

Oponent: doc. Ing. Alena Brusilová, PhD.

Pracovisko: Ústav technológií a materiálov, Strojnícka fakulta STU v Bratislave,
Námestie Slobody 17, 831 02 Bratislava

Tel.: +421 2 57296 178

Email: alena.brusilova@stuba.sk

OPONENTSKÝ POSUDOK NA HABILITAČNÚ PRÁCU

Uchádzač: Ing. Eva Popardovská, PhD.

Pracovisko: Katedra strojárstva, Akadémia ozbrojených síl M. R. Štefánika, Demänová
393, 031 01 Liptovský Mikuláš

Názov habilitačnej práce: NIR spektrometria interakcie epoxidovej živice s vodou, jej vplyv na mechanické vlastnosti výsledného sklolaminátu a defektoskopia sklolaminátov metódou aktívnej IR termografie.

Odbor HK a IK: Výzbroj a technika ozbrojených síl

HODNOTENIE

A) Aktuálnosť témy habilitačnej práce

Predložená habilitačná práca sa zaoberá problematikou využitia polymérnych kompozitov v oblasti vojenského priemyslu. Predmetom riešenia je kompozitný materiál s polymérnou maticou vystuženou sklenenou tkaninou. Tento materiál sa javí ako vhodný pre použitie prídavného maskovania vojenských vozidiel vo viditeľnej oblasti spektra. Jedným z problémov kompozitov s epoxidovou živicom je pomerne veľká schopnosť epoxidovej živice pohlcovať vzdušnú vlhkosť, čo má v konečnom dôsledku negatívny dopad na pevnostné vlastnosti kompozitu. Z tohto dôvodu bola práca zameraná na stanovenie negatívneho vplyvu vody absorbovanej v epoxidovej živici na mechanické vlastnosti sklolaminátu. Ďalším zámerom bolo určenie vhodného spôsobu detekcie defektov vo vnútorných vrstvách laminátu, ktoré majú významný vplyv na spoľahlivosť a životnosť výsledného produktu. Nakoľko klasické spôsoby zvyšovania pevnosti kovových materiálov sú už z veľkej miery vyčerpané, resp. veľmi nákladné, rozvoj nových konštrukčných materiálov sa javí ako veľmi naliehavý. Polymérne kompozitné materiály sa radia medzi významné inžinierske materiály, ktoré v určitých prípadoch môžu nahradiť kovové materiály za priaznivú cenu. Okrem iného, sú vhodné aj pre aplikácie, kde sa vyžaduje nízka hmotnosť a dlhá životnosť. Z tohto pohľadu považujem tému habilitačnej práce za vysokoaktuálnu.

B) Splnenie cieľa habilitačnej práce

Téma habilitačnej práce spadá svojim obsahom do vedného odboru *Výzbroj a technika ozbrojených síl*. Predložená práca nie je opakovaním dizertačnej práce, o čom svedčí aj protokol o kontrole originality. Ciele, ktoré si habilitantka v práci stanovila, boli v rámci prístrojovej vybavenosti pracoviska kde habilitantka pôsobí, splnené. Za pozitívny výsledok možno označiť vytvorenie systému hodnotenia kvality epoxidovej živice (z hľadiska obsahu vody), ktorá je často používaná pri výrobe sklolaminátov. V časti *Mechanické skúšky* mohli byť skúšobné vzorky po pretrhnutí vyhodnotené aj pomocou svetelnej mikroskopie, kde by zobrazenie lomovej plochy pomohlo bližšie definovať vplyv množstva vody na priebeh porušenia v jednotlivých vrstvách sklolaminátu. Za ďalší pozitívny výsledok možno považovať metodiku určovania hĺbky defektu s využitím neurónovej siete.

C) Metódy spracovania habilitačnej práce

Habilitačná práca je vhodne štruktúrovaná, autorka zvolila správnu metodiku spracovania. V teoretickej časti sú správne zaradené informácie o zložení a mechanických vlastnostiach kompozitných materiálov. Vzhľadom na tému práce mohla byť kapitola 1 doplnená aspoň o

základné informácie o výrobných technológiách kompozitných materiálov, ktoré sa oproti konvenčným materiálom vyznačujú veľkým rozptylom spôsobov spracovania. V podkapitole 1.1 sú uvedené len všeobecné informácie o matriciach používaných pri výrobe kompozitných materiálov. Predmetom výskumu bol vláknový kompozit s polymérou matricou. Z tohto dôvodu mohla táto podkapitola obsahovať viac informácií o tomto type kompozitov, ktoré sú najrozšírenejšou skupinou kompozitných materiálov v konštrukciách. Autorka vhodne zaradila kapitolu 3, ktorá sa zaoberá mechanizmami poškodenia vláknových kompozitov. Na to správne nadväzuje ďalšia kapitola zameraná na spôsoby detekcie porúch v kompozitných materiáloch a ďalšie metódy, ktoré autorka použila v experimentálnej časti. Zvlášť oceňujem prezentáciu využiteľnosti neurónovej siete pri detekovaní hĺbky defektov v sklolamináte. Interpretácia výsledkov v plnej miere reprezentuje vedecko – odbornú spôsobilosť habilitantky.

D) Úroveň dosiahnutých výsledkov habilitačnej práce a nové poznatky

Výsledky prezentované v práci prinášajú nové poznatky v oblasti polymérnych kompozitov s epoxidovou živicom. Získané výsledky budú využité aj v rámci riešenia projektu, ktorého je habilitantka zodpovednou riešiteľkou. Podstatná časť výskumu je venovaná jednej z problémových oblastí polymérnych kompozitov s epoxidovou živicom, a tou je veľká schopnosť živice pohlcovať vzdušnú vlhkosť. Cenným výsledkom je zostrojenie kalibračnej priamky, pomocou ktorej možno kvantifikovať množstvo vody v epoxidovej živici LH 287, ktorá je často využívaná pri výrobe sklolaminátov. V ďalšej časti bola pozornosť sústredená na určenie vplyvu vody v živici na mechanické vlastnosti sklolaminátu. Výsledky získané zo statickej skúšky v ťahu boli porovnávané s výsledkami simulácií, ktoré boli realizované v prostredí Solidworks 2021. Výsledky potvrdili nepriaznivý vplyv obsahu vody v živici na pevnosť sklolaminátu. V záverečnej časti habilitantka prezentovala výsledky z oblasti detekcie defektov, ktoré boli umelo vkladané medzi jednotlivé vrstvy sklolaminátu. Na detekciu autorka použila metódu Lock – in termografie, kde prostredníctvom prieniku tepelnej vlny bolo možné určiť hĺbku defektov v lamináte. Za pozitívny výsledok možno označiť použitie neurónovej siete, ktorá má oveľa lepšie predikčné predpoklady pri odhade hĺbky defektov, najmä ak hrúbka laminátu je väčšia ako 2 mm. Záverom konštatujem, že publikačné výstupy habilitantky sú na veľmi dobrej úrovni, o čom svedčia aj ohlasy domácej a zahraničnej vedeckej komunity na prácu a činnosť uchádzačky.

E) Prínos pre ďalší rozvoj vedy a techniky

Výsledky habilitačnej práce sú prínosom pre ďalší rozvoj vedného odboru *Výzbroj a technika ozbrojených síl*, predovšetkým v oblasti skúmania vlastností a degradácie kompozitných materiálov s polymérou matricou.

F) Pripomienky a poznámky k habilitačnej práci

- Na niektorých fotografiách chýba mierka (obr. 6.1, 6.4, 6.11, 6.12).
- s. 23: Spevňujúcou zložkou v železobetóne nie je železo, ale oceľové prúty.
- V teoretickej časti práce chýbajú pri uvádzaní vzťahov jednotky definovaných parametrov.
- Namiesto termínu „sklokompozit“ odporúčam použiť termín „sklolaminát“.
- s.76 /obr. 5.8: Nie sú identifikované aké merania predstavujú červené a zelené body v grafe.
- s.86 – 89: Výpočty sú neprehľadné. Vo vzorcoch 6.1 a 6.7 predstavuje symbol V_f iný parameter. Vo vzorci 6.1 je objemový podiel vláken označený ako V_f a vo vzorci 6.9 ako v_f . Vo vzorcoch 6.7 a 6.8 nie sú definované parametre a , b , h .
- s. 139 /časť Defekty: Namiesto termínu „teleso“ by som odporúčala použiť termín „častica“.

G) Otázky uchádzačovi k riešenej problematike

- Vo svojej práci sa venujete aj mechanickým skúškam kompozitných materiálov. Mohli by ste stručne charakterizovať zásadný rozdiel v mechanizme šírenia trhliny vo vláknových kompozitoch s polymérou matricou a kovových materiáloch?
- Akou technológiou boli vyrobené vzorky pre experimenty?

- Aký typ skleneného vlákna predstavuje vlákno vyrobené z R-skla a ECR-skla? Aké sú ich vlastnosti a možnosti aplikácie?
- Akú úlohu plnia prísady sóda a vápenec v sklenom vlákne? V akom množstve, resp. pomere sa používajú?
- Máte nejakú skúsenosť s použitím wolastonitu ako plniva v polymérnych zmesiach?
- V práci uvádzate, že nežiadúce bubliny, ktoré vznikajú pri výrobe kompozitu sú započítané do celkového objemu vlákien v kompozite. Nemá takto určený podiel vystužujúcich vlákien vplyv na výpočet hodnoty mechanických vlastností kompozitu?
- Charakteristickým znakom kompozitov s plošne orientovanými vláknami je anizotropia vlastností. Môžete uviesť aký bol rozdiel v pevnosti v ťahu v jednotlivých rovinách (x, y) a v smere kolmom na os vlákien (z)?
- V dôsledku prítomnosti SiO_2 a Al_2O_3 sa na povrchu sklenených vlákien viaže vlhkosť, ktorá môže spôsobiť prudký pokles mechanických vlastností až o 50%. Akým spôsobom možno zabrániť adsorpcii vlhkosti na povrchu vlákna?
- Čo predstavujú parametre a , b , h vo vzorcoch 6.7 a 6.8? Ich význam je evidentne odlišný.
- Akým spôsobom boli vytvorené umelé defekty v jednotlivých vrstvách sklolaminátu? Nebolo možné defekty detekovať aj v reálnom materiáli (bez umelého vytvárania)?
- S akou presnosťou možno pomocou Lock-in termografie detekovať hĺbku defektov v kompozite?
- S akou presnosťou možno očakávať výsledky detekcie hĺbky defektu s použitím neurónovej siete, ak hrúbka laminátu je väčšia ako 2 mm?

CELKOVÉ ZHODNOTENIE HABILITAČNEJ PRÁCE A ZÁVER

Habilitačná práca zodpovedá požiadavkám kladeným na habilitačné práce a spĺňa podmienky kladené na úroveň habilitačnej práce.

Na základe uvedeného hodnotenia

odporúčam

habilitačnú prácu k obhajobe a aby bol po úspešnej obhajobe uchádzačke Ing. Eve Popardovskej, PhD. udelený vedecko-akademický titul „**docent**“ v odbore Výzbroj a technika ozbrojených síl.

V Bratislave 24. 07. 2023

doc. Ing. Alena Brusilová, PhD.
oponent