

Posudek diplomové práce:

**Pevnostní analýza laminátu s dírou pro spoje
kovovými elementy.**

Západočeská universita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra mechaniky

Autor: Bc. Lukáš Bek

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radek Kottner, Ph.D.

Souhrn

Předložená práce má 65 stran a je rozčleněna do 9 hlavních kapitol. Nechybí seznam zkratk a označení, přehled použité literatury a vlastních publikací autora. Součástí jsou dvě přílohy vztahující se k prováděným experimentům.

Zadání diplomové práce definuje stanovené zásady pro vypracování, které se týkají zpracování rešerše současného stavu problematiky, provedení experimentálních prací, využití Puckova kritéria pevnosti kompozitu spolu se systémem MSC.Marc a srovnání teoretických výsledků s výsledky zkoušek.

Práce působí přehledně, celková úprava je přiměřená zpracovávanému tématu.

Dosažení stanoveného cíle

V úvodu práce autor stručně naznačuje historii použití kompozitních materiálů a správně vytyčuje jako jeden z hlavních konstrukčních problémů otázku jejich spojování s okolní konstrukcí. Jako jeden z hlavních důvodů vážnoucího rozvoje využití kompozitů uvádí jejich náročnost na analýzy a ověření teoretických závěrů experimentální cestou.

To je samozřejmě pravda, a stojí za to ještě připomenout mimořádnou náročnost kompozitních konstrukcí na průkazy vlastností za různých podmínek okolí (např. teploty, vlhkosti, UV záření), nezbytnost zavedení nákladného systému řízení kvality ve výrobě a problematiku defektoskopii, servisu a údržby kompozitních konstrukcí v provozu, atd. V řadě případů brání masovému zavedení kompozitních materiálů do provozu i legislativní omezení související s hygienickými normami pro výrobní provozy a povinnost zabezpečit recyklaci výrobků na konci jejich životního cyklu.

Na úvod navazují kapitoly rozebírající současný stav spojování kompozitů pomocí kolíkového spoje a základní materiálové charakteristiky jednosměrného kompozitu. Více prostoru je následně věnováno představení Puckova kritéria, které bylo vybráno pro predikci lomu v kompozitu.

Jeho poměrně obsáhlý rozbor je na místě, protože k správné aplikaci konkrétního kritéria patří dokonalá znalost jeho definice a omezení platnosti. Pro další praxi doporučuji neomezovat se při

podobných úlohách na jediné kritérium, ale provádět paralelní výpočty s nejméně jedním dalším, dobře prověřeným kritériem. Porovnáváním všech výsledků s výsledky zkoušek lze lépe postihnout význam zatížení v hlavních materiálových osách a interakce všech spolupůsobících složek napětí v lamině. Bohužel na všechny vlastnosti kompozitu jsou přesně spočítatelné. Například pevnost konkrétní laminy může vykazovat určitou závislost na pořadí, v jakém je uložena mezi ostatní laminy – jiná na povrchu, jiná uvnitř laminátu a jiná mezi vrstvami s jinou orientací výztuže. Praktické zkušenosti jsou zde dosud nenahraditelné.

S narůstající praktickou zkušeností lze očekávat, že pro různé typy úloh (materiálové systémy, technologie a konstrukční řešení) si pracovník vybere, respektive připraví adekvátní kritéria, která budou poskytovat nejspolehlivější výsledky. Žádné dosud známé pevnostní kritérium bohužel neposkytuje universálně správné výsledky, a proto je třeba věnovat výběru zvýšenou pozornost. Součástí technické zprávy by měl být obdobný rozbor vlastností zvoleného kritéria pevnosti nebo odkaz na něj. Jeho zařazení v diplomové práci proto vítám jako projev správného metodického postupu.

Stejně lze konstatovat k metodě zlatého řezu doplněné o metodu parabolické interpolace v následujících podkapitolách.

V další části práce student přibližuje princip metody digitální korelace obrazu, kterou si vybral pro optické sledování a vyhodnocení přetvoření na povrchu zkušebních těles v průběhu statických zkoušek. Tyto záznamy byly využity pro porovnání s výpočty metodou konečných prvků k identifikaci prvotního poškození a finálního módu poškození kolíkového spoje.

Experimentální část práce zahrnuje zkoušky vzorků z kompozitu uhlík/epoxy s různými geometrickými poměry otvoru vůči ostatním rozměrům zkušební tyče. V průběhu zkoušek byl pořizován optický záznam pro potřeby vyhodnocení změn na povrchu zkušebních těles a záznam vibrací k odhalení okamžiku poruchy první vrstvy.

Provedení experimentální části práce považuji za promyšlené a přehledně zpracované. Výsledky zkoušek jsou porovnávány s numerickou simulací v metodě konečných prvků. Uvedená průměrná chyba mezi teoretickým a experimentálním určením porušení první laminy je 12,8%.

Zde je třeba podotknout, že před vytvořením konečných závěrů tohoto typu je třeba mít statisticky spolehlivě zpracované výsledky experimentu. To je zřejmě úloha svým rozsahem nad rámec možnosti jedné diplomové práce, protože předpokládá od každého typu vzorku odzkoušení nikoliv několika jednotlivých kusů, ale jejich desítek. Chyba samotného experimentu totiž může být u obdobně složitých zkušebních těles s otvorem stejná nebo i větší. Příčinou bývají například výrobní nedokonalosti, vlivy technologie a rozptyl vlastností materiálových složek, ze kterých je kompozit vyroben.

Pro zpracování výsledků ať již v rámci numerických simulací nebo prováděného experimentu, připravil student několik počítačových programů či rutin, které z části navazují na předchozí práce provedené dalšími odborníky. Tyto programové kódy jsou v práci ve stručnosti popsány a jejich včlenění do softwarových řetězců je naznačeno ve dvou diagramech.

Závěr

Student v rámci diplomové práce prokázal dobré znalosti problematiky kompozitních materiálů, zejména ve věci stanovení jejich materiálových charakteristik a v teorii pevnosti kompozitu. Systematicky zpracoval teoretickou i experimentální část práce, prokázal schopnost provádět výpočty v metodě konečných prvků, připravil náročný experiment a jeho výsledky přehledně vyhodnotil a porovnal s výsledky teoretickými.

Student prokázal své programátorské schopnosti a také velmi důležitou, občas podceňovanou schopnost, navázat na dílo svých předchůdců a dále jej rozvinout.

Formální zpracování diplomové práce má úroveň odpovídající kvalitní technické zprávě.

Cíl diplomové práce považuji za splněný.

Z výše uvedených důvodů předloženou diplomovou práci Bc. Lukáše Beka doporučuji k obhajobě a navrhuji klasifikovat známkou 1 – výborně.

Autor posudku:

12. 06. 2012 

Ing. Vilém Pompe, Ph.D.

Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.
útvár Kompozitní technologie
Beranových 130
Praha – Letňany
199 05