



OPONENTNÍ POSUDEK

práce

Ing. Vladimíra Matějáka

EFFECTS OF DEFECTS ON COMPOSITE STRUCTURES LOAD CARRYING CAPACITY: DELAMINATIONS AT BI-MATERIAL INTERFACES

VLIV VAD NA ÚNOSNOST KOMPOZITNÍCH KONSTRUKCÍ:
DELAMINACE NA ROZHRANÍ DVOU MATERIÁLŮ

V Praze dne 14. 6. 2016

Vypracoval : **Prof. Ing. Milan Růžička, CSc.**

1. Úvod

K posouzení byla předložena disertační práce Ing. Vladimíra Matějáka, vypracovaná na Fakultě strojní VUT v Brně. Práce se zabývá hodnocením únosnosti kompozitních konstrukcí s ohledem na možnost vzniku vad na rozhraní vrstev kompozitu a jeho interlaminární pevnosti. Práce obsahuje 112 stran textu včetně příloh. Je rozdělena do osmi kapitol.

2. Aktuálnost tématu a zhodnocení přínosu disertační práce pro obor

Přestože dlouho-vláknové vrstvené kompozity jsou již široce používaným konstrukčním materiálem, poznávání a popis jejich vlastností, zejména ve vztahu k technologii a jakosti jejich výroby, případně provozní degradace, není zdaleka uzavřeným tématem. Výzkum typů porušování, kvantifikace i normalizace měření vlastností materiálů a výpočtové metody a modely jsou pro konstruktéry stále velmi aktuální.

Autor si v práci vytyčil následující cíle:

1. Vyšetřit vliv různých materiálových vlastností na lomovou houževnatost rozhraní vrstev
2. Provést analytické metody používané k výpočtu lomové houževnatosti pro smíšené zatěžovací módy

3. Navrhnout kritérium porušení, které by bylo použitelné pro hodnocení delaminace v bi-materiálovém rozhraní.
4. Automatizovat metody měření délky trhliny.

Tyto cíle hodnotím jako potřebné a aktuální, vzhledem ke zvolenému tématu. Práce významně přispívá zejména k rozvoji experimentálního hodnocení lomové odolnosti rozhraní dvou materiálů při kombinovaném způsobu zatěžování více módy (normálovým a smykovým) a její výstupy jsou prakticky využitelné pro hodnocení výsledků zkoušek a porovnání materiálů mezi sebou. Poznatky a závěry publikovaného výzkumu rozšiřují dosavadní poznání v oboru a přispívají k jeho rozvoji.

3. Vyjádření k obsahu práce, postupu řešení, použitým metodám a splněním cílů práce

Po úvodní kapitole se druhá kapitola věnuje rešerši literatury zaměřené na typy poškození a porušování vláknových kompozitů, teorie porušování, typům defektů a vad v kompozitech, zkoušením kompozitů i jejich numerickým modelováním výpočtovým metodám (MKP). Kapitola přehledně shrnuje některé dosavadní poznatky v uvedených oblastech.

K rešerši mám dvě připomínky. Existuje celá škála přístupů řešení problému stability trhlin na rozhraní (popis přes faktor intenzity napětí K , popis přes rozevření kořene trhliny, popis přes hnací sílu G , i další). Autor se zaměřuje na řešení přes hnací sílu a ostatní metody vůbec nezmiňuje, i když rešerše obsahuje řadu dalších témat o porušování kompozitů, které k řešené problematice mají vztah mnohem vzdálenější.

V oblasti na kterou se potom autor zaměřuje (řešení přes G), by rešerše měla být hlubší, řada stěžejních prací zde chybí. Některé vlivy nejsou v rešerši diskutovány, byť v oblasti je rozsáhlý výzkum, např. vliv vzájemné skladby vrstev na rozhraní, vliv teploty, vliv rychlosti zatěžování aj. Zpracování pro téma klíčových publikací by potom mělo být „více kritické“ vzhledem ke známým postupům a poznatkům a potřebě vytyčení dosud nedostatečně poznaných souvislostí.

V kap. 3 jsou navrženy cíle práce a popsány metody jejich dosažení. Cíle i metody jsou výstižné, byť stručné, vytyčeny.

Čtvrtá kapitola se věnuje experimentálnímu výzkumu. Nejprve jsou popsány tvary těles a konfigurace zkoušek. Autor na zkušebních vzorcích zkoumá lomovou houževnatost bi-materiálové rozhraní v tahovém, smykovém a smíšeném módu zatěžování (typy zkoušek uváděné pod zkratkou DCB, ELS, ADCB). Za tímto účelem navrhl výrobu univerzálního zkušebního přípravku. Dále se podrobně zabýval vývojem metody automatického nalezení a vyhodnocení čela a délky trhliny. Použil k tomu nových možností experimentální techniky a to využití CCD kamery a principu digitální korelace obrazu. Vytvořil program pro škálování a binární digitalizaci snímaného rozhraní dvou materiálů. Vytvořil a testoval algoritmus pro automatizované nalezení čela trhliny z pořízeného obrazu. Ukázal, že navržená metoda poskytuje výsledky, které jsou po aplikované korekci, velmi blízké mikroskopem určeným hodnotám a pro větší délky trhlin jsou využitelné pro automatizaci měření s dobrou přesností.

V páté kapitole disertant uvádí analytické metody hodnocení mechaniky rozhraní. Wiliamsovu metodu rozšiřuje o určení hnací síly trhliny v rozhraní pro materiály s rozdílnými moduly pružnosti a pro tři typy těles - DCB, ELS, ADCB. Je tento postup autorův původní nebo převzatý?

Kapitola 6 uvádí a komentuje výsledky experimentálních měření rozvírání trhliny těles - DCB, ELS, ADCB a vyhodnocení kritické hodnoty hnací síly trhliny. Autor zde uvádí a

diskutuje vyhodnocení této hodnoty podle různých metod. Zároveň navrhuje vlastní metodu vyhodnocení, která lépe postihuje změny poddajnosti vzorků při výrazném nelineárním chování zatěžovací závislosti. Metoda se zdá přínosná a použitelná za předpokladu, kdy rozhraní nevykazuje křehké chování a trhliny nepoposkočí, jak tomu bylo u ELS těles. Osobně bych dal přednost relativní než-li absolutní formulaci kritéria, např. $(d_{lin}-d)/d_{lin}$. Bylo by kritérium použitelné i v takové podobě? Použitá metoda při porovnání výsledků vykazuje nejnížší směrodatnou odchylku, dává však nejvyšší hodnoty G_{crit} z porovnávaných metod, takže výsledky z ní nelze srovnávat s jinými postupy. Ale to je vlastností všech úprav konkrétní zkušební „normy“.

Kapitoly 7 a 8 hodnotí dosažené výsledky a splnění cílů. Lze souhlasit, že vytčené cíle byly naplněny. Experimentální výzkum i numerické simulace potvrdily skutečnost, že normálový mod I a smykový mod II nemají při kombinovaném zatěžování konstantní poměr, ale jsou závislé na vzdálenosti od čela trhliny.

4. Stanovisko k výsledkům disertační práce a původnímu konkrétnímu přínosu

Těžiště vlastní experimentální tvůrčí práce disertanta leží v kapitole 4. Zde navrhl a realizoval postup a algoritmy pro vyhodnocení délky delaminace (trhliny) měřené na rozhraní dvou materiálů pomocí DIC. I když použil známých metod škálování a binarizace obrazu, doplnil algoritmy o zajímavý postup nalezení čela trhliny. Výsledek porovnal s přesnějším optickým měřením a navrhl realizovat korekce binárních dat. V kap. 5 potom odvodil vztahy potřebné pro analytické vyjádření kritické hnací síly, resp. compliance a konečně v kap. 6 navrhl vlastní původní metodu vyhodnocení kritické hnací síly pro nelineární typ závislosti porušování rozhraní.

5. Dotazy k práci:

- Pro korigování experimentálně určených délek trhliny pomocí DIC (např. obr. 4.14) se autor odvolává na aplikaci postupů z modelů teorie nosníků. Určení korekce pro jednotlivé módy i smíšený mód zatěžování však není zcela zřejmé. Může autor aplikované postupy korekce délek (srovnání měřených a vypočtených a korigovaných délek) blíže osvětlit při obhajobě?
- Autor se snažil nalézt vztahy mezi jednotlivými módy zatěžování. Výsledkem této snahy je tvrzení (na str.69), že rozklad na dílčí módy nemá fyzikální význam a že výsledek (ekvivalentní hnací síla G_{tot} ?) je závislá na vzdálenosti od čela trhliny. Může autor toto tvrzení blíže osvětlit? Má na mysli závislost G_{tot} na souřadnici pro danou délku trhliny nebo závislost jako funkci na délce trhliny, nebo jinak?

6. Vyjádření k systematice, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni práce

Práce je psána logicky, se systematickým řazením kapitol i podkapitol, má dobrou grafickou úpravu a byla psána pečlivě. Několik nalezených překlepů nebo nejasností nesnižuje její hodnotu. Tyto připomínky však nejsou zásadní z hlediska odborné úrovně práce.

7. Vyjádření k publikacím studenta

Disertant ve své práci publikuje řadu původních výsledků experimentálních zkoušek i numerických analýz. Bohužel ve své práci neuvádí výčet svých prací, souvisejících s tématem disertační práce. Zákon č. 111/1998 Sb. paragraf 47 odst. 4 říká, že disertační práce musí obsahovat původní výsledky a že výsledky práce musí být uveřejněné nebo přijaté k uveřejnění. Všeobecně se tím myslí, že ve vlastní práci mají být zařazeny odkazy na

autorovy publikované výsledky. **Tento závažný nedostatek by měl autor akceptovat a práci doplnit, případně při obhajobě komentovat a publikace a vztah k výsledkům dis. práce doložit.**

8. Závěrečné hodnocení

Domnívám se, že předložená disertační práce ing. Vladimíra Matějáka až na výše uvedené připomínky splňuje kritéria, jak je vymezuje zákon č. 111/1998 Sb. Autor prokázal schopnosti samostatné vědecké práce a systematického i kritického přístupu k hodnocení výsledků. Doporučuji, aby v případě uspokojivých odpovědí na dotazy oponentů a úspěšné obhajoby mu byl přiznán titul Ph.D.

Teze disertační práce jsou výstižné a uvádějí hlavní dosažené výsledky. Výtka patří citování vlastních publikovaných prací. Doporučuji teze v tomto smyslu doplnit.

Milan Růžička