

Oponentský posudok dizertačnej práce

Autor: Ing. Vlastimil Chalupa

na tému

„3D tisk sendvičových štruktúr metódou FFF s ohľadom na kombináciu vhodných materiálov“

Program: Procesní inženýrství

Studijní obor: Nástroje a procesy

Školitel: prof. Ing. Michal Staněk, Ph.D.

Dizertačná práca sa zaoberá štúdiom možností multimateriálovej 3D tlače na cenovo dostupných 3D tlačiarňach. Pre štúdium boli vybrané kombinácie tvrdých a flexibilných polymérnych materiálov vo forme sendvičových štruktúr, pričom sa sledoval vplyv procesných parametrov na kvalitu spojenia oboch materiálov v kontaktnej vrstve a mechanické vlastnosti pripravených sendvičových štruktúr.

Dizertačná práca je členená na relatívne stručný súčasný stav riešenej problematiky, ciele dizertačnej práce, pomerne obsiahlu teoretickú časť, experimentálnu časť obsahujúcu informáciu o výbere testovaných materiálov, návrhu a výrobe vzoriek a metodike vyhodnotenia získaných údajov. Zvolené metódy hodnotenia charakteristík jednotlivými skúškami sú netradične spojené priamo s uvedením získaných výsledkov, ktoré sú následne stručne diskutované v samostatnej kapitole. Dizertačná práca obsahuje tiež zhrnutie prínosov pre vedu a prax a záver.

V súčasnom stave je uvedený stručný výber prác zaoberajúcich sa problematikou 3D tlače sendvičových štruktúr z rigidných a flexibilných polymérnych materiálov. Súčasný stav riešenej problematiky obsahuje 18 citovaných literárnych zdrojov čo svedčí o skutočnosti, že sa jedná o novú problematiku doposiaľ relatívne málo publikovanú. Číslovanie literatúry je ale dosť neprehľadné a zle sa čitateľovi orientuje v zozname literatúry /po čísle 1 je následne citovaný zdroj číslo 30, 31, 54 a podobne je to aj u ďalších citovaných zdrojov/.

Teoretická časť práce podáva prehľad metód 3D tlače vrátane materiálov najčastejšie používaných pre FDM metódu. K tejto časti mám niekoľko drobných pripomienok - na s. 22 sa vyskytuje nesprávne označenie CPE pre materiál, ktorý by podľa popisu mal byť kopolyesterom. Označenie CPE totiž predstavuje chlórovaný polyetylén. Súčasne sa medzi flexibilnými materiálmi uvádza TPE ako termoplastický elastomér. Toto označenie je ale všeobecné pre veľkú skupinu materiálov, ktorú termoplastické elastoméry predstavujú a nie konkrétny typ materiálu. Kapitola ako celok je napísaná prehľadne a zrozumiteľne a považujem ju za dobrý podklad k experimentálnemu riešeniu dizertačnej práce.

Ciele dizertačnej práce sú netradične zaradené už pred teoretický rámec práce a sú formulované podrobne a v dostatočnom rozsahu. Jeden z cieľov je aj otestovanie vzájomnej kompatibility vybraných materiálov pre tlač sendvičových štruktúr. Z uvedených výsledkov však nie je celkom jasné akými skúškami sa kompatibilita testovala a bolo by vhodné, aby doktorand objasnil v rámci obhajoby, ktoré výsledky, resp. hodnotené parametre považuje za rozhodujúce pre splnenie tohto cieľa. Na základe uvedených výsledkov konštatujem, že ostatné ciele dizertačnej práce boli splnené.

V experimentálnej časti chýba bližšia charakterizácia použitých polymérov vo forme materiálových listov. Informácie na web stránke o jednotlivých typoch materiálov totiž nie sú úplné hlavne z pohľadu zloženia viacerých typov kopolymérov použitých na výrobu filamentov. Poznanie chemického zloženia materiálov je totiž veľmi dôležité z hľadiska ich kompatibility na fázovom rozhraní. V závere časti 5.2 je uvedená tabuľka, ktorá vyjadruje „kompatibilitu“ materiálov určenú na základe delaminácie vrstiev pri 3D tlači skúšobných teliesok v tvare obojstrannej lopatky. Tá by asi patrila skôr do výsledkovej časti, pretože je to jediný výsledok týkajúci sa splnenia už predtým spomínaného cieľa. Akými skúškami bola hodnotená kompatibilita materiálov?

Vo výsledkovej časti práci sú uvádzané grafické porovnania výsledkov všetkých testovaných vlastností, ktoré boli štatistiky vyhodnotené. Žiaľ vo viacerých prípadoch je v texte mylne uvedené nesprávne číslovanie obrázkov /na s. 47 je namiesto č. 48 uvedené obr. 40 a od obr. 54 až po obr. 84 je posunuté číslovanie obrázkov o jedno číslo dozadu a texty popisujúce výsledky nezodpovedajú príslušným obrázkom/, čo je síce formálna chyba, ale nesvedčí o dôslednosti autora pri zostavovaní textu dizertačnej práce.

K výsledkom mám niekoľko otázok, ktoré by mal autor zodpovedať počas obhajoby dizertačnej práce:

- Z výsledkov všetkých parametrov hodnotených v rámci ťahovej skúšky je zrejmé, že rozhodujúci vplyv zohráva flexibilná vrstva. Má autor zmerané príslušné vlastnosti aj pre 3D tlačené skúšobné telieska iba z flexibilných materiálov?
- Na základe výsledkov porovnajte aký je rozdiel v ťahových krivkách medzi sendvičovou štruktúrou z amorfných a semikryštalických rigidných polymérov s rovnakým typom flexibilného materiálu?
- Ako je možné vysvetliť, že u PP sendvičov sa dosiahli vyššie hodnoty rázovej húževnatosti než u PA a PC, ktoré sú typickými húževnatými plastami? Akú úlohu v tom môžu zohrávať procesné parametre počas 3D tlače?

- V prípade ťahovej skúšky kolmo na vrstvy sendviča predpokladám, že dochádzalo len k deformácii flexibilnej časti a nie rigidnej časti, hlavne pri hodnotení sily potrebnej na predĺženie o 0,2%. Z výsledkov uvádzaných v tejto časti nie je vždy zrejmé, či došlo k porušeniu skúšobných teliesok na rozhraní oboch materiálov alebo vo flexibilnej časti sendviča. Výsledky teda môžu, ale aj nemusia vyjadrovať priľnavosť, resp. pevnosť väzby na rozhraní medzi materiálmi. Prosím o objasnenie v rámci diskusie pre všetky použité kombinácie.

- Ako je možné vysvetliť, že pri ťahovej skúške sa u čistého PC namerala hodnota 1350 N potrebná na predĺženie o 0,2% a pri skúške ťahom kolmo na vrstvy sa namerala sila rovná 0 ? Nie je problém v podmienkach v 3D tlači pri rôznej geometrii skúšobných teliesok ?

Napriek uvedeným pripomienkam a otázkam konštatujem, že predloženou dizertačnou prácou Ing. Vlastimil Chalupa preukázal schopnosť samostatnej vedeckej práce. Oceňujem hlavne zostavenie „expertného systému“ uvedeného v prílohe 1, ktorý môže mať pre praktickú aplikáciu sendvičových štruktúr pripravených 3D tlačou veľký význam. Súčasne je veľmi užitočné aj konštatovanie, že pri 3D tlači metódou FFF je dôležitá konštrukcia sendviča a orientácia na tlačovej podložke.

Záver:

Na základe posúdenia obsahovej a formálnej stránky dizertačnej práce **odporúčam** dizertačnú prácu Ing. Vlastimila Chalupy k obhajobe a po úspešnej obhajobe aj udelenie titulu Ph.D.

V Bratislave dňa 9.8.2023

prof. Ing. Ivan Hudec, PhD.

Ústav prírodných a syntetických polymérov FCHPT STU v Bratislave