

doc. Ing. Ondrej Líška, CSc.
Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta,
Ústav automatizácie, mechatroniky a robotiky
Katedra automatizácie, riadenia a komunikačných rozhraní

OPONENTSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

Názov práce: NÁVRH A MODELOVÁNÍ EKOLOGICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DESEK
PLOŠNÝCH SPOJŮ
Autor: Ing. JIŘÍ KŘENEK
Študijný program: Inženýrská informatika P3902
Školiteľ: Prof. Ing. Dagmar JANÁČOVÁ, CSc.
Adresa riešiteľského pracoviska: Ústav automatizace a řídicí techniky
Fakulta aplikované informatiky
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Aktuálnosť témy a ciele dizertačnej práce:

Všeobecne sú známe problémy s hromadením sa elektronického odpadu. Je preto vysoko aktuálna úloha (z vedeckej aj praktickej stránky) riešiť ekologického spracovania takéhoto odpadu.

Súčasný stav doktorand uviedol charakteristikou legislatívnych prístupov. Stručný popis princípov recyklácie so zameraním na elektronický odpad a stručná analýza z pohľadu ekologických metód orientuje doktoranda na ekologickú separáciu medených vodivých ciest z dosiek plošných spojov. Na základe takéto zdôvodnenia orientuje riešenie na nechemickú separáciu na základe teplotného namáhania.

Za cieľ práce si stanovil úlohu namodelovať, vykonať simulácie navrhnutých postupov a tieto overiť v laboratórnych podmienkach. Pri riešení mohol využiť poznatky získané z riešenia takýchto úloh na školiacom pracovisku.

Zo všeobecne známych problémov a popisu v predloženej práci je zjavná vysoká aktuálnosť témy. Rovnako sa možno stotožniť aj s cieľom riešenia dizertačnej práce.

Postup riešenia problému a použité metódy spracovania dizertačnej práce:

Predpokladané fyzikálne javy vyžadovali materiálový rozbor predmetu separácie (DPS) a definovanie základných fyzikálnych zákonitostí, ktoré boli vykonané v teoretickej časti práce. Zo stanovenej koncepcie riešenia recyklácie dosiek plošných spojov vyplynula potreba riešiť viacero multifyzikálnych úloh. Na vykonávanie simulačných experimentov využil dizertant SW Pro/ENGINEER a Comsol Multiphysics. Logickým vyústením malo byť experimentálne overenie navrhnutých matematických modelov a vykonaných simulácií v laboratórnych podmienkach. Popis technologického postupu pre laboratórne skúšky a vyčíslenie nákladov je doplnkom, ktorý umožňuje čitateľovi základnú orientáciu.

Postupy pri riešení stanoveného problému je považujem za správne a smerujúce k úspešnému vyriešeniu stanoveného cieľa.

Dosiahnuté výsledky a prínosy z riešenia dizertačnej práce:

Za zaujímavý a prínosný výstup, ktorý je možné ďalej rozvíjať (i pre iné oblasti), je riešenie simulácie fyzikálnych procesov v SW Pro/ENGINEER a Comsol Multiphysics.

Záver z vykonaných simulácií (zhrnuté v 7. kapitole) poskytujú praktické podklady pre vykonanie laboratórnych experimentov. Pravdepodobne by ich bolo možné spresniť a vyjadriť exaktnejšie.

Logickým vyústením bolo experimentálne overenie navrhnutých matematických modelov a vykonaných simulácií v laboratórnych podmienkach. Túto úlohu možno považovať za prínos pre ďalšie rozpracovanie technologických postupov separácie DPS.

Celkovo je možné konštatovať, že ciele, ktoré boli pre dizertačnú prácu Ing. Jiřího Křeneka stanovené, boli splnené. Práca prináša viacero zaujímavých výsledkov s možnosťou ich teoretického rozpracovania a aj využitia v praxi.

Formálna úroveň práce:

Práca je po formálnej stránke na primeranej úrovni. Vyskytlo sa v nej niekoľko formálnych chýb a preklepov, ktoré nijako neznižujú vysokú odbornú i formálnu kvalitu dizertačnej práce.

Otázky do diskusie:

- Problémom pri separácii vodivých ciest je vplyv ochrannej vrstvy laku. Aký je rozhodujúci dôvod, že nevzniká požadované šmykové napätie pri tepelnom šoku?
- Na str. 76 je uvedené, že optimálny počet cyklov ohrevu a schladenia je 10. Zároveň je napísané, že u niektorých DPS tento počet nestačil. U ktorých DPS nestačilo 10 cyklických namáhání?

Záver – odporúčanie:

Na základe celkového posúdenia dizertačnej práce konštatujem, že dizertant splnil ciele stanovené v dizertačnej práci. Práca je spracovaná na veľmi dobrej úrovni, tak po obsahovej ako aj formálnej stránke.

Odporúčam predloženú dizertačnú prácu prijať a po úspešnej obhajobe

ING. JIŘÍMU KŘENEKOVÍ

**udelit' akademický titul - philosophiae doctor
v študijnom odbore Automatické řízení a informatika 3902V037.**

V Košiciach, 20.10.2017


doc. Ing. Ondrej Líška, CSc.
oponent

OPONENTSKÝ POSUDOK

DIZERTAČNEJ PRÁCE

Názov práce:	NÁVRH A MODELOVÁNÍ EKOLOGICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ
Autor:	ING. JIŘÍ KŘENEK
Študijný program:	INŽENÝRSKA INFORMATIKA P3902
Školiteľ:	PROF. ING. DAGMAR JANÁČOVÁ, CS.
Adresa riešiteľského pracoviska:	ÚSTAV AUTOMATIZACE A ŘÍDICÍ TECHNIKY, FAKULTA APLIKOVANÉ INFORMATIKY UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ

1. AKTUÁLNOSŤ ZVOLENEJ TÉMY

Dizertačná práca, jej téma, návrhy, riešenia a výsledky sú vysoko aktuálne, vzhľadom na to, že sa zaoberá globálnou témou súvisiacou s ekológiou a čistotou environmentu. Recykláciu elektroodpadu je možné realizovať rôznymi spôsobmi, ba aj takými, ktoré sú pre životné prostredie nebezpečné, predovšetkým na báze chemických metód (lúhovanie v kyanide).

Preto považujem za veľmi aktuálne hľadať nové ekologické postupy separácie dosiek plošných spojov a tak zabrániť ekologickému znečisťovaniu nielen pôdy ale aj podzemnej vody.

Pre návrh a modelovanie ekologického spracovania dosiek plošných spojov (DPS) dizertant konkretizoval a navrhol riešenie na báze využívania vhodných softwarových riešení na pre 3D modelovanie a simulácie fyzikálnych procesov. Dizertačná práca spadá medzi základný výskum súčasných možností realizácie riešeného návrhu recyklácie DPS.

Z tohto pohľadu je téma dizertačnej práce bezpochyby vysoko aktuálna.

2. CIEĽ DIZERTAČNEJ PRÁCE

Návrh a modelovanie ekologického spracovania DPS je nosným cieľom dizertačnej práce. Pre nový postup ekologickej separácie DPS bolo potrebné splniť nasledovné ciele dizertačnej práce:

1. štúdium problémov spojených s návrhom koncepcie riešenia recyklácie DPS,

2. správny výber matematického modelu separácie kovov a plastov,
3. realizácia experimentálnej verifikácie navrhnutých modelov v laboratóriách,
4. návrh správnych podmienok separácie,
5. ekonomické zhodnotenie navrhutej metódy separácie a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov.

V súvislosti s uvedenými cieľmi má dizertant dostatočne opísané výstupy a prínosy v príslušných kapitolách.

Vzhľadom na uvedené a závery dizertačnej práce, ktoré uvádza dizertant konštatujem, že cieľ dizertačnej práce bol úspešne splnený.

3. ZVOLENÉ METÓDY SPRACOVANIA

Dizertant sa zaoberá matematickým modelovaním separácie DPS, kde opísal multifyzikálne úlohy. Matematické modelovanie separácie nezahŕňa len separáciu ako jeden jav, ale niekoľko javov ktoré sa vzájomne ovplyvňujú a ktoré je potrebné zohľadniť, napríklad: dilatácia materiálu, ťah, šmyk a ich kombinácia v materiály DPS, teplotné namáhanie jednotlivých vrstiev DPS a ich matematický opis.

Metódy spracovania sú matematické modelovanie separácie DPS, simulačné experimenty súvisiace s modelovaním šmykového napätia, ohrevu a tepelného cyklického namáhania DPS, lepeného kompozitného komponentu, zhodnotenie vykonaných simulácií a laboratórnymi skúškami. Pred samotným vykonaním simulácií dizertant správne vytvoril 3D modely pre DPS s použitím softvérový balík Pro/ENGINEER v reálnom merítku.

Vhodne navrhnutou metódou dizertant vytvoril nový postup ekologickej separácie DPS, ktorý bol vytvorený na základe vykonaných výpočtov a simulácií z pohľadu životného prostredia.

4. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY A PRÍNOSY DIZERTAČNEJ PRÁCE

Dosiahnuté výsledky súvisia s nasledovnými poznatkami:

1. Povrchom DPS

Dizertant na základe experimentov s odstraňovaním vrstvy ochranného laku z DPS prišiel k záveru, že táto vrstva bráni správnej separácii vodivých ciest z DPS a neodporúča používanie laku pri výrobe DPS.

2. Cyklickým namáhaním

Simulácia cyklického namáhania dokázala, že extrémna zmena teploty má za následok lokálne deformácie v DPS. Zároveň zistil, že nie je potrebná vysoká teplota ohrevu. Simulačné experimenty boli overené v laboratórných podmienkach.

3. Vzďialenosťou vodivých ciest

Simuláciou bolo zistené, že znižovaním vzdialenosti medzi vodivými cestami, sa vodivé cesty vzájomne ohrievajú a tým účinnejšie ohrievajú nosné teleso DPS. Záverom je zistenie, že väčšia vzdialenosť medzi vodivými cestami má pri tepelnom šoku za následok lepší efekt pre oddelenie vodivých ciest z telesa DPS.

4. *Ohrevom DPS elektromagnetickou indukciou*

V súvislosti s ohrevom DPS sú porovnávané výhody a nevýhody takéhoto spôsobu ohrevu, ktorý pôsobí iba na medené vodivé cesty DPS. Opísaný ohrev je iba na úrovni návrhu pre ďalšie riešenie tejto problematiky. Výsledky je možné použiť pre ďalšie riešenie uvedenej problematiky.

Záver dizertačnej práce posúvajú dopredu poznatky o možnostiach ekologickej likvidácie dosiek plošných spojov.

5. **PRIPOMIENKY K DIZERTAČNEJ PRÁCI**

K forme a obsahu dizertačnej práce nemám žiadne pripomienky. Práca je napísaná v českom jazyku na dobrej grafickej úrovni. Štylizácia textu je jasná a zrozumiteľná. Je napísaná na 105 stranách, konzistentná a logicky členená.

6. **OTÁZKY DO DISKUSIE**

1. Prečo ste výpočet teplotných polí a napätosti na DPS vytvoril v softvérovom prostredí Pro/ENGINEER?
2. Je možné využiť výsledky Vašej dizertačnej práce aj pre výučbu na Vašom pracovisku?
3. Prečo uvádzate v cieľoch dizertačnej práce, že pre matematické modelovanie separácie kovov a plastov použijete aj softvér COMSOL Multiphysics, keď v závere uvádzate, že Vaše pracovisko nemá licenciu aj pre indukčný ohrev?

7. **ZÁVER – ODPORÚČANIE**

Na základe celkového posúdenia dizertačnej práce konštatujem, že dizertant splnil ciele stanovené v dizertačnej práci. Práca je spracovaná na veľmi dobrej úrovni, tak po obsahovej ako aj formálnej stránke.

Na základe celkového posúdenia dizertačnej práce,

odporúčam komisii prijať predloženú dizertačnú prácu

a po úspešnej obhajobe

ING. JIŘÍHO KŘENKA

udelit' akademický titul - philosophiae doctor

v študijnom odbore Automatické řízení a informatika 3902V037.

V Trnave, 04.10.2017

Dr. h. c. prof. Ing. Pavol Božek, CSc.

oponent

Prof. Ing. Miluše Vítečková, CSc.
katedra automatizační techniky a řízení
Fakulta strojní VŠB-TU Ostrava
ul. 17. listopadu 15
708 33 Ostrava - Poruba
tel.: 597 324 493
E-mail: miluse.viteckova@vsb.cz

Oponentský posudek

disertační práce

Autor: **Ing. Jiří KŘENEK**

Téma: **Návrh a modelování ekologického zpracování desek plošných spojů**

Oponentský posudek je vypracován na základě dopisu děkana Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně pana doc. Mgr. Milana Adámka, Ph.D. ze dne 20. 9. 2017.

Disertační práce Ing. Jiřího Křenka "Návrh a modelování ekologického zpracování desek plošných spojů" obsahuje 105 stran. V seznamu použité literatury je uvedeno 50 položek a v seznamu publikací autora je 12 titulů, kde u tří publikací je uveden jako první autor.

1. Aktuálnost zvoleného tématu a dosažení stanoveného cíle

Předložená disertační práce se zabývá velmi aktuálním problémem, a to je návrhem ekologického zpracování elektronického odpadu – desek plošných spojů. Jak vyplývá z první kapitoly disertační práce, ve které doktorand popisuje přehled současného stavu, dosud používané technologie zpracování desek plošných spojů nejsou šetrné k životnímu prostředí. Proto zvolené téma disertační práce je vysoce aktuální a důležité s přínosem především pro průmyslovou praxi, ale i pro výzkumné a výukové účely.

Cílem disertační práce bylo vytvoření matematického modelu separace kovu a plastu, jeho experimentální verifikace v laboratorních podmínkách a ekonomické zhodnocení navržené metody separace. Na základě dosažených výsledků lze jednoznačně konstatovat, že stanoveného cíle bylo plně dosaženo.

2. Postup řešení problému a použité metody zpracování disertační práce

Disertační práce sestává z jedenácti kapitol, seznamu použité literatury, seznamu vlastních publikací a životopisu autora. V úvodní části disertační práce doktorand podrobně zpracoval přehled současného stavu řešené problematiky a stanovil cíle disertační práce a jednotlivé dílčí úkoly k jejich dosažení. Teoretickou část disertační práce tvoří kapitoly 3 – 5 a za ní následuje praktická část.

V teoretické části doktorand popsal materiály, které tvoří desky plošných spojů a dále se věnoval separaci vodivých cest pomocí teplotního cyklického namáhání, které je založeno na různé teplotní délkové roztažnosti materiálů. Doktorand uvedl matematický popis teplotního pole při ohřevu a chlazení desky plošných spojů.

V praktické části disertační práce doktorand popisuje své simulační experimenty, které prováděl pomocí programů Pro/ENGINEER pro modelování elektronických součástek a COMSOL Multiphysics® pro řešení simulačních úloh pomocí metody konečných prvků. Po vyhodnocení simulačních experimentů se doktorand věnoval laboratorním zkouškám a návrhu nové technologie zpracování desek plošných spojů. Tuto praktickou část disertační práce doktorand ukončil vyčíslením nákladů na zpracování desek plošných spojů pomocí navržené technologie.

Celkově lze říci, že doktorand pro dosažení stanovených cílů zvolil správné metody a postupy, což dokumentují získané teoretické výsledky, úspěšné simulační experimenty i dosažené praktické výsledky v laboratoři.

3. Výsledky disertační práce a konkrétní přínos doktoranda

Za důležitý výsledek doktoranda lze považovat zpracování nového postupu ekologické separace desek plošných spojů, který byl navržen na základě provedených výpočtů a simulací a ověřen prakticky v laboratoři. Tyto výsledky představují teoretický i praktický přínos v oblasti ekologické zpracování elektronického odpadu.

Lze konstatovat, že v disertační práci stanovené cíle byly v celém rozsahu splněny a že ukazují na vysokou odbornou úroveň školicího pracoviště.

4. Připomínky a dotazy, formální úroveň práce

K disertační práci mám tyto připomínky a dotazy:

- str. 31₂ odkaz na obr 4.9, který není uveden,
- str. 36 je vztah (5.12a) správný [s ohledem na vztahy (5.14) – (5.16)]?
- str. 36₈ má být odkaz na obr. 5.4,
- str. 65 zřejmě má být odkaz na literaturu [36] a [37],
- str. 99 posunutí u by mělo mít rozměr [m], viz např. vztahy na str. 35.

V textu se občas vyskytují překlepy, jako např. epoxydová pryskyřice (viz tab. 8.2 str. 71). V žádném případě uvedené nedostatky nesnižují vysokou odbornou i formální kvalitu disertační práce, která přináší řadu původních výsledků, které určitě najdou úspěšné praktické využití.

Otázka:

1. Jaká je minimální vzdálenost vodivých měděných cest od sebe, aby bylo možné danou metodu použít?

5. Závěrečné hodnocení

Disertační práce Ing. Jiřího Křenka je zpracována na velmi dobré odborné i formální úrovni. Přináší nové poznatky, ukazuje na jeho odborné schopnosti, hlubokou znalost řešené problematiky i na jeho způsobilost k samostatné tvůrčí vědecké činnosti. Disertační práce vyhovuje požadovaným podmínkám, a proto ji **doporučuji k obhajobě**.

V Ostravě 23.10.2017


Prof. Ing. Miluše Vítečková, CSc.