

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Nikoly Schmidové

Electrical Resistance Measurement for Structural Health Monitoring of Composite Materials

Oponent: *Ing. Bohuslav Cabrnach, Ph.D.*

Předkládaná práce o rozsahu 118 stran je rozdělena do pěti hlavních částí. Cílem práce bylo navrhnout a ověřit použití snímačů ve formě pramenců z uhlíkových vláken k monitorování poškození konstrukcí z kompozitních materiálů metodou měření změn jejich elektrického odporu. Práce je zpracována přehledně, s logicky uspořádanými kroky řešení daného tématu.

Aktuálnost tématu práce

Disertační práce se věnuje aktuálnímu tématu, a sice monitorování poškození kompozitních konstrukcí. Téma práce je aktuální především z hlediska rozšiřování a prohlubování znalostí o možnostech monitorování provozních poškození nosných kompozitních konstrukcí. Nové metody detekce poškození a studium jejich použitelnosti přispívají ke zvýšení efektivity a bezpečnosti provozu kompozitních konstrukcí v reálném prostředí.

Vhodnost použitých metod řešení a způsobu jejich aplikace

K řešení problematice autorka přistoupila systematicky a komplexně. Při rešerši současného stavu řešené problematiky se soustředila na známé metody sledování stavu konstrukce (SHM - structural health monitoring) s důrazem na metody využívající snímače měnící své elektrické parametry při mechanickém namáhání nebo poškození. Autorka se soustředila na získání teoretických i praktických poznatků při aplikacích snímačů ve formě pramenců uhlíkových vláken a změnu jejich elektrického odporu v závislosti na typu vlákna, způsobu měření elektrického odporu, poměrné deformace a vnějšího prostředí. Rešerše je poměrně rozsáhlá a detailně se věnuje všem výše uvedeným aspektům. Autorka z nich vyvozuje racionální závěry přímo použitelné ve vlastní práci i praktických aplikacích.

V práci se autorka nejprve věnovala problematice detekce poškození sklolaminátové kompozitní konstrukce nízkorychlostním rázem pomocí senzorů z uhlíkových vláken. Bylo zde zkoumáno použití několika typů uhlíkových vláken a jejich odezva ve formě změny elektrického odporu na mechanické namáhání, poškození a teplotu prostředí. Rázové poškození bylo kvantifikováno měřením elektrického odporu snímačů z uhlíkových vláken před a po zatížení. Autorka pečlivě kvantifikovala vliv všech uvedených konstrukčních a provozních parametrů na citlivost metody. Co mi zde chybí je hlubší zamyšlení nad použitím konkrétního typu uhlíkového vlákna ve snímači, v návaznosti na typu vyztužných vláken konstrukce a jejím provozním namáhání. Například v případě, že v konstrukci vyztužené skleněnými nebo HS uhlíkovými vlákny s tažností kolem 2% jsou ve snímači použity UHM uhlíková vlákna s tažností (0,3 až 0,6)% může k jejich porušení dojít při provozním namáhání konstrukce. Naproti tomu UHM vlákna ve snímači se díky své větší citlivosti na rázy jeví jako vhodná volba pro indikaci BVID poškození. Navazující kapitola se věnuje výzkumu detekce delaminace kompozitní konstrukce s polymerní maticí vyztužené uhlíkovými vlákny pomocí změny elektrického odporu senzorů z uhlíkových vláken. Problematika je zde opět detailně zkoumána od způsobu měření elektrického odporu polymerních kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny, k predikci velikosti delaminace pomocí metody konečných prvků i s uvažováním vlivu teploty a polohy elektrických kontaktů na detekci delaminace. V závěrečné části práce bylo provedeno úspěšné experimentální ověření aplikovatelnosti získaných poznatků na reálných dílech vyráběných technologií přesného navíjení. Při výrobě dílů byla implementována nová metoda výroby elektrických kontaktů na vnitřním povrchu kompozitního profilu.

Cíle práce a jejich naplnění

Cíle práce jsou jasně a realisticky formulovány ve třetí kapitole práce. Dílčí cíle disertační práce byly následující:

- 1) *Vývoj metody detekce rázového poškození kompozitní konstrukce pomocí senzorů z uhlíkových vláken*

Dílčí cíl splněn v kapitole 4.

- 2) *Vývoj metodiky detekce delaminace kompozitní konstrukce s polymerní maticí vyztužené uhlíkovými vlákny pomocí měření elektrického odporu.*

Dílčí cíl splněn v kapitole 5.

- 3) *Experimentální verifikace vyvinutých metod na reálných dílech.*

Dílčí cíl splněn v kapitole 6.

Jak vyplývá z výše uvedeného hodnocení, všechny stanovené cíle disertační práce byly splněny a významné části byly publikovány.

Teoretický a praktický přínos práce

Teoretický přínos práce vidím v rozšíření znalostí o vlastnostech snímačů z uhlíkových vláken v závislosti na způsobu měření elektrického odporu, mechanickém namáhání, poškození a teplotě prostředí. Praktický přínos práce je zřejmý z úspěšné aplikace vyvinutých snímačů v reálných dílech vyráběných technologií přesného navíjení, kdy bylo nutné vyřešit kromě integrace vlastních snímačů i způsob jejich elektrického připojení k měřicímu zařízení.

Připomínky a dotazy

Disertační práce má dobrou formální úroveň. Práce je zpracována přehledně, s přiměřenou grafickou úpravou. Téma práce bylo zpracováno systematicky a komplexně a narazil jsem zde pouze na dvě nepřesnosti. Správný název polymeru PPS je „Polyphenylene sulfide“ a nikoliv „Polypropylene sulphide“, jak je uvedeno v práci. Dále je zde hlediska zavedeného názvosloví nesprávně označována výztuž vzorků a dílů v podobě dlouhých vláken, správně se tato vlákna označují jako kontinuální nebo nekonečná. Dlouhá vlákna jsou například používána v rohožích.

K práci bych měl následující dotaz:

1. *Zkoumala autorka i vliv vlhkosti (difundované do matrice) na změnu elektrického odporu snímačů?*

Závěrečné hodnocení

Práce má velmi dobrou teoretickou úroveň a praktický význam, prokazuje přehled autorky v daném oboru a její schopnost samostatné vědecké práce.

Na základě výše uvedeného **doporučuji** práci k obhajobě.

V Praze dne 1.3. 2024.

Ing. Bohuslav Cabrnach, Ph.D.
Výzkumný a zkušební letecký ústav, a.s.