

Posudek diplomové práce

Bc. Ondřeje KÁBY

zpracované na téma

Řešení úloh elastodynamiky pro jednorozměrná a dvourozměrná heterogenní elastická prostředí

Diplomová práce čítající 61 stran je zaměřena na problematiku šíření nestacionárních vln v 1D heterogenním a 2D homogenním a heterogenním prostředí. Celkem 55 stran vlastního textu je rozděleno do šesti kapitol včetně úvodu a závěru. Zbytek, tj. 6 stran, tvoří obsah práce, reference a tři přílohy.

V úvodu si autor nejprve stanovuje hlavní cíle práce. Poté autor stručně popisuje obsah jednotlivých kapitol. Rovněž se zde zmiňuje o použitém software (Maple 16, Matlab R2016a a MSC.Marc/Mentat 2016).

Ve druhé kapitole je stručné shrnutí současného stavu řešené problematiky včetně odkazů na základní literaturu.

Ve třetí kapitole je odvozeno řešení nestacionární napjatosti v tenké tyči složené z libovolného počtu homogenních tyčí majících různé materiálové vlastnosti. Zde autor navazuje na svou bakalářskou práci, ve které nahrazoval tenkou heterogenní tyč třemi různými vzájemně navazujícími tyčemi. Vlny jsou generovány časově proměnným osovým napětím působícím na jednom konci tyče. Druhý konec je uvažován jako vetknutý (nulové osově posunutí) nebo jako volný (nulové osově napětí). Pomocí takto odvozeného řešení a následné numerické zpětné Laplaceovy transformace lze očekávat, že s dostatečně jemným dělením tyče bude možné aproximovat odezvu tenké tyče s funkčně gradovanými materiálovými vlastnostmi. Po krátké diskusi o vhodnosti různých algoritmů pro numerický výpočet zpětné Laplaceovy transformace autor přistupuje k aplikaci odvozeného řešení na 1D elastické funkčně gradované prostředí. Je zde prezentováno několik příkladů použití této semianalytické metody. Výsledky jsou pak porovnávány s odezvami získanými konečnoprvkovým softwarem MSC.Marc/Mentat. Byla zjištěna velmi dobrá shoda výsledků semianalytického řešení a MKP řešení při modelování úlohy jako vrstevnaté tyče. V závěru této kapitoly autor zkoumá různé přístupy využití optimalizačních algoritmů pro návrh vrstevnaté (popř. funkčně gradované) tyče minimalizující amplitudu napětí na jejím vetknutém konci.

Obsahem čtvrté kapitoly je nejprve řešení nestacionární rovinné napjatosti v neomezeně dlouhém ortotropním a homogenním pásu buzeném na části jednoho okraje příčným kosinovým zatížením, jehož časová závislost je dána libovolnou funkcí $\sigma_0(t)$. Předpokládá se přitom speciální ortotropie, kdy platí totožnost materiálových a geometrických os. Analyticky tak byly získány Laplaceovy obrazy posuvů, napětí, rychlostí a zrychlení. Analogickým způsobem je dále řešen nekonečně dlouhý dvouvrstvý pás se speciální ortotropií. Dále se popisuje postup vyčíslení odvozených Laplaceových obrazů jednotlivých veličin v časové oblasti pomocí numerické zpětné Laplaceovy transformace diskutované v předchozí kapitole. Následně jsou prezentovány výsledky úloh izotropního, ortotropního a ortotropního vrstevnatého pásu pro zadané časové buzení a zadanou materiálovou skladbu. Rozložení celkové rychlosti v izotropním, ortotropním a ortotropním vrstevnatém pásu pro dva zadané časy nám pak dává možnost sledovat různé tvary vlnových čel odpovídajících základním typům primárních vln generovaných zatížením pásu.

Konec čtvrté kapitoly se věnuje modelování nestacionární napjatosti izotropního, ortotropního a ortotropního vrstevnatého pásu pomocí MKP. Výsledky jsou pak ve vybraných bodech porovnávány s řešením semianalytickým. Ve všech vybraných bodech je dosaženo dobré shody. K obrázkům 27-30 v této části práce mám následující připomínku. K jejich popisu asi autor použil obrázky ve větším rozlišení (tj. na monitoru), nežli jsem měl k dispozici v tištěné verzi diplomové práce. Musel jsem vyvinout značné úsilí, abych se ztotožnil např. s formulacemi „lze pozorovat mírné oscilace výsledků“ nebo „nepatrné vyhlazení rychlé změny v rychlosti“ atp.

V páté kapitole se autor zabývá měřením odezvy dvou kovových homogenních pásů a vrstevnatého pásu na rázové buzení. Měření nestacionární odezvy bylo nejprve provedeno na ocelovém a hliníkovém pásu, které byly vyrobeny válcováním. Pravděpodobně v důsledku vzniklé textury se ukázalo, že rychlost P-vln v ose charakterizující délky obou pásů je téměř o 50% vyšší nežli ve směrech kolmých. To vylučuje očekávané izotropní chování obou pásů. Nejlepší dostupnou analytickou metodou pro popis těchto vzorků se tedy stalo řešení pro pás se speciální ortotropií. Při zpracování dat z experimentu se ukázalo, že šum vyskytující se v experimentálních datech znemožňuje použití přímo změřeného budicího pulsu jako vstupu pro analytické výpočty. Proto, jako nejvhodnější, byla zvolena aproximace naměřeného buzení řadou 4 hladkých kosinů. Experimentální data jsou následně využita k identifikaci materiálových parametrů vzorků, na nichž bylo měření realizováno. Na konci této kapitoly je diskutována míra shody experimentálních dat a analytických výsledků pro nalezené materiálové parametry.

Zdá se, že ačkoli byla porovnávána zrychlení, což je mnohem horší co se shody týče oproti např. porovnávání rychlostí, tak dosažená shoda je nad mé očekávání dobrá. Bylo by určitě zajímavé provádět měření rychlostí pomocí laserového vibrometru. Zde by shoda výpočtů a měření byla určitě mnohem lepší. Překvapila mne též poměrně velká ortotropie ocelových a hliníkových vzorků. To by ještě chtělo znovu prověřit.

Předložená práce má velmi dobrou úroveň. Struktura práce je přehledná, členění do kapitol logické, postup řešení i výsledky jsou dobře popsány. Počet překlepů je minimální (např. ve vztazích (4.29) má být všude místo t parametr Laplaceovy transformace p). Na práci si nejvíce cením spojení semianalytického a numerického (MKP) přístupu doplněného experimentem.

Dotazy na které by autor měl při obhajobě odpovědět:

- 1) V první části práce byla odezva tyče vyrobené z funkčně gradovaného materiálu aproximována odezvou tyče složené z velkého počtu vrstev odpovídajících materiálových vlastností. Lze problém šíření vln v 1D gradovaném prostředí řešit i přímo, tj. pro libovolné funkční závislosti materiálových parametrů?
- 2) Lze prezentované řešení pro dvouvrstvý pás zobecnit na případ pásu s libovolným počtem vrstev? Pokud ano, jakým způsobem?

Závěr:

Na základě předložené diplomové práce lze konstatovat, že všechny cíle uvedené v zadání byly splněny. Předloženou diplomovou práci hodnotím známkou

výborně.

V Praze dne 18.7. 2020

doc. Ing. Jan Červ, CSc.
Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i.