

Posudek bakalářské práce

Ondřeje KÁBY

zpracované na téma

Šíření elastických vln v jednorozměrných homogenních a heterogenních prostředích

Bakalářská práce čítající 51 stran je zaměřena na problematiku šíření nestacionárních podélných vln v tenkých elastických tyčích. Vlny jsou generovány rázovou silou vyvolávající 1D podélnou deformaci tyče. Celkem 43 stran vlastního textu je rozděleno do sedmi kapitol včetně úvodu a závěru. Zbytek, tj. 8 stran, tvoří reference a šest příloh.

V úvodu si autor nejprve stanovuje hlavní cíle práce. Poté autor stručně popisuje obsah jednotlivých kapitol. Rovněž se zde zmiňuje o použitém software (Maple 17, Matlab R2016a a Marc 2016 spolu s pre- a post-procesorem Mentat). Ve druhé kapitole je stručné shrnutí současného stavu řešené problematiky včetně odkazů na základní literaturu.

Ve třetí kapitole, tvořící jádro práce, byly analyticky odvozeny vztahy pro posuvy a osově napětí v tyči zatížené rázovou silou (v čase jednotkový skok tj. Heaviside, obdélník a posléze obecná časová závislost) pomocí Laplaceovy transformace, reziduové věty a konvolutorního integrálu. Rozlišují se dva případy: a) tyč s volným koncem a b) tyč s koncem vetknutým. Vyčíslování výsledných vztahů se provádí pomocí programu naprogramovaném v prostředí Matlab. Výsledky mohou být prezentovány pomocí časové animace rozložení posuvů, napětí, rychlostí nebo zrychlení v tyči. Odezvu lze též alternativně zobrazit jako statický graf v časoprostorové oblasti $x-t$. Kromě klasického způsobu vyčíslení je rovněž použita rychlejší metoda vyčíslení založená na numerické inverzní Laplaceově transformaci.

Jedním z cílů práce bylo i provedení numerického řešení zadané úlohy. V konečnoprvkovém programu MSC.Marc byly k tomuto účelu sestaveny příslušné modely. Analytické řešení pak posloužilo k nastavení takových parametrů vytvořených modelů, aby byly numerické výsledky zatíženy co nejmenší chybou. Byla provedena analýza vlivu velikosti integračního kroku pro tři různé metody integrace (Houbolt, Newmark a metoda centrálních diferencí). Z provedených analýz vyplývá, že zásadní význam pro správnou volbu velikosti prvků a tedy i pro časovou náročnost výpočtů má složení amplitudového spektra budící funkce $\sigma_0(t)$.

Ve čtvrté kapitole je prezentováno odvození analytického řešení nestacionární napjatosti v tenké heterogenní tyči složené ze tří částí, každá část je přitom z různého materiálu. Podobně jako v případě homogenní tyče byl i zde vytvořen program v prostředí Matlab pro vizualizaci výsledků. Díky použití numerické zpětné Laplaceovy transformace vznikl nástroj pro velmi efektivní vyčíslování odvozených vztahů. Kromě analytického řešení i zde je pro konkrétní případ (tyč složená ze dvou ocelových částí o délce 2 m, mezi které je vložena hliníková část o délce 0.1 m) provedeno konečnoprvkové řešení. Ukazuje se, že pro dosažení stejné přesnosti jako v případě homogenní tyče je třeba zde volit menší prvky. Je to důsledek materiálového rozhraní, kde v důsledku různých mechanických impedancí se setkáváme nejenom s průchozími ale též i s odraženými vlnami. Interakce vlnění s materiálovými nespojitostmi lze dobře popsat vysokofrekvenčními složkami. Tyto složky však na dané konečnoprvkové síti jsou zatíženy velkou disperzí. To lze do jisté míry eliminovat zjemňováním sítě.

V páté kapitole se autor věnuje popisu experimentu pro homogenní a heterogenní tyče. Jsou porovnány naměřené a analyticky vyčíslené výsledky. Je diskutována míra jejich shody

v souvislosti se způsobem provedení experimentu, charakterem zatěžující síly a měřicí aparaturou. Bylo zjištěno, že zejména při buzení tyče vysokými frekvencemi jsou změřené výsledky negativně ovlivněny i nepatrnou přidanou hmotou (akcelerometr na konci tyče) či lepidlem použitým pro spojení jednotlivých částí heterogenní tyče.

Šestá kapitola se věnuje řešení dvou inverzních úloh. Prvá úloha se zabývá identifikací modulů pružnosti obou materiálů použitých v experimentu, tedy hliníku a oceli. Druhá prezentovaná inverzní úloha je identifikace buzení tyče. Obě inverzní úlohy byly řešeny pomocí programu vytvořeném v prostředí Matlab.

V závěru práce jsou shrnuty dosažené výsledky a jsou zde též nastíněny možnosti dalšího pokračování.

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. v obrázku 2 chybí při označení druhé derivace podle času dvojka). Na práci si nejvíce cením spojení analytického (odvození uzavřených vztahů) a numerického (MKP) přístupu doplněného experimentem.

Dotazy na které by autor měl při obhajobě odpovědět:

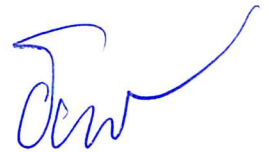
1. Kdy je možné při podélném buzení či rázu považovat tyč jako tenkou, tj. kdy lze popsat příslušné chování tyče 1D vlnovou rovnicí?
2. Jaká může být maximální rychlost elementů ocelové tyče za předpokladu platnosti lineární 1D teorie?
3. Jakým způsobem je možné zobecnit analytické řešení úlohy pro případ tyče složené více jak ze tří různých materiálů?

Závěr:

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

výborně.

V Praze dne 13.6. 2018



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