

Oponentní posudek bakalářské práce Jiřího Kocába na téma „Identifikace materiálových parametrů nelineárního modelu pro popsání mechanických vlastností korkového kompozitu“

Předkládaná bakalářská práce se zabývá modelováním mechanických vlastností korkového kompozitu a identifikací parametrů jeho materiálového modelu. Navazuje na dřívější výzkum v oblasti použití korkových kompozitů jako tlumicích prvků v konstrukci obráběcích strojů.

Rozsah práce je 40 stran a je členěna do osmi kapitol. Obsahuje seznam značení, obrázků i tabulek. Literatura je citována v odpovídající míře. Práce je psána přehledně, obrázky, tabulky i uvedené vztahy jsou dostatečně vysvětleny a komentovány.

Úvodní kapitola stanovuje následující cíle práce:

- Vyšetřit mechanické vlastnosti korkového kompozitu pomocí zkoušek na trhacím stroji.
- Vybrat matematické modely vhodné k popisu vyšetřených mechanických vlastností.
- Vytvořit numerické simulace pomocí metody konečných prvků.
- Identifikovat parametry použitých modelů.

Druhá kapitola se věnuje historii, použití a výrobě korku a korkových kompozitů. Následující kapitoly již přímo souvisí s řešením zadaného úkolu.

Třetí kapitola popisuje nejprve některé obvyklé modely hyperelastických a viskoelastických materiálů a nakonec i model, který byl použit v této práci. Tím je viskoelastický model pro velké deformace. Relaxační funkce má tvar Pronyho řady a rovnovážná odezva je popsána zobecněným Mooneyho-Rivlinovým modelem s uvažováním stlačitelnosti.

Čtvrtá kapitola popisuje provedení zkoušek jednoosým tahem, tlakem a prostým smykem. Je uveden tvar vzorků i průběh zatěžování včetně volby rychlosti deformace u jednotlivých zkoušek.

Pátá kapitola podrobně popisuje numerické modely všech provedených zkoušek. U každého modelu je popsána geometrie, síť, okrajové podmínky i uvažované symetrie. Modely byly vytvořeny v MKP software Abaqus a byly generovány parametricky pomocí skriptů v jazyce Python.

Šestá kapitola se věnuje identifikaci parametrů materiálového modelu. Ta byla provedena pomocí programu optiSLang s využitím numerických modelů stavových úloh popsaných v kap. 5 a pomocných skriptů v jazyce Python. Použitým optimalizačním algoritmem byla gradientní metoda. Startovací bod byl hledán pomocí evolučního algoritmu.

Dosažené výsledky jsou diskutovány v sedmé kapitole. Identifikace byla provedena pro tři různé sady experimentálních dat: pouze tah, pouze tlak a tah i tlak. Velmi důležitým závěrem je, že v případě zde popsaného materiálu nestačí provést identifikaci na základě tahu a tlaku tak, aby model automaticky dosahoval dobré shody i ve smyku, což byl závěr dříve několikrát pozorovaný při identifikaci materiálového modelu pryže.

K práci mám následující připomínky:

- Kap. 3.1, Mooneyho-Rivlinův zobecněný model. Meze použitelnosti modelu jsou uvedeny obráceně (podle citovaného zdroje má být 100 % v tahu a 30 % v tlaku) a týkají se pouze dvouparametrického Mooneyho-Rivlinova modelu.
- Ve vztahu (3.11) chybí v závorce -3 .
- V popisu modelu tahové zkoušky na str. 22 pravděpodobně mělo být, že síla je $4\times$ menší oproti nezjednodušenému modelu.
- Ve vztazích (6.1)-(6.3) je chybně uveden tvar cílové funkce; správně má být zřejmě $(F_i^{\text{exp}} - F_i^{\text{mod}})^2$ namísto uvedeného $(F_i^{\text{exp}})^2 - (F_i^{\text{mod}})^2$.
- Vztah (6.5) neodpovídá vztahu (3.10). V (3.10) je pravděpodobně překlep a poslední člen ve výrazu pro deformační energii má být $\sum_{k=1}^m \frac{1}{D_k} (J - 1)^{2k}$, potom vztah (6.5) platí.
- V kapitole věnující se identifikaci chybí bližší popis použitých optimalizačních metod. Je zřejmé, že jejich studium nebylo hlavní náplní práce, ale vzhledem např. k tomu, že tabulka 6.1 obsahuje použité parametry evolučního algoritmu, bylo by vhodné alespoň stručně uvést, co znamenají, zde ovšem chybí i odkaz na literaturu.

Otázky k obhajobě bakalářské práce:

- 1) K výběru matematického modelu (kap. 1.2): Jaké mechanické vlastnosti byly zjištěny při experimentech a které vlastnosti vybraného matematického modelu jim odpovídají?
- 2) V popisu Ogdenova modelu (kap. 3.1) je uvedeno, že jej lze vhodnou volbou parametrů převést na Mooneyho-Rivlinův nebo neo-Hookeovský model. Prosím o uvedení takové volby.
- 3) Na obr. 5.9 připadají na tloušťku smykového vzorku pouhé dva prvky MKP sítě. Jsou takto spočtené výsledky dostatečně přesné? Je-li to možné, prosím o porovnání výsledků (tj. závislost síly na posuvu) pro případ několika různě jemných sítí.
- 4) Proč a jakou metodou byly při definici cílové funkce (kap. 6.1) závislosti proloženy kubickým splinem? Jaký tvar měly získané závislosti před proložením?

Hodnocení:

Stanovené cíle byly splněny. Zvolené téma svou náročností nepochybně překračuje nároky na bakalářskou práci. Z textu práce je zřejmé, že se autor musel seznámit s látkou, která běžně není vyučována v kurzech bakalářského studia a především naučit se prakticky používat dostupné softwarové nástroje a skloubit je do funkčního celku. Práce je v kontextu výzkumu prováděného na KME velmi aktuální a její závěry i zkušenosti nabyté při vypracování budou nepochybně zohledněny při další práci autora a/nebo jeho kolegů.

Předloženou bakalářskou práci **doporučuji k obhajobě** a navrhuji známku **velmi dobře**.

V Plzni, dne 14.7.2014

Ing. Jan Heczko

