

Prof. Ing. Petr Horyl, CSc., dr.h.c.
Katedra aplikované mechaniky
Fakulta strojní
VŠB - Technická Univerzita Ostrava

Oponentní posudek
disertační práce Ing. Františka Šebka
"MEZNÍ PODMÍNKY TVÁRNÉHO LOMU PŘI VÍCEOSÉM
NAMÁHÁNÍ – TEORIE, MĚŘENÍ A APLIKACE"

Obor: Inženýrská mechanika – ÚMTMB FSI VUT v Brně

Školitel: prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.

Předložená doktorská disertační práce se zabývá tvárným lomem vyvolaným víceosým kvazi-statickým monotónním namáháním s rozsáhlými plastickými deformacemi. Při rozvoji poškození jsou klíčovým faktorem mezní podmínky tvárného lomu. Studium těchto podmínek jsou věnovány úvodní kapitoly. Je definován plán laboratorních experimentů a provedeny zkoušky na slitině hliníku označené 2024-T351 při pokojové teplotě. Mezní podmínka tvárného lomu byla svázána s podmínkou plasticity. Plasticita byla uvažována ve tvaru zahrnujícím stav třetího invariantu deviátoru tenzoru napětí. Velmi ceněným výsledkem je implementace navrženého řešení do komerčního SW, založeného na explicitní variantě MKP. Děje se tak pomocí uživatelské procedury. V závěru práce autor aplikuje navržený postup na počítačovém modelování tvárného porušování a verifikuje výsledky s experimenty. Z těchto srovnání vyplývají důležité závěry a doporučení pro další vývoj a výzkum.

Téma práce je vysoce aktuální. Uvedený výzkum stále přináší řadu nových poznatků a má velmi široké uplatnění v průmyslu.

Forma disertační práce svědčí o velmi dobrých zkušenostech doktoranda s psaním a publikováním vědeckých článků. Jeho časté odkazy na literární zdroje dokazují široké znalosti současného stavu a úrovně vědeckého poznání problematiky. Text je plynulý, všechny kapitoly na sebe logicky navazují. Autor vhodně doplňuje text velmi působivými obrázky, které přispívají k pochopení uváděné problematiky. Pro lepší čitelnost textu by některá příliš dlouhá souvětí bylo vhodné rozdělit na samostatné věty.

Připomínky a dotazy.

Připomínky

V práci jsem našel minimum překlepů, jen:

- Str. 40₃ označení průměru ve shodě s obrázkem 5.7a by měl být d_0 .
- Str. 41, tabulka 5.2: Předpokládám, že testy označené pořadovým číslem 6 a 7, se odkazují na nesprávná čísla obrázků. Test č. 6 by se měl odkazovat na obrázek 5.7c a test č. 7 na obrázek 5.7d.
- V kapitolách 6, 9 a 11 uvádí autor celou řadu grafů, ve kterých srovnává výsledky experimentu a počítačového modelování. Na základě rozptylu hodnot by se dala nalézt norma, na základě které by se rozdíly křivek daly kvalitativně vyjádřit. Optické srovnání nemá dostatečnou vypovídací hodnotu.

Dotazy

- Předchůdci na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky zpracovávali doktorská témata z podobné odborné oblasti tvárného lomu. Jde o práce Ing. P. Kubíka, Ph.D. a Ing. J. Hůlky, Ph.D. V jakém smyslu jste z prací vycházel?
- Zajímalo by mne časové hledisko počítačových simulací pro srovnání s experimentem. Rychlost zkušebního stroje byla 1 mm/min. Jestliže maximální posunutí v okamžiku porušení je od 0,35 mm do 2,4 mm (obr. 11.3 a 11.4), pak doba experimentu se pohybuje od 0,35 min do 2,4 min. Je možné, že časový krok pro implicitní metodu byl $1 \cdot 10^{-7}$ s ?
- Podle vašich údajů kinetická energie u počítačových simulací byla zanedbatelná vzhledem k deformační energii. Můžete tyto hodnoty vyjádřit numericky? Jak se liší v jednotlivých simulacích?
- Na obrázcích 11.1b a 11.3b chybí detaily sítě konečných prvků v oblasti porušení, prosím o jejich prezentaci.

Zhodnocení tezí

Předložené teze splňují základní požadavky pro jejich vytištění podle směrnic rektora VUT v Brně po obsahové stránce. Chybí mi však kapitola „hlavní výsledky práce“, která má být uvedena před závěrem. Ze stručného závěru (kapitola 10.1) se hlavní výsledky práce jen velmi obtížně odhadují.

Originální přínosy doktorské práce

- Navržení plánu experimentů včetně geometrie zkušebních vzorků ze slitiny hliníku 2024-T351 pro popis různých napěťových stavů s úmyslem věrohodně kalibrovat kritérium tvárného porušování.
- Navržení a vyhodnocení dvou postupů pro sledování kumulace poškození. Jeden z nich byl přímo využit pro kalibraci kumulace poškození. Byl tak odvozen nový vztah, který byl v rámci mechaniky poškození kontinua spojen s podmínkou plasticity. Tímto vzniklo původní svázané kritérium tvárného porušování.
- Vytvoření programu v MATLABu pro kalibraci křivky zpevnění materiálu, modelu plasticity závislého i na normalizovaném Lodeho úhlu, vztahu pro kumulaci poškození a kritéria tvárného porušování. Byla také vytvořena uživatelská rutina pro výpočtový program Abaqus, ve které byly zahrnuty všechny navržené a kalibrované modely.
- Kalibrované modely byly v komerčním výpočtovém programu aplikovány na několik případů zatěžování, z čehož byla diskutována použitelnost navržených postupů v rámci tvárného porušování. Také šlo o zjištění několika zásadních skutečností, které jsou námětem pro další pokračování prací. Jedná se zejména o zjištění nevěrohodnosti více krokových experimentů se změnou geometrie zkušebního tělesa pro zjišťování kumulace poškození. Dále omezené použitelnosti klasické zkoušky tlakem pro kalibraci modelů tvárného porušování.

Závěr

Na základě prostudování předložené disertační práce konstatuji, že splnila vyčerpávajícím způsobem stanovené cíle. Autor prokázal schopnost samostatné vědecké práce a přináší nové poznatky. Práce je zpracována na výborné grafické úrovni. Je výsledkem velkého množství navržených a provedených experimentů a odpovídajících numerických simulací. Vyhodnocení a vyvozené závěry prokazují, že autor se výborně orientuje v oboru Inženýrské mechaniky.

Na základě vysoké úrovně předložené disertační práce a získání nových vědeckých poznatků, doporučuji práci předložit k obhajobě a po jejím obhájení udělit akademický titul Ph.D.

Ostrava 10. října 2016

