

Oponentní posudek dizertační práce

Uchazeč: Ing. Milan HURBAN

Název dizertační práce: Výzkum a optimalizace proudění tepla v konvenční peci pro pájení přetavením

Oponent: prof. Ing. Alena PIETRIKOVÁ, CSc.

Pracoviště opONENTA: Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach

Oponent se v posudku vyjádří dle Studijního a zkušebního řádu VUT zejména:

- a) k aktuálnosti tématu dizertační práce,*
 - b) zda dizertační práce splnila stanovený cíl,*
 - c) k postupu řešení problému a k výsledkům dizertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda,*
 - d) k významu pro praxi nebo rozvoj oboru,*
 - e) k formální úpravě dizertační práce a její jazykové úrovni,*
 - f) zda dizertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona,*
 - g) zda student prokázal nebo neprokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na dizertační práce v daném oboru. Bez tohoto závěru je posudek neplatný.*
- Ke každému z níže uvedených bodů je nutno doplnit stručný komentář.*

Ad a) Aktuálnost tématu dizertační práce

Téma dizertační práce je aktuální.

Komentář:

Dizertační práce spadá do oblasti mikroelektroniky a technologie, přičemž se zaměřuje na návrh a vývoj meracieho systému umožňujícího detailnější analýzu, reprodukovatelné meranie a optimalizáciu prenosu tepla a prúdenia vzduchu v konvenčnej priebežnej peci určenej na spájkovanie elektronických zostáv pri prevádzkových teplotách.

V tomto smere predstavuje dizertačná práca Ing. Hurbana významný prínos v oblasti technologie povrchové montáže, keďže sa autorovi podarilo jednoznačne preukázať vzťah medzi mechanickou konštrukciou spájkovacej pece a výslednými teplotnými a prietokovými charakteristikami zariadenia.

Téma je vysoko aktuálna aj z hľadiska simulácie prenosu tepla a rozloženia prúdenia vo vnútri pece, ktoré boli porovnané s experimentálnymi výsledkami. Takéto prepojenie modelovania a merania predstavuje dôležitý krok smerom k efektívnejšiemu návrhu a optimalizácii týchto zariadení.

Dizertačná práca vychádza z praktických skúseností autora, ktorý pôsobí priamo v technickej praxi. Je založená na pôvodnom výskume a výsledkoch experimentov realizovaných na troch rôznych typoch spájkovacích pecí. Tieto výsledky môžu byť priamo využiteľné pri návrhu a vývoji nových technológií v oblasti spájkovania elektronických zostáv. Téma práce tak jednoznačne reaguje na aktuálne potreby priemyslu a vývoja v oblasti moderných výrobných technológií.

Dizertačná práca obsahuje pôvodné výsledky experimentov.

Ad b) Splnění stanoveného cíle dizertační práce

Cíl dizertační práce byl splněn.

Komentář:

Dosiahnuté výsledky dizertačnej práce predstavujú významný príspevok do vedeckej oblasti mikroelektroniky a technológie.

Cieľom dizertačnej práce Ing. Hurbana bolo analyzovať a experimentálne overiť prúdenie a prenos tepla v priebežných pretavovacích peciach, navrhnúť a zrealizovať inovatívne meracie zariadenie, a porovnať získané dáta s výsledkami numerických simulácií s cieľom optimalizácie konštrukcie pecí.

Tieto ciele boli splnené v plnom rozsahu. Autor:

- Navrhol a zostrojil vlastné meracie pracovisko schopné snímať rozloženie teploty v osiach X a Y, vrátane riešenia technického pripojenia snímačov do prostredia s vysokými teplotami.
- Realizoval rozsiahle merania na troch rôznych typoch spájkovacích pecí, pričom preukázal vplyv mechanickej konštrukcie a rozmiestnenia trysiek na profil prúdenia a distribúciu tepla.
- Využil metódy CFD (OpenFoam) na simuláciu tepelného poľa v desaťzónovej peci, ktoré následne porovnal s experimentálnymi dátami.
- Na základe analýzy navrhol konkrétne odporúčania pre optimalizáciu rozloženia topných zón a tvarovania trysiek s cieľom zlepšiť homogenitu teplotného poľa v spájkovacej zóne.

Práca má jednoznačný prínos pre rozvoj meracích metód v oblasti elektrotechnológie a prináša nové poznatky o súvislostiach medzi konštrukciou pecí a efektivitou prenosu tepla. Cieľ bol splnený komplexne, pričom autor preukázal schopnosť samostatnej vedeckej práce, technickej kreativity a najmä praktickej aplikovateľnosti získaných poznatkov.

Ad c) Postup řešení problému a výsledky disertační práce s uvedením konkrétního přínosu doktoranda

Postup řešení problému a výsledky dizertační práce jsou nadprůměrné.

Komentář:

Postup řešení problémů v dizertační práci Ing. Hurbana byl systematický, metodicky dobře promyšlený a opíral se o kombinaci praktických měření a numerických simulací. Autor nejprve identifikoval hlavní technické problémy při měření a optimalizaci teplotního profilu v průběžných spájkovacích pecích, následně navrhl vlastní měřicí systém a otestoval ho v reálných podmínkách troch různých zařízení.

Experimentálně měření ukázali jasný vliv mechanické konstrukce spájkovacích pecí na rozložení průdení a tím i na průběh teplotního profilu. Všechny tři testované pece byly funkční, avšak každá měla svoje specifika, které je nutné zohlednit při nastavování teplotních parametrů. Autor dokázal v praxi odhalit situace, které mohou vést k nesprávné interpretaci údajů automatickými systémy – například při přechodných javoch v oblasti teploty tavení, kde dochází k krátkodobému poklesu teploty pod liquidus, což může automatický systém chybně vyhodnotit jako ukončení fáze.

Z měření také vyplynulo, že zatímco některá zařízení (např. pec č. 2) dosahují stabilního a dobře čitelného průběhu, jiné (pec č. 1) mohou mít složitější jevy v důsledku výraznější separace zón. Měření umožnili identifikovat i praktické výhody konstrukcí so specifickými tryskami (např. Y-slotmi), které zabezpečují vyšší objem proudu média a tím i efektivnější přenos tepla.

Velkým přínosem doktoranda je podrobné porovnání starších a novších konstrukčních řešení. Autor prokázal, že i starší zařízení (pec č. 3) může splňovat současné požadavky na kvalitu spájkování, pokud se důsledně zohlední jeho specifika. Upozornil také na důležité provozní faktory, jako jsou například spotřeba energie, úroveň izolace, typ ventilátorů či tvar a umístění trysky, které mají vliv nejen na výslednou kvalitu výrobku, ale i na ekonomickou efektivitu výroby.

Praktickým výstupem práce je i vlastní měřicí zařízení, které už bylo použito v průmyslové praxi jako nástroj pro benchmarking nových pecí. Tento nástroj může významně pomoci výrobcům elektroniky při rozhodování o výběru technologického zařízení a zároveň podpořit optimalizaci existujících výrobních linií.

Výsledky dizertační práce proto lze považovat za přínosné nejen z hlediska teorie, ale i pro praxi. Práce reflektuje aktuální potřeby průmyslu, zejména v kontextu energetické efektivity, spolehlivosti a kvality výrobních procesů. Ing. Hurban prokázal schopnost kritického hodnocení technických řešení, samostatného návrhu a realizace měřicích systémů a zároveň aplikace výsledků do konkrétní praxe.

Postup a dosažené výsledky práce zdůrazňují originální přínos doktoranda pro praktické i teoretické řešení v dané problematice.

Ad d) Význam pro praxi nebo rozvoj oboru

Význam pro praxi nebo rozvoj oboru je nadprůměrný.

Komentář:

Výsledky tejto práce majú významný praktický aj teoretický prínos.

Práca poskytuje komplexný prístup k meraniu a simulácii prúdenia a prenosu tepla v priebežných spájkovacích peciach. Metodológia, experimentálne výsledky aj numerické simulácie slúžia ako pevný základ pre ďalšie štúdie v oblasti optimalizácie tepelného profilu a riadenia prúdenia, pričom identifikujú kľúčové faktory ovplyvňujúce kvalitu spájkovania.

Návrh a realizácia meracieho systému vrátane meracej dosky s odolnými snímačmi predstavuje cenný príspevok pre výrobcov spájkovacích zariadení. Praktické odporúčania, ako je prispôsobenie nastavenia teplotných profilov konkrétnym mechanickým štruktúram pecí, môžu viesť k optimalizácii výrobných procesov, čo priamo ovplyvňuje kvalitu výrobkov a znižuje náklady na prevádzku (napr. úspory energie).

Detailná analýza vzťahu medzi mechanickou konštrukciou pecí a rozložením tepla podporuje inovácie v dizajne nových spájkovacích zariadení. Zistenia práce ponúkajú metodické postupy, ktoré môžu byť adaptované do nových experimentálnych a simulačných štúdií. Takisto slúžia ako podklad pre tvorbu priemyselných štandardov, ktoré by prispeli k zvýšeniu spoľahlivosti a efektívnosti spájkovacích technológií.

Celkovo je práca významná najmä pre svoj prínos k presnejšiemu definovaniu a riadeniu kritických výrobných parametrov, čo môže viesť k ďalšiemu rozvoju technológií a lepšej konkurencieschopnosti podnikov v oblasti elektronickej výroby.

Ad e) Formální úprava dizertační práce a její jazyková úroveň

Formální úprava dizertační práce a její jazyková úroveň je vynikající.

Komentář:

Formální úprava dizertačnej práce spĺňa základné náležitosti a logickú skladbu, čo výrazne prispieva k prehľadnosti celého dokumentu. Štruktúra práce je systematická a jednotlivé kapitoly sú logicky naväzujúce, čo uľahčuje orientáciu v texte. Jazyková úroveň práce svedčí o znalostiach oblasti, avšak možno pozorovať, že štýl písania je mierne „praxe-orientovaný“. To je pravdepodobne dôsledkom toho, že autor má bohaté praktické skúsenosti a nie je úplne zakorenený v akademickom prostredí. Jazyk môže byť preto v niektorých častiach menej formálny a občas náročnejšie čitateľný pre čitateľa z akademického prostredia.

Treba však zdôrazniť, že tento prístup zároveň prináša autentickosť a praktickú relevantnosť, čo je dôležité najmä v technických odboroch, kde je potrebné prepojenie teórie s reálnou výrobou a aplikáciou. Z môjho pohľadu, hoci sa jazyková úroveň môže zdať pre niekoho náročnejšia, celková forma práce efektívne odráža autorove praktické skúsenosti, čo jej dodáva jedinečnú hodnotu.

Poznám Ing. Hurbana z viacerých vystúpení, a preto viem oceniť, že jeho prístup, aj keď menej akademicky prísny, poskytuje cenné poznatky a môže byť prínosný najmä pre odborníkov pôsobiacich priamo v priemysle.

Ad f) Dizertační práce splňuje podmínky uvedené v § 47 odst. 4 zákona

Dizertační práce podmínky uvedené v § 47 odst. 4*) zákona č. 111/1998 sb. o vysokých školách splňuje.

*(*4) Studium se řádně ukončuje státní doktorskou zkouškou a obhajobou dizertační práce, kterými se prokazuje schopnost a připravenost k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje nebo k samostatné teoretické a tvůrčí umělecké činnosti. Dizertační práce musí obsahovat původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění.*

Ad g) Prokázání tvůrčí schopnosti studenta v dané oblasti výzkumu a zda práce splňuje nebo nesplňuje požadavky standardně kladené na dizertační práce v daném oboru.

Celkové hodnocení:

Doktorand prokázal tvůrčí schopnosti v dané oblasti výzkumu a práce splňuje požadavky standardně kladené na dizertační práce v daném oboru.

Komentář:

Okrem systematického zdokumentovania experimentálnych výsledkov a metodológie priniesla práca aj nové vedecké poznatky, ktoré obohacujú a rozširujú pole výskumu v vedeckej oblasti mikroelektroniky a technológie.

Otázky oponenta:

1. Ako ovplyvňuje umiestnenie snímačov (v osiach X a Y) a technické riešenie meracej dosky výsledné merania teplotného profilu a rýchlosti prúdenia?
2. Aké kalibračné postupy boli použité na zabezpečenie presnosti meraní pri extrémne vysokých teplotách (cca 250 °C) a ako boli eliminované možné meracie chyby vyplývajúce z tepelných odchýlok snímačov?

3. Aké rozdiely v teplotnom profile a rýchlosti prúdenia boli pozorované medzi rôznymi typmi spájkovacích pecí a ako tieto zistenia prispievajú k optimalizácii nastavenia teplotných profilov a celkovému dizajnu zariadení? (zhodnoťte vplyv mechanickej konštrukcie pecí na výsledné experimentálne hodnoty a ich následný vplyv na optimalizáciu výrobného procesu).

4. Ako sú výsledky experimentálneho merania teplotného profilu a prúdenia porovnateľné s numerickou simuláciou (CFD). Vysvetlite prípadné odchýlky medzi týmito dvoma prístupmi?

Dizertační práci k obhajobě

doporučuji

nedoporučuji.

Dne: 05.05.2025

Podpis:

