



Oponentský posudek doktorské dizertační práce

- Název:** Popis šíření trhlin v polích silně nehomogenních a reziduálních napětí
- Autor práce:** Ing. Kateřina Štegenerová (Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, FSI VUT v Brně)
- Oponent:** Ing. Aleš Materna, Ph.D. (Katedra materiálů, FJFI ČVUT v Praze)

Aktuálnost tématu, význam pro praxi a rozvoj vědního oboru

Doktorská práce, která je předmětem tohoto posudku, rozvíjí poznatky tzv. zobecněné lineárně elastické lomové mechaniky (LELM) a ověřuje platnost lomových kritérií pro tělesa s V-vruby. Dále se zabývá problematikou šíření trhlin v přítomnosti blízkého materiálového rozhraní nebo zbytkových napětí. Získané nové poznatky a postupy mou nalézt uplatnění v praxi při modelování porušování zejména kompozitních materiálů, ve kterých je přítomno materiálové rozhraní mezi jednotlivými složkami, a u kterých může po jejich výrobě zůstat zbytková napjatost způsobená různou teplotní roztažností složek. S postupným nárůstem výroby konstrukcí a výrobků z kompozitních materiálů roste i poptávka po zpřesnění stávajících postupů pro stanovení jejich životnosti a spolehlivosti. Proto považuji téma práce za aktuální a potřebné.

Postup řešení problému

Doktoranda při řešení problému postupovala systematicky. V rámci rešeršní kap. 2 se seznámila se základními pojmy a současným stavem řešené problematiky. Poté si zformulovala v kap. 3 dílčí cíle a postup, jak těchto cílů dosáhnout. V kap. 4 shrnula použitou metodiku, jednotlivá lomová kritéria a způsob, jakým stanoví veličiny vstupující do těchto kritérií. V klíčové kap. 5 dizertace pak popisuje tvorbu numerických modelů pro simulace převzatých experimentálních měření a provádí vyhodnocení a diskusi dosažených výsledků. V kap. 6 je souhrnná diskuse, která je v kap. 7 následována závěry. Závěry nemají podobu pouhého souhrnu hlavních vědeckých závěrů práce, ale spíše podobu kontrolního listu, kde je strukturovaně uvedeno splnění všech vytyčených cílů a ostatních požadavků kladených na doktorandku.

Formální úprava

Práce působí po grafické i jazykové stránce velmi dobrým dojmem. Je členěna přehledně do 7 kapitol. Obrázky jsou v textu řádně citovány, literární zdroje s výjimkou cit. [101] také. Seznam použitých zkratk a symbolů usnadňuje orientaci v textu.

Všiml jsem si následujících drobných nedostatků ve formální úpravě:

1. Kurziva v rovnicích (59) – (70), (113) – (118), (124) není u funkcí sin a cos používána konzistentně a podle zavedených zvyklostí.
2. Množství a povaha překlepů svědčí o nevyužití možnosti automatické kontroly pravopisu.

Věcné připomínky

K práci mám následující věcné připomínky, poznámky a hodnocení:

3. Některé rovnice v řešeršní části obsahují méně, ale i více závažné chyby, konkrétně např. rov. č.
 - (2) – index i je použit ve dvou různých významech; raději uvádět i s limitou $r \rightarrow 0$ podle citovaného Andersona,
 - (3) – není upřesněno, jestli se rovnice vztahuje k rovinné napjatosti nebo deformaci,
 - (15) – (17) – smíšené složky tenzoru deformace by měly mít označení ε_{xy} , ε_{yz} a ε_{xz} a pravá strana rovnic by měla být správně vynásobena $1/2$ (uvedeny špatně označené zkoso?),
 - (18) – (20) – μ nemá význam modulu pružnosti ve smyku, ale Poissonova čísla (místo μ mělo být uvedeno ν),
 - (21) – (23) – chybně zkopírováno chybné (15) – (17).
4. V kap. 4.4 jsou nepřesná, zavádějící tvrzení. Nelze jednoznačně tvrdit, že exponent singularity napětí je v blízkosti volného povrchu $\neq 1/2$. Existují kombinace Poissonova čísla a úhlu mezi ústím čela trhliny a volným povrchem, pro které je exponent roven $1/2$. Rovněž oblasti odpovídající rovinné napjatosti nebo rovinné deformaci nejsou dány pouze vzdáleností od volného povrchu, jak je na obr. 9 vlevo, ale i vzdáleností od čela trhliny. Stav rovinné deformace je v elastickém případě pouze ve velmi malé oblasti u čela trhliny ($r \rightarrow 0$). V dostatečné vzdálenosti od čela je stav rovinné napjatosti po celé tloušťce tělesa. Oblast smíšeného typu napjatosti má tvar luku s větší hloubkou oblouku ve středu tělesa.

V kapitole 5.1 o aplikaci kritérií stability, odvozené v rámci zobecněné LELM, na problematiku V-vrubů jsou vytvořeny numerické modely několika kombinací geometrií těles a způsobů namáhání. S navrženými modely a postupy převážně souhlasím, větší výhrady mám pouze v případě tělesa s oboustranným V-vrubem vyrobeným z duralu a zatíženým tahem. Konkrétní nejasnosti a výtky lze shrnout do následujících 2 bodů:

5. Není jasné, kde byly vzaty materiálové charakteristiky pro dural v tab. 5 a jak z nich byla zkonstruována modelová křivka pro elastoplastický výpočet na obr. 18. Citace [87] tyto údaje neobsahuje. Navíc není jasné, jakým způsobem byla vzata v úvahu tloušťka tělesa z duralu 5 mm. U takto relativně tenkého tělesa se dá očekávat výrazně vyšší kritické zatížení, než by odpovídalo lomové houževnatosti stanovené na zkušebních tělesech s požadovanou výrazně větší tloušťkou.
6. U tělesa zatíženého 4-bodovým ohybem kolmo na rovinu tělesa není jasné, jakou osminu tělesa pokrývala síť konečných prvků. Z obr. 29 se zdá, že vzhledem ke způsobu zatížení jsou v tělese přítomny pouze 2 roviny symetrie.

Kapitoly 5.2, resp. 5.3 o aplikaci zobecněné LELM na problematiku šíření trhliny v keramických vrstevnatých, resp. částicových kompozitech jsou zpracovány velice dobře, srozumitelně a nemám k nim žádné zásadní výtky.

Byl bych rád, kdyby doktorandka při obhajobě odpověděla na následující otázky:

1. Můžete upřesnit výchozí předpoklady a detailněji popsat výpočet tělesa s oboustranným V-vrubem vyrobeným z duralu? Zaměřte se zejména na
 - a) způsob stanovení modelové závislosti napětí – přetvoření pro elastoplastický výpočet,

- b) okolnosti výpočtu exponentu singularity napětí v tab. 7 na str. 43 (byl stanoven z elastického nebo elastoplastického výpočtu?),
 - c) způsob, jakým byl ve výpočtu zohledněn (pokud vůbec) vliv tloušťky zkušebního tělesa na velikost kritického zatížení, který je pozorován u měření lomové houževnatosti na tělese s trhlinou.
2. Na obr. 40 je zobrazeno postupné šíření trhliny ve vrstvě keramického kompozitu při 4-bodovém ohybu. Trhlina se začala šířit uprostřed symetricky zatíženého tělesa a posléze se trajektorie začala odchylovat od roviny symetrie. Můžete rozebrat, co bylo impulsem pro tento prvotní odklon?
 3. Na obr. 39 je schéma metodiky pro modelování postupného šíření trhliny v keramickém kompozitu a zároveň je na str. 60 konstatováno, že pro jeden případ představuje simulace šíření stovky jednotlivých výpočtů. Jak toto velké množství simulací bylo realizováno? Byl využit pro automatizaci výpočtu nějaký vlastní program?
 4. Na str. 87 je konstatováno, že 3D model šíření trhliny v částicovém kompozitu kvalitativně potvrzuje závěry 2D modelu o pozitivním účinku zbytkových napětí v kompozitu na jeho zbytkovou životnost. Dají se na základě dosavadních výpočtů porovnat 2D a 3D modely i kvantitativně? Je životnost kompozitu spočítaná pomocí 2D simulace srovnatelná s výpočtem pomocí 3D?

Vyjádření k tezím dizertační práce

Teze dizertační práce mají všechny předepsané náležitosti a mohou být publikovány v současné podobě, případně se může zvážit úprava rovnic (2) a (3) dle připomínek v tomto posudku.

Závěrečné hodnocení

Doktorandka splnila všechny své vytyčené cíle. Výsledky své práce průběžně publikovala jako hlavní autor nebo spoluautor v celkem 20 publikacích, z toho 2 impaktovaných člancích. Její dizertační práce obsahuje vysoce nadprůměrné množství dosažených výsledků a drobné výtky v tomto posudku nijak nesnižují její celkovou vysokou kvalitu. O kvalitách její vědecké práce svědčí i cena obdržená od České společnosti pro mechaniku.

Proto

doporučuji Ing. Kateřině Štegnerové udělení titulu Ph.D.

V Praze dne 14. 05. 2019

Podpis oponenta: 