

Oponentský posudek dizertační práce

Autor: Ing. František Löffelmann

Název: *Design, stress analyses and limit load of sandwich structures.*

Školitel: prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.

Oponent: doc. Ing. Josef Klement, CSc.

Doktorská práce je věnovaná aktuální problematice, která se týká optimalizace leteckých konstrukcí z hlediska jejich hmotnosti. V užším zaměření se jedná o optimalizaci sendvičových konstrukčních prvků. Topologická konstrukční optimalizace je frekventovaný postup, který se již běžně uplatňuje u kovových izotropních materiálů a intenzivně se sleduje také u kompozitních materiálů, které se vyznačují ortotropními vlastnostmi. U sendvičových materiálů s výrazně anizotropními vlastnostmi je situace podstatně složitější. Zde se jedná o širokou škálu možných materiálových kombinací jak potahů, tak i sendvičových jader. Vytvoření univerzální metody optimalizace je tak poměrně velmi složité. V návaznosti na známé poznatky z oblasti kompozitních materiálů je práce věnována především materiálové kombinaci kompozitních potahů a lehkých pěnových jader, ale v některých konkrétních případech i jader voštinových.

Přehled současného stavu

V analýze současného stavu zkoumané problematiky autor uvedl přehled analytických způsobů řešení základních sendvičových konstrukčních prvků typu nosník a panel, principy analýzy složitějších konstrukcí metodou konečných prvků, přehled optimalizačních metod s důrazem na topologickou optimalizaci kompozitních materiálů a na příkladu MSC.Nastran možnosti využití MKP analýzy pro řešení optimalizačních úloh. Stručně jsou zmíněny analytické přístupy optimalizace sendvičových nosníků z hlediska jejich pevnosti, tuhosti a limitních deformací. Správně jsou hodnocena jejich omezení a jejich praktické využití hlavně tam, kde je možné rozčlenit složitější konstrukční celek na jednodušší prvky. Logicky větší význam přikládá autor literárním poznatkům o numerické optimalizaci složitějších sendvičových konstrukcí. Přitom vychází i z vlastních zkušeností, které získal při řešení konkrétních projektů Leteckého ústavu (letoun TL 4000 – lit.4, 6)

K úvodu a kapitole o současném stavu problematiky nemám zásadní připomínky. Je zřejmé, že autor se s celým komplexem řešených problémů dostatečně seznámil. Svědčí o tom i obsáhlý seznam literatury. Literární poznatky by v některých případech vyžadovaly podrobnější informace z hlediska teoretických předpokladů a omezujících podmínek. S ohledem na navazující vlastní práci by bylo vhodné zařadit také podrobnější popis sendvičových materiálů a zejména definici a grafické znázornění jejich možných poruch, včetně funkce rozhraní mezi potahovým a jádrovým materiálem. Bližší vysvětlení je třeba pro tvrzení na s. 21 ... *výhoda RAMP je nenulová hodnota a nenulový gradient v bodě $x_e=0$...srovnej*

s Fig.5. Jako velmi vhodné hodnotím přehledné shrnutí dosavadního stavu problematiky v kap. 2.3

Cíle práce

Zdůvodnění cílů práce je přehledně uvedeno v Tab. 3.1. Cíle jsou ve shodě s obecnými trendy v konstrukci a výrobě komplexních sendvičových struktur, kde nelze použít zjednodušené analytické metody a MKP analýzy jsou nezbytné. Zaměření na konstrukce s malým počtem vrstev, tj. na lehká letadla, případně letadlové interiéry, nutně komplikuje řešení. U těchto konstrukcí jsou možnosti a efekty optimalizace menší než u konstrukcí tlustostěnných. Hlavní stanovený cíl se týká uplatnění optimalizačního přístupu už v počáteční fázi konstrukčního návrhu, kdy má největší efekt. Cíle práce vedle minimalizace hmotnosti a zahrnutí poruchových kritérií rovněž obsahují i uvážení výrobních faktorů, kterým se ale autor dále v práci podrobně nevěnuje.

Použité metody řešení

V metodice je popsán základní přístup k optimalizaci, tj. implementace optimalizační metody do počáteční fáze konstrukčního návrhu. Jako cílová funkce je zvolena hmotnost s uvážením RAMP interpolace hustoty pro potah a jádro sendviče. Tloušťka a matrice tuhosti vrstev jsou interpolovány lineárně.

V popisu určení mezních hodnot je vedle konstrukčních a materiálových mezí pozornost věnována hlavně poruchovým kritériím potahu a jádra – maximální napětí, smykové poruchy jádra, zvlnění potahu. Výpočet napětí ve vrstvě je popsán v příloze - kap.9, včetně zjednodušujících předpokladů. Z nich některé jsou v praxi obtížně splnitelné, např. dokonalé spojení vrstev.

Důležitou kapitolu práce představuje popis implementace softwaru. Postup je v dané kapitole dostatečně podrobně popsán ve všech fázích – přípravné fázi, návrhovém cyklu a finalizační fázi. Optimalizační program je založen na využití MSC.Nastran a jeho aplikace je přehledně znázorněna v postupovém diagramu – obr.22. Zahrnuje vytvoření FE modelu, stanovení optimalizačních a materiálových parametrů, optimalizační cyklus, kontrolu konvergence, opakování optimalizačního cyklu, konečný návrh a validizaci.

Přehledný je souhrn použité metodiky v kap. 4.4.

Příklady řešení a výsledky

Praktickým vyústěním doktorské práce je řešení několika konstrukčních prvků od jednoduchých elementů po komplexní tvarový prvek. Volba každého příkladu je logicky zdůvodněna a plní určitý stanovený cíl. Autor předpokládá technologii výroby sendviče tzv. mokrou laminací, tomu odpovídají zvolené materiálové parametry. U tkaninových kompozitů existuje obvykle určitý rozdíl ve vlastnostech ve směru osy a útku. U řešených příkladech tyto rozdíly nejsou uvažovány (tab. 5.1).

Na řešených příkladech je dokumentována možnost praktického uplatnění vytvořené optimalizační metody. Současně byly zjištěny některé problémy, spojené s diskrétností a konvergencí řešení. U některých řešení s UD skladbou je výsledkem optimalizace různá

orientace vláken ve vrstvě potahu – obr.32, 33. To nutně povede k výrobním problémům. U elementárních konstrukcí v tab. 5.4, 5.6 a 5.8 je uvedeno porovnání výsledků optimalizace se skutečnými optimy. Není zřejmé odkud byla získána data o těchto optimech. U reálného dílu – schránky, by bylo vhodné porovnat optimalizovanou konstrukci se skutečnou, alespoň na základě porovnání hmotnosti. Optimalizační problémy zjištěné u jednoduchých konstrukčních prvků (hmotnost) jasně dokumentují vhodnost uplatnění popsané metody optimalizace především u složitějších sendvičových konstrukcí.

Závěry a doporučení pro pokračující výzkum

V závěrech autor kriticky hodnotí kladné výsledky i hlavní problémy a naznačuje cesty jejich řešení. Má také ujasněný postup případného pokračování práce.

Závěr oponentního posudku

Práce Ing. Löffelmana splňuje všechny požadavky kladené na doktorské dizertační práce. Její téma je aktuální, stanovené cíle splnila. Přináší nové poznatky v řešené vědecké oblasti a má velmi dobrou odbornou, stylistickou i jazykovou úroveň. Vlastní přínos autora spočívá v aplikaci poruchových kritérií a v ověření možnosti využití běžných MKP modelů v optimalizačních úlohách sendvičových konstrukcí. Práce je současně vhodným základem pro další rozvoj optimalizačních metod při návrhu lehkých konstrukcí. V inženýrské praxi může být hlavním efektem snadnější počáteční návrh sendvičové konstrukce složitějšího typu. Hlavní výsledky práce byly publikovány na mezinárodní úrovni. Ing. Löffelmann prokázal schopnost samostatné vědecké práce. Práci doporučuji k obhajobě a autorovi doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.

Vyjádření k tezí dizertační práce

Téze mají shodnou skladbu jako vlastní dizertační práce a obsahují všechna podstatná data, výsledky a závěry. Seznam literatury je úměrně zkrácen.

Otázky a požadavky pro obhajobu

1. Vysvětlete, jak byla získána skutečná optima v tab. 5.4, 5.6 a 5.8.
2. Popište svoji představu o reálném řešení konstrukce, kde optimalizací dochází k místní skokové změně tloušťky jádra a k doprovodným jevům v důsledku změny tuhosti.
3. Jaká je představa o případném budoucím zahrnutí výrobních faktorů do optimalizačního postupu?