

V Brně 15. 11. 2013,

prof. RNDr. Jaroslav Pokluda, c.
oponent práce