

Doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.
VŠB – TU Ostrava
Fakulta strojní
17. listopadu 15/2172
708 33 Ostrava – Poruba
Mobil: +420 605 837 336
Telefon: +420 597 323 284
E – mail: jiri.havlik@vsb.cz

Oponentský posudek disertační práce

Ing. Petr Kulhavý

Konstrukce prototypových kompozitních rámu z předimpregnovaných vláken

Studijní obor 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení

Na základě žádosti číslo TUL – 381623/2112, děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda jsem vypracoval tento posudek na výše uvedenou disertační práci.

1. Obsah práce

Práce je rozdělena do 8 kapitol. V 1 kapitole jsou popsány materiály v současných technických konstrukcích. Ve 2 kapitole jsou charakterizovány kompozitní materiály současnosti. Ve 3 kapitole jsou popsány základní vlastnosti kompozitů z předimpregnovaných vláken. Ve 4 kapitole jsou uvedeny konstrukční zařízení pro výrobu kompozitů z předimpregnovaných vláken. V 5 kapitole jsou uvedeny výpočetní metody kompozitních struktur. V 6 kapitole jsou popsány způsoby výroby a testování zjednodušených prototypových dílů. V 7 kapitole je popsána výroba prototypového rámu. V 8 kapitole jsou srovnány experimentální výsledky testování rámu s numerickými simulacemi těchto rámu. V závěru jsou uvedeny přínosy disertační práce pro praxi a vědní obor.

2. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Cílem disertační práce bylo (stručné shrnutí):

- studie vlastností kompozitních materiálů
- tvorba metodiky výpočtu
- konstrukční návrh výrobního zařízení a výroba prototypových rámu z předimpregnovaných vláken
- testování a optimalizace mechanických vlastností prototypových rámu a jejich srovnání s metalickými rámy

Lze konstatovat, že v průběhu práce byly všechny uvedené cíle postupně splněny a náležitě okomentovány.

3. Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Technologie výroby součástek z kompozitních materiálů se neustále vyvíjí, vzhledem k stále častějšímu použití těchto materiálů především v automobilovém průmyslu anebo při výrobě jízdních kol. Kompozitní materiály jsou používány stále častěji především pro svou nízkou měrnou hmotnost a celkem odpovídajícím mechanickým vlastnostem. Technologiemi výroby se zabývají specializované firmy, které však neřeší výrobu v malých sériích, vzhledem k ceně. Proto má velký význam použití technologie výroby, která je aplikovatelná na zhotovení kompozitních rámců v počtu např. několika kusů. V disertační práci je provedena pečlivá rešerše problematiky technologie výroby z hlediska publikační činnosti a firemní literatury. Výběr prostudovaných materiálů byl pro další výzkumnou práci dostatečný.

4. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám

V disertační práci je zvolen logický postup řešení problematiky výroby trubkových kompozitních rámců. Je zde uvedena metodika postupu výpočtu vrstvených kompozitních materiálů. Dále je v práci popsána konstrukční úprava výrobního zařízení a zdokumentována výroba prototypů rámců, otestovány vlastnosti trubkových kompozitů z hlediska tahových, ohybových a tlumících vlastností. Vyrobené rámy byly experimentálně otestovány a porovnány s ocelovými rámy.

Použité postupy a metody vedou k dosažení cílů disertační práce.

5. Výsledky disertační práce a význam původního konkrétního přínosu autora disertační práce

Disertační práce dává návod k výrobě prototypů kompozitních rámců z předimpregnovaných vláken. Je zde představeno výrobní zařízení, kde je upraven komponent na navíjení prázdného papíru. Jsou zde srovnány různé způsoby obalování jádra kompozitního trubkového prvku a provedena optimalizace návinnu. V práci jsou také uvedeny vhodné experimentální metody pro testování trubkových kompozitních rámců z předimpregnovaných vláken. Výše uvedené postupy jsou přínosem z hlediska praktického použití.

Z hlediska teoretického a vědního použití jsou významné uvedené matematické postupy výpočtu mechanických vlastností vrstvených kompozitních materiálů.

6. Vhodnost použitých metod řešení

Postup zpracování disertační práce je logický a systematický. Jednotlivé kapitoly na sebe logicky navazují tak, aby byla zachována návaznost výpočtů a experimentů. Použité metody jsou vhodně voleny pro potřeby provedeného výzkumu, což dokládá vědecké schopnosti autora.

7. Prokázání odpovídajících znalostí v daném oboru

Doktorand prokázal, že je schopen řešit zadanou problematiku na odpovídající vědecké úrovni. Svědčí o tom systematický postup řešení a vhodně zvolené teoretické metody, které doplnil praktickými experimenty. Také uvedená publikační činnost doktoranda je na odpovídající vědecké úrovni.

8. Formální úroveň práce

Po formální stránce je práce zpracována na velmi dobré úrovni. Je logicky uspořádána, text je psán srozumitelně, bez překlepů a pravopisných chyb. Obrázky jsou v drtivé většině původní a převzaté obrázky jsou náležitě označeny.

9. Otázky k obhajobě

- I. Je možné stanovit minimální vnitřní poloměr trubkového rámu z předimpregnovaných vláken v závislosti na průměru jádra a šířky vlákna?

Závěrečné prohlášení

Na závěr lze konstatovat, že všechny cíle práce byly splněny. Na základě výše uvedeného doporučuji podle zákona č. 111/1998 sb. §47 disertační práci **Ing. Petra Kulhavého** k obhajobě a po úspěšné obhajobě doporučuji udělit akademický titul

„doktor“.

V Ostravě 29.04.2019

Doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.

Doc. Ing. Miroslav Bureš, CSc.
Na Pískovně 649, 46014 Liberec

Oponentní posudek disertační práce
Ing. Petra Kulhavého

Konstrukce prototypových kompozitních rámu
z předimpregnovaných vláken

Studijní obor : 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení

Vysoká škola : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní

Školitel : Doc. Ing. Vítězslav Fliegel, CSc.

Na základě pověření prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda, CSc. , děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci (č. j. TUL 381623/2112) jsem vypracoval tento oponentní posudek na uvedenou disertační práci.

Zaměření a stručný obsah disertační práce

Disertační práce je zaměřena na možnosti výroby rámových konstrukcí otevřeného i uzavřeného tvaru z kompozitních předimpregnovaných materiálů (prepregů).

V první části se autor zabývá popisem kompozitních materiálů v konstrukčních aplikacích, rozdělením kompozitů a používaných vláken a technologiemi výroby z těchto materiálů. Předimpregnovaná vlákna mají vlastní kapitulu o mechanických vlastnostech, vliv úhlu navíjení, teorii pro určení inženýrských konstant a upřesňování výpočtových modelů.

Základem pro výrobu rámu ovíjením prepregové pásky na nenosné pěnové jádro byla konstrukce vlastního výrobního zařízení, které vychází z původní konstrukce používané na Technické univerzitě k výrobě otevřených rámu tzv. mokrou cestou (navíjení suchých pásek a dodatečné sycení pryskyřicí). Navíjecí hlava je konstruována na bázi kovového rámu s několika oběžnými otevřenými koly (tvar C), průvlačnými kroužky a zdokonalenými držáky cívek s kompozitní páskou a s navíjením ochranné pásky lepidlových prepregů na odběrnou cívku. Navíjení

prepregové pásky bude provedeno s využitím pomocných robotických zařízení, které zajistí požadované polohy a vzájemné pohyby s potřebnou přesností a plynulostí.

Důležitou kapitolou práce je teoretická studie výpočetních modelů kompozitních struktur, testování mechanických vlastností (pevnost v tahu, ohybové namáhání) navržených laboratorních dílů, včetně přenosu vibrací. Následuje porovnání výsledků experimentu a výpočtu. Parametrické modely návínu obecně zakřivených dílů ukazují nerovnoměrnost pásky na vnitřním a vnějším oblouku a vliv šířky prepregové pásky.

Před výrobou prototypových ráků bylo provedeno testování zjednodušených (typ trubka) obalených a navinutých dílů, experimentem zjištěna přenosová funkce a porovnána s výpočtem. Dále se zabývá optimalizací návínu a možností vyztužit trubku v místě největšího namáhání nerovnoměrným navinutím vláken. V ohybovém testu pak hodnotí chování odlišných vzorků (zatěžování do prasknutí).

Následuje výroba společné formy pro výrobu prototypového otevřeného i uzavřeného jádra z epoxidové směsi, výpočet potřebného objemu směsi a výpočet délky prepregové pásky. Dalším krokem byla příprava trajektorie podle řídicí křivky tvaru jádra tak, aby robot pokládal vlákna na zakřivené plochy ve správné orientaci, v různých směrech bez překrutů a nežádoucích mezer. Jsou uvedeny simulace procesu navíjení i reálný návín kolem jádra.

Takto vyrobené ráky byly vytvořeny a zkoušeny na namáhání ohybem. Je provedena numerická simulace zatížení ráků, uvedeny výsledky testů a na závěr porovnání ocelového a kompozitního ráku.

Stanovení cíle a jeho splnění

Cílem disertační práce je studie kompozitních materiálů, zhodnocení teorií a výpočtových modelů pro kompozity, tvorba vlastní metodiky, optimalizace návínu prepregů. Testování a optimalizace mechanických vlastností jednoduchých vzorků s cílem konkrétního návrhu otevřeného a uzavřeného ráku a jejich výroby. K tomu je nutné konstrukčně vyřešit vlastní navíjecí zařízení z dosud podobného řešení. Vyrobené ráky odzkoušet a zhodnotit s modelovými návrhy.

Cíl disertační práce považuji v celém rozsahu za splněný.

Nové poznatky, přínos pro praxi a vědní obor

Pro dosažení splnění cílů disertační práce bylo také velmi zásadní konstrukční řešení nové navíjecí hlavy prepregových pásek se všemi dalšími doplňky, metodika optimalizace a řízení její trajektorie pro robotické dokonalé navíjení. Během práce byly odzkoušena výroba jádra ráku z polyuretanových a epoxidových vypěňovacích směsí. V práci bylo teoreticky popsáno a na základě provedených modelových simulací a experimentů demonstrováno pozadí výpočtu vrstvených skořepin, uvedena aplikace algoritmů ve fázi návrhu úhlů a skladby vrstev kompozitů s ohledem na okrajové podmínky.

Vyjádření k použitým metodám

Doktorand prostudoval obrovské množství dostupné a citované literatury, ve své práci postupuje systematicky od rozboru současně známé problematiky, způsobů řešení i modelových výpočtových aplikací. Použité postupy při řešení cílů byly zvoleny správně. Experimenty byly prováděny s odborníky na katedře jak v oblasti měření, tak i v konkrétní aplikaci.

Otázky k obhajobě

1. V konstrukčním řešení jste použil radiální ložiska k zachycení axiálních sil. Byly tyto síly měřeny a jak velké jsou?
2. Kdybychom chtěli vyrobit rám tvaru „I“ ,jaké problémy by vznikly při návinu?

Celkové zhodnocení

Disertační práce Ing. Petra Kulhavého předkládá v ucelené podobě výsledky výzkumných prací ve sledované oblasti.

Vypracováním disertační práce doktorand prokázal schopnost samostatné vědecké práce, má hluboké teoretické znalosti podložené numerickými modely a přináší nové poznatky ve sledované problematice a oboru. Důležitou součástí práce bylo konstrukční řešení a realizace ovíjecí hlavy pro uzavřené profily s mechanismem pro ovíjení krycí pásky prepregů.

V disertační práci jsou uvedeny konkrétní výsledky jak v oblasti teoretické, tak i experimentální s praktickými výsledky. Podílí se jako spoluautor nejméně na 35 publikacích ve vědeckých časopisech a na konferencích.

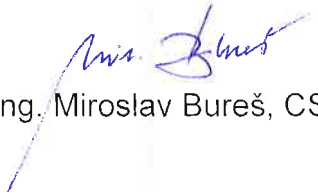
Závěr

Disertační práce Ing. Petra Kulhavého splňuje požadavky studijního a zkušebního řádu Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci. Všechny cíle práce byly splněny a práci doporučuji podle zákona č. 111/1998 Sb. §47 k obhajobě.

Po úspěšné obhajobě doporučuji udělit Ing. Petru Kulhavému akademický titul

„ doktor “ (Ph.D.).

V Liberci 7.5.2019


Doc. Ing. Miroslav Bureš, CSc.

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní
Studentská 1402/2
461 17 Liberec 1
Č.j. TUL-381623/2112

POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Uchazeč: Ing. **Petr Kulhavý**

Název disertační práce: **Konstrukce prototypových kompozitních rámců z předimpregnovaných vláken**

Školitel: Doc. Ing. Vítězslav Fliegel, CSc.

Studijní program: P2302 – Stroje a zařízení

Studijní obor: 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení.

a. Zhodnocení významu disertační práce pro obor:

Disertační práce Ing. Petra Kulhavého je věnována tématu zpracování předimpregnovaných vláken a jejich využití pro ovíjené konstrukce, jejich navrhování, tvorbě a problematice vyvstávající z použití tohoto materiálu. Z pohledu nejen strojních konstrukcí se jedná o téma velmi důležité. Stavební nosné konstrukce jsou mnohdy limitovány vysokou hmotností, a tím nepoužitelností standardních stavebních materiálů. V použití lehkých, vysoce únosných materiálů shledávám otevřené obzory pro navrhování konstrukcí. Problematika ovíjených konstrukcí z předimpregnovaných vláken k tomu může velmi výrazně přispět, a proto shledávám zvolené téma disertanta velmi přínosným, a to nejen v oblasti strojírenské, ale pro oblast nosných stavebních konstrukcí.

b. Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle:

Ing. Kulhavý velice pěkně a mistrně pojal obsah své disertační práce. Velmi pěkně je provedeno vysvětlení celé myšlenky použití předimpregnovaných vláken a její rozvedení od prvotní úvahy o tom, čeho by chtělo být dosaženo, a následně toho jakým způsobem k realizaci úkolu disertant přistoupí. Zpracování tematiky hodnotím pohledem velice promyšlené, logické a přehledné práce.

c. Stanovisko k výsledkům disertační práce a významu původního konkrétního přínosu autora disertační práce:

Ing. Kulhavý prezentací jednotlivých kapitol přehledně dospěl až k závěrečné části disertační práce. Výsledek odpovídá zadanému úkolu a z mého pohledu byl cíl práce jednoznačně splněn. Výsledek je použitelný jak z hlediska studijního, tak z pohledu zdroje informací, které mohou lidé v oboru působící využít. Je třeba neshledávat pouze výsledek v závěrečné části práce, ale též v jednotlivých kapitolách, jejich vzájemné provázanosti a komplexnosti. Práce je jednoznačně uceleným dílem.

- d. Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce:

Práce je koncipován velice systematicky, což jednoznačně deklaruje vývojový diagram úvahy o realizaci práce, který se nachází na straně 15. Dle něj jsou členěny kapitoly práce, které jsou dále děleny do podkapitol.

Formálně je práce na dobré úrovni. Mírně nepříjemným faktem je odkazování se na obrázky, které se ve většině případů nachází na následující straně vůči textu k němu obsaženému. Pravděpodobně, toto nebyl záměr disertanta, a došlo k tomu určitou změnou formátování na počátku textu? Osobně bych přivítal striktní počátek jednotlivých kapitol na nových listech. Tím, že kapitoly bezprostředně navazují na předchozí dochází k určitému zhutnění textu, který mírně znepřehledňuje celou práci. Nicméně, jde o subjektivní pohled na pojetí práce, který nemusí korespondovat s pohledem jiným.

Práce obsahuje bohužel dosti překlepů a jazykově nesprávných vyjádření. Pravopisné chyby se v práci vyskytují, ale není jich mnoho.

Celkově je možno konstatovat, že práce je pojednána systematicky, pěkně upravena, ale v silách disertanta jistě bylo odstranit překlapy například překontrolováním textu.

- e. Vyjádření k publikacím studenta:

Ing. Kulhavý na straně 153 a 154 prezentuje publikační činnost za dobu studia. Uvedené je rozděleno na publikace v časopisech, odborné literatuře a konferenčních publikacích. Z prezentovaného vyplývá, že autor se v problematice řešené v disertační práci dobře orientuje a v oboru je publikačně aktivní.

- f. Přípomínky, dotazy k disertační práci:

V disertační práci z mého pohledu vyvstaly některé otázky, k nimž by bylo vhodné se při obhajobě disertační práce vyjádřit.

1. Na straně 49 uvádíte pojem layerwise theory. Jaký byste navrhoval český ekvivalent?
2. Str. 50. Nemělo by označení úhlu v rovnici 3.49 být Φ namísto α ?
3. Str. 111. Čím si vysvětlujete velké rozdíly vlastních frekvencí experimentálně zjištěných a modelem vypočtených?
4. Str. 119. Lze snadno a spolehlivě předikovat místa porušení, a tím koncentrovat ověřený materiál do potřebných míst?
5. Str. 132. Proč nebylo použito zatěžování konstrukce ve směru osy x naproti ose y (viz obrázky 145 a 146)? Zatížení ve směru osy x koresponduje s reálným směrem zatěžování.
6. Proč není provedeno porovnání výsledků experimentů ocelového a kompozitního rámu (strana 134)? V této části práce postrádám konkrétní výsledky, vzájemné porovnání chybí. Výsledky jsou zmíněny až na straně 136.

7. Str. 135. Myslíte si, že porovnání nemá význam? Proč se domníváte, že porovnáváte jablka s hruškami? Není právě cílem toho, čeho chcete dosáhnout, návrh materiálu nebo konstrukce s porovnatelnými nebo lepšími vlastnostmi než u původně použitého materiálu?

g. Jednoznačné vyjádření oponenta, doporučení – nedoporučení disertační práce k obhajobě:

Doporučuji po úspěšné obhajobě disertační práce „Konstrukce prototypových kompozitních rámtů z předimpregnovaných vláken“ udělení Ing. Petru Kulhavému titulu Ph.D. (doktor).

10. května 2019 Praha


Doc. Ing. Pavel Padevřt, Ph.D.

Katedra mechaniky

Fakulta stavební

ČVUT v Praze

Thákurova 7

166 29, Praha 6