

Posudek oponenta diplomové práce Bc. Jana Tomana:

Optimalizace skladby kompozitního nosníku.

Vypracoval: Prof. Ing. M. Růžička, CSc.

Téma práce je zaměřeno na využití vlastností kompozitních materiálů ve strojírenství se zaměřením do netradičních oblastí aplikací v konstrukci obráběcích strojů. Zde se uplatňují uhlíková vlákna s vysokým modulem pružnosti a to pro díly optimalizované na nízkou hmotnost pohyblivých částí strojů a jejich vysokou tuhost. Téma je z tohoto pohledu velmi aktuální.

Diplomant se v úvodních dvou kapitolách práce zaměřil na popis struktury a vlastností kompozitních materiálů a na úvod do mechaniky anizotropních a ortotropních kompozitů. Pro potřeby dalšího využití v optimalizačních metodách vychází z laminační teorie a konstitutivních vztahů mezi napětími a přetvořeními v anizotropních/ortotropních materiálech. Uvádí potřebné transformační vztahy mezi různými souřadnicovými systémy. Protože se dále zaměřuje na nosníkové konstrukce (štíhlé profily, smykadla) odvozuje základní rovnice pro popis dynamického chování i statické tuhosti nosníků s různým typem uložení. Vysvětluje rozdíl mezi modely Euler-Bernouliova nosníku a nosníku Timošenkova, který uvažuje vliv smykových napětí při ohybu. V těchto kapitolách čerpá především z literárních zdrojů, na které se správně odvolává.

V závěru kap.2 a poté v kap. 3 popisuje nejprve podstatu výpočtové optimalizace, uspořádání návrhových parametrů, návrh modelu a kritériálních funkcí a stručně zmiňuje metody pro hledání extrémů kritériálních funkcí. To nejprve rozpracovává na nosníku obecného průřezu řešeného podle Timošenkovy teorie. Poté přechází na řešení pro tenkostěnné navíjené struktury v cylindrickém souřadnicovém systému. Zde jsou odvozeny finální vztahy pro stanovení deformací (natočení a průhybu) vetknutého nosníku zatíženého na konci osamělou silou (model jednoduchého smykadla). Tato úloha poté slouží jako testovací pro další optimalizační analýzy. Pomocí vlastního vytvořeného programu (výpis Matlab v příloze) mapuje diplomant výsledky optimalizační úlohy z různých úhlů pohledu. Z hlediska optimálního úhlu vinutí nejprve diskutuje vliv délky a vnějšího průměru nosníku (tedy jeho štíhlost). Ocenit lze využití normovaných Legendreových polynomů pro hodnocení relevance počtu členů aproximace křivek pro zjištěné závislosti parametrů. Naopak sporný je např. závěr podkapitoly pro hodnocení vlivu materiálů, kde se praví, že na vlastnostech uhlíkového vlákna optimální úhel vinutí prakticky nezávisí. Autor však neuvažuje možnost využití vláken typu PITCH (UHM – ultra high modulus), tedy vysokomodulových, které mají podstatně vyšší moduly pružnosti než běžná PAN uhlíková vlákna a jsou v kompozitních dílech používaných pro tuhostní aplikace u obráběcích strojů často používána.

Ve stěžejní kapitole 4 se diplomant věnuje optimalizaci hybridního smykadla obráběcího stroje, která existuje v prototypu firmy TAJMAC. Základní část čtvercového profilu smykadla tvoří litinový odlitek, do kterého je vlepena vyztužující navíjená kompozitová trubka. Autor optimalizuje průměr, tloušťky vrstev pro stávající skladbu materiálů a úhly vinutí vrstev kompozitu. Kritériem je maximalizace tuhosti a minimalizace hmotnosti. Pro tuto svoji činnost musel nejprve odvodit kritériální funkce, ke kterým musel sestavit matice tahové, ohybové a vazební tuhosti modelového nosníku a vyjádřit jeho průhyb a hmotnost. Zde bych se otázal, **zda při tom čerpal z literatury nebo vztahy sám odvozoval?**

V další části se zabývá hodnocením vlivu různých parametrů při návrhu vlastní varianty skladby kompozitní vyztužné trubky. Optimalizuje nosník z pohledu úhlu vinutí vrstev, hodnotí vliv tloušťky vrstev, objemový podíl vláken, materiál vláken. V poslední podkapitole navrhuje varianty upravené skladby vrstev pro zvýšený objemový podíl i tloušťky vrstev z vysokomodulových vláken.

Kladem práce je, že diplomant analyzuje a komentuje výsledky výpočtů (většinou demonstrované v grafických závislostech), zamýšlí se nad jejich interpretací a hodnotí jejich přínos z praktického hlediska. Např. hodnocení na str. 51 a 53. Sice mu mnohde unikají další souvislosti, např. technologická vyrobiteľnosť, resp. dosažitelnosť parametrov (všetchna vlákna jen v podélném směru, navýšený objemový podíl vláken o 20 procent – nelze prakticky realizovat, atp.), nutnost zabývat se i dalšími mody kmitání (krutové) aj., to však již přesahuje rámec dipl. práce.

Práce má výstižné shrnutí a závěr.

K práci mám následující dotazy, resp. diskusní poznámky:

1. Moduly pružnosti s označením kolmosti a rovnoběžnosti užití v tab. 1.1. na str. 10 nejsou uvedeny v tabulce symbolů ani jinde vysvětleny.
2. V tab. 1.2. chybí později používané parametry UHM vláken pro srovnání jejich parametrů s ostatními.
3. V rov. 2.2. chybí symboly parciální derivace u proměnných.
4. Pro odlišení skalárů a vektorů (matic) bych doporučoval změnu jejich označování (např. tučně, podle zvyklostí), rov. 2.6 atp.
5. V rov. 3.11 doporučuji dle zvyklosti uvádět indexy členů s pořadím nad diagonálou matice tedy E1311 namísto 3111 a E1331 namísto E3131.
6. Matice tuhosti v rov. 3.23 E nese index etha namísto ný.
7. Obr. 3.3. a text. Není zcela zřejmé, pro jakou variantu (tloušťky vrstev, materiály, úhly vinutí) je výpočet a výsledky uváděny. Čtenář se až později dovítí, že se jedná o nemodifikovaný základní („vyrobený“) nosník.
8. Úvod kapitoly 3.2.2. říká: „Dosud jsme uvažovali nosník složený ze tří vrstev...jejich tloušťka je [1 2 1].“ Tento předpoklad jsem předtím vyslovený nenašel.
9. Text pod rovnicí (4.2), u členu C3(22) je index 22 navíc, podobně C9(23) pod rovnicí (2.45).
10. Na str. 45 je odvozován počet pramenců z „vyplňování“ mezikruží, které vytváří vrstva kompozitu na trubce „elipsami“ pramenců pod daným úhlem v jejich řezu. Ve vztahu chybí objemový podíl, neboť plochu nelze plně elipsami vyplnit. t9m bude dosažený odhad tloušťky zkruslen.
11. Obr. 4.21 Grafy se opakují (z 4.19), na toto místo patří jiné obrázky.

Diplomant splnil všechny body zadání. Prokázal orientaci v odborné domácí i cizojazyčné literatuře, vlastní programátorské schopnosti, analytický myšlenkový postup i schopnost analýzy a syntézy výsledků a formulaci závěrů. Grafická i jazyková stránka DP je na dobré úrovni s minimem překlepů i gramatických chyb. Navrhují hodnocení A.

V Praze dne 28.7.2015

