

Posudek práce

předložené na Matematicko-fyzikální fakultě
Univerzity Karlovy

- | | |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> posudek vedoucího | <input type="checkbox"/> posudek oponenta |
| <input type="checkbox"/> bakalářské práce | <input checked="" type="checkbox"/> diplomové práce |

Autor/ka: Martin Šípka

Název práce: Modelování anizotropních viskoelastických tekutin

Studijní program a obor: Fyzika – Matematické a počítačové modelování

Rok odevzdání: 2020

Jméno a tituly vedoucího/opponenta: Karel Tůma, RNDr., Ph.D.

Pracoviště: Matematický ústav Univerzity Karlovy, 186 75 Praha 8, Sokolovská 83

Kontaktní e-mail: ktuma@karlin.mff.cuni.cz

Odborná úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Věcné chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu přiměřený počet méně podstatné četné závažné

Výsledky:

- originální původní i převzaté netriviální kompilace citované z literatury opsané

Rozsah práce:

- veliký standardní dostatečný nedostatečný

Grafická, jazyková a formální úroveň:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Tiskové chyby:

- téměř žádné vzhledem k rozsahu a tématu přiměřený počet četné

Celková úroveň práce:

- vynikající velmi dobrá průměrná podprůměrná nevyhovující

Slovní vyjádření, komentáře a připomínky vedoucího/opponenta:

Obsah práce:

Diplomová práce se zabývá odvozením termodynamicky konzistentních anizotropních viskoelastických modelů rychlostního typu, které vychází z termodynamického přístupu navrženého Rajagopalem a Srinivasou (2000, 2001). Diplomant odvodil několik variant anizotropních viskoelastických modelů, které pak implementoval pomocí metody konečných prvků a prováděl numerické simulace.

Práce se skládá ze čtyř částí, v první kapitole diplomant zavedl standardní kinematické veličiny v mechanice kontinua, představil bilanční rovnice a koncept pro termodynamicky konzistentní odvození viskoelastických tekutin. Zavedl přirozenou konfiguraci, pomocí které rozložil celkovou deformaci na část čistě elastickou a část nevratnou, a zavedl další kinematické veličiny související s přirozenou konfigurací. Zvolením vhodné volné energie a disipace provedl odvození dvou klasických izotropních viskoelastických modelů lišících se jen různou volbou disipace – modely Oldroyd-B a Giesekus.

Ve druhé kapitole model zobecnil zavedením vektoru anizotropie n do volné energie, který tak charakterizuje anizotropii elastické části odezvy. Volbou disipace podobné jako v izotropním případě odvodil nové anizotropní varianty modelů Oldroyd-B a Giesekus. Použitá disipace obsahuje tři různé viskozity (klasická newtonská a dvě viskoelastické). V závislosti na volbě hodnot viskoelastických viskozit získá tři speciální případy. Student dále ukáže, že pokud je jedna z nich (pojmenovaná rotační) nulová, je možné nalézt semi-analytické řešení Couetteova proudění.

Ve třetí kapitole diplomant představil tekuté krystaly, jejichž chování by se mohlo dát popsat odvozenými modely. Dále popsal jev zvaný "tumbling phenomenon", při kterém se krystaly buď natáčejí do směru proudění, nebo se otáčejí, v závislosti na parametrech toku nebo materiálu. Dále uvedl experiment s tekutými krystaly umístěnými do viskozimetru, který rotuje konstantní úhlovou rychlostí a ve kterém se studuje závislost naměřené zdánlivé viskozity (= apparent viscosity, tedy poměr smykového napětí a rychlosti smyku) na deformaci.

V poslední kapitole diplomant prováděl numerické simulace s odvozenými modely, které všechny implementoval v konečně-prvkovém kódu Fenics. Nejprve provedl evoluční simulaci Couetteova proudění pro izotropní modely Oldroyd-B a Giesekus. V tomto problému je tekutina mezi dvěma deskami na počátku v klidu. V čase $t = 0$ se začne horní deska pohybovat konstantní rychlostí. Simulace probíhá až do ustáleného stavu a zkoumá se jak závislost zdánlivé viskozity na čase, tak ustálený rychlostní profil.

Tento problém použil i pro simulaci anizotropních verzí modelů Oldroyd-B a Giesekus. V případě plných modelů se vektory anizotropie n stále překocují a zdánlivá viskozita se neustálí. Pro případ anizotropních modelů s nulovou rotační viskozitou se vektory n ustálí ve směru proudění a stejně tak se ustálí i zdánlivá viskozita. Zároveň pro tuto variantu anizotropního Oldroydova modelu diplomant našel semi-analytické řešení ustáleného proudění, které srovnal s konečně-prvkovým řešením a pozoroval jejich shodu. Volbou různých rychlostí horní desky pak pozoroval, že smyková napětí v tekutině nezávisí lineárně na rychlosti, ale tekutina se makroskopicky chová jako tekutina se zeslabením smyku, ačkoli newtonská viskozita je konstantní. Dále diplomant studoval, pro jakou volbu rotační viskozity se přestane zdánlivá viskozita ustalovat a tekutina vykazuje jev "tumbling phenomenon". Nakonec práce obsahuje 3D simulaci experimentu představeného ve třetí kapitole. Tu autor provedl pro jednu volbu materiálových parametrů a jako

výsledek simulace mj. měřil závislost zdánlivé viskozity na čase. Ta odpovídá alespoň kvalitativně naměřeným experimentálním datům.

Hodnocení práce:

Předložená práce je dle mého názoru obsahově kvalitní. Student během odvozování nových anizotropních modelů projevoval velkou samostatnost a sám přicházel s vlastními nápady a předběžně získané modely testoval proti numerickým simulacím, na základě kterých měnil například tvar volné energie. Po obsahové stránce bych obzvláště vyzdvihnul numerickou část, kdy se student musel vypořádat s implementací komplikovaných modelů v knihovně Fenics.

Po formální stránce se mi líbí především odvození v kapitolách 1 a 2, která neobsahují (téměř) žádné chyby a alespoň pro mne je daleko jasnější než příslušné odvození prezentované v článku na stejné téma Rajagopal, Srinivasa, 2001. Zde ale pochvala formální stránky končí, hlavní výtkou je velká stručnost předložené práce, která se nejvíce projevuje v poslední numerické kapitole. V té často chybí důležité informace jako třeba analytické řešení izotropního Oldroyda-B v Couetteově proudění nebo podrobnosti týkající se simulací, a neodráží tak dobře úsilí věnované této části práce.

Přesto jsem přesvědčený, že práce obsahuje nemalé množství původních výsledků, které jsou natolik cenné, že převažují nad formální stránkou. Proto navrhuji předloženou práci hodnotit stupněm výborně a doporučuji ji uznat jako diplomovou práci.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

Bylo by možné zjednodušit poslední počítaný problém tak, aby se dal představený 3D experiment použít k efektivnímu nafitování materiálových parametrů anizotropních modelů?

Práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako diplomovou/bakalářskou.

Navrhuji hodnocení stupněm:

výborně velmi dobře dobře neprospěl/a

Místo, datum a podpis vedoucího/opponenta:

V Praze dne 30. ledna 2020
Karel Tůma
Matematický ústav Univerzity Karlovy