

Oponentní posudek disertační práce Ing. Dušana Zity s názvem „Modelování indentačních procesů“.

M. Španiel

16.2.2020

Dosažení stanovených cílů práce.

Autor předložené disertační práce se zaměřil na indentační zkoušky mechanické odezvy tvrdých a křehkých materiálů. Speciální pozornost věnuje teoretickému rozboru vyhodnocování zkoušek s využitím simulace šíření trhlin při indentační zkoušce Vickersovým indentorem, zahrnutí vlivu drsnosti měřeného povrchu a indentoru a v neposlední řadě vlivu tuhosti měřícího řetězce na vyhodnocená data. V kapitole 2 formuluje hlavní smysl práce jako „vytvoření modelů, pomocí kterých lze simulovat indentaci do tvrdých a křehkých materiálů, například skla, vrstveného skla nebo různých druhů keramiky“. Očekává, že tyto modely nejen umožní vyhodnotit některé parametry, které nelze získat standardními postupy, ale především umožní posoudit vhodnost indentační zkoušky v potenciálně sporných případech. K tomu pak stanovuje následující dílčí cíle:

- Vytvoření MKP modelu, který simuluje indentaci Vickersova indentoru do tvrdých a křehkých materiálů.
Autor navrhl dva typy MKP modelu – rotačně symetrický model, který ignoruje specifický tvar indentoru dle Vickerse, díky čemuž je relativně nenáročný na výpočetní výkon, ale na druhé straně ztrácí schopnost modelovat šíření trhlin – a 3D model, který má dle autora (s využitím čtvrtinové symetrie) únosné nároky na výpočetní výkon a přitom umožňuje studovat proces šíření trhlin, což bylo nezbytné pro dosažení hlavního cíle práce. Oba modely popsané v kapitole 4 jsou vytvořeny v programu Abaqus.
- Indentační měření mechanických vlastností skla a laminovaného skla.
Autor provedl sérii instrumentovaných indentačních zkoušek vzorku skla a laminovaného skla (vyrobených z bezpečnostního autoskla) na univerzálním tvrdoměru ZWICK ZHU2.5. Podrobnější popis měření je v kapitole 3.
- Ověření modelu při simulaci indentace do skla a do laminovaného skla.
Ověření modelu je popsáno v podkapitole 4.2 a zahrnuje srovnání experimentů a výpočtů provedených autorem z hlediska makroskopických materiálových parametrů - plastického modulu E_{pl} a meze kluzu σ_Y (s využitím rotačně symetrického MKP modelu) – i z hlediska lomové houževnatosti a výsledného tvaru trhlin.

Na základě výše uvedeného výčtu konstatuji, že **cíle dizertační práce byly splněny**.

Teoretický přínos disertační práce.

Teoretický přínos práce spatřuji ve využití vytvořeného MKP modelu pro ověřování oblasti platnosti zjednodušených analytických vztahů z lineární lomové mechaniky navržených pro vyhodnocování lomové houževnatosti z indentačních zkoušek. Autor modely sestavil a v disertační práci validoval při vyhodnocení vlastní experimentů. Koncepce dvou úrovní MKP modelů (2D a 3D) má potenciál při posuzování a vývoji analytických modelů indentačních zkoušek.

Přínosy práce pro praxi.

Z hlediska praktické aplikace autor ukázal, že zjednodušený 2D model (reprezentující zkoušku s kuželovým indentorem) se z hlediska indentační křivky chová srovnatelně s 3D modelem indentační zkoušky s Vickersovým indentorem. Takto je k dispozici model vhodný pro kalibraci parametrů konstitutivních modelů tvrdých a křehkých materiálů. Studie vlivu drsnosti a vlivu poddajné vrstvy pod vrstvou měřenou na tuhost měřícího řetězce při indentační zkoušce a možnost jejich zahrnutí do modelu také představují příspěvek ke zpřesnění vyhodnocení uvedeného způsobu experimentálního stanovení parametrů konstitutivních modelů.

Vhodnost použitých metod a správnost jejich aplikace.

Metody, které autor použil při řešení úkolů disertační práce shledávám vesměs vhodnými a správně aplikovanými. V experimentální části se autor držel běžných postupů definovaných pro použitý tvrdoměr, v oblasti numerického modelování vyvinul dvojúrovňový přístup, který následně verifikoval na vlastních naměřených datech i s pomocí podkladů z literatury.

Formální úroveň práce.

Práce je psána v českém jazyce a na 120 stranách obsahuje 92 obrázků a 14 tabulek. Strukturování a grafická úprava jsou na standardní úrovni. Práce je logicky členěná do kapitol vyjadřujících aktuální stav problematiky, formulaci cílů práce, popis experimentálních prací, popis MKP modelů indentační do skla včetně diskuse výsledků MKP analýz s ohledem na experimentální data, pojednání o stanovení vlivu tuhosti měřícího řetězce a vlivu drsnosti dotykových ploch měřeného vzorku a indentoru. Autor dodržuje citační etiku. Na některých místech jsou drobné prohřešky v terminologii (např. termín osově symetrický model je používán pro označení modelu rotačně symetrického). V některých grafech (např. na obrázku 51 na straně 75) jsou použity jen dvě barvy pro rozlišení více křivek a čtenář se pak musí dohadovat významu jednotlivých křivek z kontextu.

Závěrečné hodnocení.

Disertační práce Ing. Dušana Zíty je přínosem v oboru indentačních zkoušek tvrdých a křehkých materiálů. Cíle práce byly splněny a její úroveň odpovídá běžným požadavkům. Autor doložil svůj podíl na osmi publikacích (majících přímý vztah k tématu práce) většinou v periodikách citovaných v databázích WoS a SCOPUS. Je zřejmé, že autor má dobré znalosti v lomové kontaktní mechanice i schopnost je aplikovat v tvůrčí výzkumné nebo vědecké činnosti a svou práci publikovat a obhájit před odbornou veřejností. **Práci doporučuji k obhajobě** a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit panu Ing. Dušanovi Zítovi titul „**doktor**“ (Ph.D.).

16. 2. 2020
Miroslav Španiel

Otázky dizertantovi.

1. V podkapitole 4.2.2–Výpočet parametrů materiálového modelu skla (2D model)–jste použil jako metodu kalibrace citlivostní analýzu, což chápu (a nezavrhuji) jako využití hrubé síly. Domníváte se, že by v tomto případě bylo možno efektivněji využít nějakou metodu matematické optimalizace? Výsledné parametry E_{pl} a σ_Y jste stanovil tak, aby naměřená zmařená práce W_{unrel} byla stejná jako naměřená? Domnívám se, že by bylo zajímavé pro stanovené parametry materiálu porovnat naměřenou a vypočtenou indentační křivku.
2. Ověřoval jste, že formulace kinematiky kontaktu typu "small sliding" u 3D modelu (viz str. 62) je dostatečná? Je ošetřen případ, kdy dojde k rozšíření trhliny do oblasti kontaktu s indentorem a indentor by se měl dotýkat původně neexistujících povrchů? Je možno takovou situaci v použitém programu modelovat?

