

Posudek disertační práce Ing. Jiřího Tesaře o názvu:

**„Termografie v plazmových a laserových technologiích“**

Disertační práce Ing. Jiřího Tesaře se zabývá experimentální metodikou stanovení prostorově-časových polí radiačních teplot pomocí termovizních měření k výzkumu plazmových a laserových technologií. Protože teplota je, vedle entropie, principiální veličinou popisující účinnost technologických procesů, má práce pro obor zásadní význam.

Práce je zaměřena na tři různé technologie – vytváření tenkých titanových vrstev fyzikální depozicí (PVD) při vysokovýkonovém pulzním magnetronovém naprašování (HPPMS), svařování ocelového plechu a plechu z hliníkové slitiny modifikovanou metodou MIG – CMT a laserového kalení nástrojové korozivzdorné oceli, jejíž povrch byl upraven laserovým gravírováním.

Na základě vypracovaného teoretického přehledu použil autor k řešení problematiky logicky adekvátní experimentální postupy, tj. pomocí termovizních kamer a původně vyvinutých kalibrátorů vypracoval měřicí a vyhodnocovací metodiky pro sledování teplotních polí během uvedených technologických procesů. V písemné části disertační práce autor zpracoval velký rozsah řešené problematiky systematicky, přehledně a uceleně se zevrubnou diskusí a výstižnými souhrny dosažených výsledků v rámci všech tří dílčích projektů. Práce obsahuje i přehled použitých rešeršních i vlastních publikací.

Disertační práci rozdělil autor velmi přehledně do sedmi kapitol, z nichž kap. 1, 3 a 7 tvoří úvod, cíle resp. závěr a kapitola 2 kompaktně a pěkně zpracovaný rozbor jednotlivých projektových úloh. Vlastní výsledky projektů pak popsal v kapitolách 4, 5 a 6, o kterých se dále zmíním podrobněji ve formátu ocenění, kritická poznámka a dotaz.

Z kapitoly 4: „Aplikace termografie ve výzkumu PVD technologií“ bych zvláště ocenil využití kalibrace emisivity pomocí teplot fázových přechodů  $T(\text{beta Ti} - \text{alfa Ti}) = \text{cca } 882 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Obr. 4,8) a bodu tání  $T(\text{Ti sol-liquid.}) = \text{cca } 1670 \text{ } ^\circ\text{C}$  (Obr. 4,15). K dobře popsané metodice technologie i metrologie však postrádám podrobnější popis vlastností procesních materiálů (Ti, Ar, Ge, aj.) například formou tabulky, což je nezbytné např. pro publikování v (zvláště impakt) časopisecké literatuře v kapitolách „materiály a metody“.

V souvislosti s poklesem propustnosti Ge okna během experimentů v důsledku vytváření tenké vrstvy titanu na jeho vnitřní straně vzniká otázka možnosti vratného ošetření Ge okénka omezením nanášení

Ti a nutnosti jeho přebroušení a přešetření pro každé další měření. Dále bych požádal kandidáta o stručnou diskusi možnosti odhadu teplotní závislosti (směrové) emisivity Ti např. z reflektance IR. V kapitole 5 o analýze tepelných procesů v technologii spojování plechu hliníkové slitiny a ocelového plechu zvláště oceňuji nalezení korelace závislosti tvrdosti a maximální dosažené teploty na vzdálenosti od svaru (Obr. 5,2).

Podobně, jako v předchozí kapitole, u velmi dobře popsané metodiky technologie i metrologie postrádám popis vlastností procesních materiálů (teploty tavení atp.) například formou přehledové tabulky, případně opřené o tabelované resp. jiné referenční hodnoty.

V obhajovací diskusi bych se rád zeptal, zda je možno stanovit teploty, resp. s jakou chybou bez použití černé barvy a jak dalece je použití barvy technicko-ekonomicky výhodné z hlediska širšího využití termografie, dále, jaké je riziko poškození vstupní apertury kamery a je-li možno použít nějakou ochranou IR masku.

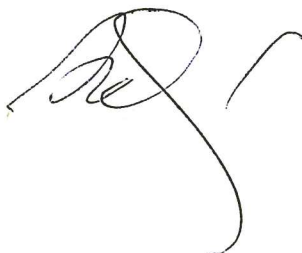
Konečně, v kapitole 6 (Aplikace termografie ve výzkumu laserových technologií) bych ocenil velmi originální myšlenku použití oxidového emisivního rastru (viz ref. [III]). V souvislosti s tím bych se zeptal na rozlišení kinetiky tvorby oxidových vrstev a tepelné kinetiky substrátu, dále na možnost využití tzv. optotermálních resp. fotoakustických metod pro uvedené rozlišení a opět, jaké je riziko poškození vstupní apertury kamery a je-li k dispozici např. ochranná IR polymerní folie před vstupní čočkou kamery.

Kandidát byl spoluautorem tří impaktovaných publikací a z toho dvou vedoucím spoluautorem. Avšak podstatně větší odborný a zvláště technicko-ekonomický přínos má kandidátův podíl na spoluautorském vypracování celkem 36 výzkumných a aplikačních zpráv, z nichž 19ti byl vedoucím spoluautorem. Zvláštní ocenění si zaslouží práce kandidáta na měření tepelných odporů konstrukcí celé řady automobilů značky ŠKODA zvyšující významně jejich konkurenční schopnost na světovém trhu (viz reference [XXVI] a [XXVII], [XXX] a [XXXI]).

V celkovém hodnocení mohu konstatovat, že Ing. Jiří Tesař v plném rozsahu a na velmi vysoké odborné úrovni splnil všechny požadavky nezbytné ze zákona pro udělení doktorské vědecké hodnosti Ph.D a doporučuji, aby mu byla udělena.

doc. Ing. Petr Sladký, CSc.

V Praze, dne 17. 3.2014





*Ing. Jiří Tesar*

## ***TERMOGRAFIE V PLAZMOVÝCH A LASEROVÝCH TECHNOLOGIÍCH***

Předkládaná práce se zabývá studiem možnosti využití infračervené termografie v moderních technologiích, jako je plazmové naprašování, obloukové svařování plechů z různých materiálů a laserové kalení kovových materiálů.

Práce je členěna celkem do sedmi kapitol. Po krátkém úvodu následuje kapitola s názvem „Současný stav problematiky“. První dvě podkapitoly jsou věnovány teoretickým základům infračervené termografie a principům pro termografii využívaných infračervených kamer. V poslední podkapitole této části autor uvádí základní principy PVD procesů, obloukového svařování a laserového kalení. V této části je též obsažena rešerše dosavadního stavu výzkumu stanovení teploty bezkontaktními metoda v příslušné problematice.

Po rešeršní části následuje kapitola definující vlastní cíle práce. Po této kapitole jsou uvedeny tři komplexní celky, věnované jednotlivým oblastem autorova vlastního výzkumu, tj. aplikaci termografie pro stanovení teploty terče při PVD naprašování, při obloukovém svařování plechů z oceli a hliníku a při laserovém kalení. Každá z těchto kapitol představuje ucelený celek, obsahující popis použitého experimentálního vybavení a jeho uspořádání, vlastní experimentální výsledky a jejich zhodnocení včetně závěrečné diskuse a zobecnění dosažených poznatků pro aplikaci termografie v příslušné aplikační oblasti.

Práce je zakončena závěrečnou sumarizací dosažených výsledků, obsáhlým seznamem použité literatury a vlastními publikačními výstupy autora. V příloze autor podrobně popisuje použitou termografickou techniku.

Téma práce je vysoce aktuální, použitá metodika odpovídá nejmodernějším trendům vědeckého bádání. Práce přináší řadu původních výsledků a snese mezinárodní srovnání, o čemž svědčí i tři články publikované v impaktovaných časopisech a řada příspěvků na mezinárodních konferencích. Vysoce oceňuji i aplikační potenciál práce a aktivity autora v této oblasti, o čemž svědčí řada výzkumných zpráv a přímých výsledků aplikovaného výzkumu.

Po formální stránce má práce vysokou úroveň. Nalezl jsem pouze několik nepodstatných překlepů a formálních nedostatků, např.:

- Konstanta  $\pi$  ze vztahu 2.2 není uvedena v seznamu konstant na str. 9
- Str. 16, obr. 2.1 – v částí a) není zakreslen posun prošlého paprsku způsobený lomem na rozhraní vzduchu a materiálu
- Str. 18 – ve výrazu pro celkovou hemisférickou emisivitu je uvedeno  $t$  jako nezávisle proměnná přičemž z předchozího textu vyplývá, že má spíše význam indexu
- Str. 28 – poměrně těžkopádná formulace „Na výstupu detektoru se objevuje pouze malý elektrický signál.....“

- Str. 54 – na obr. 4.3 není znázorněna absorpce záření mezi terčem a Ge okénkem
- Str. 62 – namísto ... softwarem dopočítána.... by bylo vhodnější použít český ekvivalent - .... Dopočítáno počítačovým programem....

K vlastnímu obsahu práce mám následující dotazy, které by autor při obhajobě měl zodpovědět:

1. Na str. 14 uvádí autor Planckův zákon jako výkon vyzářený absolutně černým tělesem z jednotky plochy do jednotky prostorového úhlu. Intenzita záření do polokoule nad touto plochou je potom uváděna ve vztahu 2.2 jako  $\pi$ -násobek této hodnoty. Prostorový úhel odpovídající polokouli je však  $2\pi$ . Mohl by se autor k této skutečnosti vyjádřit?
2. Při stanovení efektivní emisivity povrchu metodou známé teploty, jak je schematicky zobrazeno na obr. 2.3 určuje teplota povrchu termočlánkem. Jaká je přesnost stanovení této teploty povrchu?
3. V práci mi chybí porovnání dosažených výsledků s výsledky jiných autorů. Autor by měl toto srovnání v rámci obhajoby doplnit.

Výše uvedené připomínky nijak nesnižují hodnotu předložené práce, v níž autor prokázal schopnost komplexního přístupu k řešení dané problematiky a samostatné vědecké práce. Doporučuji proto práci k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení udělit autorovi titul Ph.D.

V Českých Budějovicích, 31. března 2014



Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.