

Oponentský posudek

doktorské disertační práce

Ing. Marek Vostrák

HARAKTERIZACE TEPELNÝCH PROCESŮ PŘI LASEROVÉM PŘETAVOVÁNÍ POVLAKŮ

V Dobřanech dne 26. 10. 2018

Vypracoval : doc. Ing. Jan Džugan, Ph.D.

K oponentskému posouzení byla předložena doktorská disertační práce výše uvedeného názvu v celkovém rozsahu 110 stran zahrnujících texty i grafické popisy. Pro zlepšení přehlednosti obsahuje seznam použitých označení a zkratk.

Téma práce v oblasti měření teplotního pole při zpracování povrchových povlaků je zajímavé jak po stránce odborné, tak i po stránce širokého praktického uplatnění, mimo jiné např. ve velmi moderní oblasti aditivních technologií.

- **Dosažení stanoveného cíle/ů disertační práce**

Cílem práce bylo nalezení způsobu měření teplotního pole při povrchovém laserovém zpracování s využitím termovizních kamer. K dosažení tohoto cíle bylo nutné navrhnout odpovídající způsoby vyhodnocení naměřených dat a provést verifikační experimenty. Vytyčených cílů bylo v plné míře dosaženo.

- **Přínos disertační práce pro obor**

Disertační práce díky širokým nashromážděným výsledkům přispívá k celkovému akumulovanému Know-how v oblasti zájmu. Získané výsledky jsou rozsáhlé a původní, což výrazným způsobem zvyšuje hodnotu předložené práce. Doktorand navíc pro získání podrobnějších informací ohledně podmínek procesů probíhajících za podmínek laserového zpracování vyvinul novou měřicí metodiku, což je dalším výrazným přínosem jak pro pracoviště, kde tuto techniku vyvinul a implementoval, tak celkově pro obor.

- **Úroveň rozboru současného stavu v disertaci řešené problematiky**

Rozbor problematiky v teoretické části je detailní, přehledný a relevantní pro řešené téma. Práce se opírá o 90 literárních zdrojů, přičemž velká část jsou zdroje zahraniční. Použité literární zdroje jsou aktuální a v rámci oblasti a cílů práce plně postačující. Použité zdroje jsou průběžně citovány.

- **Vhodnost navrženého postupu použitých metod řešení**

Práce využívá vhodně navržené škály využitého experimentálního zařízení a vede k úspěšnému řešení problematiky. Původním výsledkem je návrh nové experimentální metodiky pro stanovení teplotního pole při laserovém přetavování, včetně metodiky vyhodnocení jejího experimentálního ověření.

- **Prokázání odpovídajících znalostí doktoranda v daném oboru**

Doktorand svým přístupem prokázal své široké teoretické i experimentální znalosti a zejména schopnost tvůrčího a inovativního přístupu k řešení dané problematiky pro dosažení cílů práce. Sepsáním disertační práce na vysoké odborné i grafické úrovni prokázal doktorand dále také své schopnosti jasně a výstižně formulovat své myšlenky, analyzovat nashromážděné výsledky a odpovídajícím způsobem je shrnout a předat dále, což jsou klíčové schopnosti pro další úspěšnou výzkumnou činnost v oboru.

- **Formální úroveň práce**

Předložená práce je přehledně a vysoce kvalitně zpracována. Práce obsahuje zanedbatelné množství formálních chyb, jako např. v případě použití více obrázků v rámci jednoho obrázku nejsou v několika případech tyto dílčí obrázky samostatně označené, nebo str. 104 kdy všichni autoři prvního článku jsou uvedeni velkými písmeny, kromě jednoho (Bystrianský).

- **Publikační činnost studenta**

Publikační aktivita v oblasti odborných publikací je velmi dobrá, doložená 27 články. Je hlavním autorem dvou publikací v časopisech IF. Doktorand má v databázi SCOPUS 20 článků s celkovým počtem citací 81 a ve WOS má 19 publikací s celkovým počtem citací 56.

Z dalších odborných výsledků lze konstatovat autorství a spoluautorství více než 70 výzkumných zpráv.

- **Dotazy k disertační práci:**

- Co bylo kritériem pro posouzení který způsob měření a vyhodnocení je nejvhodnější pro určení hloubky přetaveného povrchu?
- Proč nebyla provedena verifikace teplotního pole nějakou další metodou, např. termočlánky do různých hloubek experimentálního materiálu?

- **Závěrečné hodnocení**

Domnívám se, že předložená disertační práce ing. M. Vostráka splňuje všechna kritéria, jak je vymezuje ustanovení § 47 odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb., že disertační práce musí obsahovat původní výsledky a že výsledky práce musí být uveřejněné nebo přijaté k uveřejnění. Autor v práci uvádí výčet autorských i spoluautorských publikací souvisejících s řešeným tématem. Svou prací prokázal schopnost aplikace pokročilých inženýrských přístupů v praxi. Proto **doporučuji**, aby v případě uspokojivých odpovědí na dotazy oponentů a úspěšné obhajoby mu byl **přiznán titul Ph.D.**


Jan Džugan

Posudek disertační práce

předložené na Fakultě aplikovaných věd
Západočeské univerzity v Plzni

Posudek oponenta

Autor disertační práce: Ing. Marek Vostřák

Název práce: Charakterizace tepelných procesů při laserovém přetavování povlaků

Školitel: doc. Ing. Milan Honner, Ph.D. Katedra: Katedra fyziky

Rok odevzdání: 2018

Jméno a tituly oponenta: Ing. Tomáš Chráska, PhD.

Pracoviště: Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.

Kontaktní e-mail: chraskat@ipp.cas.cz

Posudek

Předložená disertační práce Ing. Marka Vostřáka v sobě propojuje oblast materiálového inženýrství s fyzikálně nahlíženou oblastí infračervené termografie. V oblasti materiálového inženýrství se práce zabývá úzkým tématem laserového přetavování povrchových vrstev připravených technologií žárového stříkání. Práce je ovšem zaměřena ještě úžeji na jeden specifický materiál nástřiku (Stellit 6) a jeden materiál substrátu. V oblasti infračervené termografie se práce zaměřila především na efektivní využití termovizních kamer a fyzikálně správnou kvantifikaci a interpretaci naměřených termogramů. Autor na základě přehledu současných vědeckých publikací ukazuje, že tato kombinace – tedy využití termovizních kamer pro přímou charakterizaci tepelných dějů při laserovém přetavování – není využívána. Disertační práce se proto zabývá možností použití infračervené termografie pro charakterizaci procesu laserového přetavování. To je téma vysoce aktuální a zároveň i velmi přínosné především pro obor materiálového inženýrství a technologie povrchových úprav. Nutno dodat, že hlavním cílem disertační práce je vytvoření metody, která účelně využije komerčně dostupných termovizních kamer pro přímou charakterizaci tepelných dějů při laserovém přetavování. Tento cíl ovšem není pro doktorskou práci příliš ambiciózní a je navíc hodně technologicky zaměřený, což neprospívá vědecké úrovni práce. Autorovi se každopádně vytyčený cíl práce, tedy vytvoření metody, podařilo s dostupnými termovizními kamerami splnit.

Autor práce si stanovil i dílčí cíle práce a tyto postupně a systematicky naplňoval. Vědecké a technické metody a také postupy při řešení problémů byly vhodně zvoleny a umožnili splnění všech dílčích cílů. Autor precizně analyzuje různé fyzikální aspekty kvantitativního využití termovizních kamer. V kontextu hodnocení doktorské tedy disertační práce je ovšem škoda, že autor nepřikročil k obecnějšímu ověření vyvinuté metody využití termovizních kamer pro laserové přetavování i na dalších materiálových kombinacích a spokojil se pouze jedním druhem nástřiku na jednom druhu substrátu. Tato skutečnost poněkud znesnadňuje využitelnost vytvořené metody (v rámci této disertační práce) pro širší technologickou a vědeckou komunitu.

Po formální stránce je práce přehledně sestavena, i když ne vždy se podařilo vyhnout jisté repetitivnosti. Tato repetitivnost je zvláště patrná v přehledu současného stavu problematiky. Formální a grafická úprava je téměř bezchybná. Předložená disertační práce je napsaná v českém jazyce a je většinou velmi dobře srozumitelná. V úvodní části práce se ovšem zbytečně vyskytují některé anglicismy jako např. „imperfekce“ místo českého „vady“ nebo „tepelná difuzivita“, čímž autor patrně myslí „teplotní vodivost“. Diskuzní část práce je velmi stručná, což je asi částečně způsobeno tím, že autor vyvinutou metodu neověřil na více materiálových kombinacích.

Autor práce, Ing. Vostřák, je spoluautorem celkem pěti kvalitních publikací v recenzovaných vědeckých časopisech a to výhradně v oboru materiálové vědy a inženýrství. U dvou publikací je uveden jako první autor a jedna z těchto dvou publikací svým obsahem odpovídá i této disertační práci. Tím je ověřeno, že i mezinárodní vědecká komunita spatřuje ve výsledcích této práce jednoznačný přínos. Ing. Vostřák je dále spoluautorem velké řady příspěvků na mezinárodních vědeckých konferencích.

Závěrem mohu konstatovat, že přes jisté nedostatky je předložená disertační práce solidní a velmi přínosná a proto doporučuji práci k obhajobě.

Případné otázky při obhajobě a náměty do diskuze:

1. Str. 18, obr. 2.6 – Proč není použité stejné měřítko u všech obrázků? Proč není okomentována všudypřítomná prasklina/vrstva na rozhraní nástřík/substrát v případě přetavení laserem - d)?
2. Str. 27, obr. 2.8 – chyba u značení odraženého záření
3. Jak se připravoval metalografický výbrus? Bývá zvykem tento postup popsat.
4. Str. 55 – Nemělo by se používat spíše označení „efektivní emisivita“? Emisivita je vlastnost objektu a nemůže být ovlivněna typem kamery.
5. Str. 56, obr. 4.21, tab. 4.6 – pod jakým úhlem byla emisivita měřena?
6. Str. 59 – co znamená „tepelné analýzy procesu přetavování“
- **jak víte, že proběhla rekrytalizace uvnitř splatů?** Viz věta „Nejblíže substrátu, kde byla nejnižší teplota, je pak nejméně ovlivněná oblast, kde jsou stále znatelné jednotlivé splaty, avšak uvnitř nich proběhla rekrytalizace.“
7. Str. 63 – „... ostrůvkům s vyšší teplotou, které vznikají jako důsledek proudění v tavné lázni“ – co reálně víte o proudění v tavné lázni?
- „vnesené teplo je pohlcováno latentním teplem“ – jak může být pohlcováno teplo teplem?
8. Str. 76 – Jaké rozměry vzorku máte na mysli? Jde pouze o tloušťky substrátu a nástříku nebo i o rozměr plochy? Plošný rozměr nemá vliv?
9. Str. 83 – „*Prostorovému rozlišení 1 px = 39,4 μm tak odpovídá střední absolutní chyba stanovení šířky taveniny v dílčím průběhu teplot ± 12 μm.*“
- **Jak jste dospěl k této hodnotě střední absolutní chyby měření?**
10. Str. 85 – „Zvolená frekvence pro statickou kameru FLIR A615 byla 6,25 Hz, při které je chyba stanovení doby ohřevu a chladnutí ± 0,07 s.“
- **Jak jste dospěl k této hodnotě chyby stanovení doby?**
11. Jak bude metoda aplikována na nové/jiné materiálové kombinace substrát/nástřík? Jiné materiály mají jinou absorpci laserového záření, jiné tepelné vlastnosti. Je nejprve nutné zjistit hloubku protavení a tím metodu „kalibrovat“ pro nový materiál? Proč toto není zohledněno v popsaném postupu metody na str. 88?

Místo, datum a podpis oponenta:

V Praze, 15. října 2018

