

Oponentský posudek disertační práce:

MĚŘENÍ SPEKTRÁLNÍ EMISIVITY VYSOKOTEPLOTNÍCH POVLAKŮ

Ing. Petry Vacíkové

k získání akademického titulu doktor

v oboru Fyzika plazmatu a tenkých vrstev

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

Katedra: Katedra fyziky ZČU

Vedoucí: prof. RNDR. Jaroslav Vlček, CSc.

Plzeň, 2013

Západočeská univerzita v Plzni

Doručeno: 14.06.2013

ZCU 019284/2013

listy: 8

přílohy:

druh:



zcupesc6ba82

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce Ing. Petry Vacíkové se zabývá komplexně z teoretického a zvláště experimentálního hlediska velmi obtížnými měřeními spektrální emisivity vysokoteplotních povlaků. Výsledky dosažené v citované práci se vyznačují významnou možností zvýšení účinnosti přenosu tepla zářením anebo spolehlivosti zařízení vysokoteplotních technologií. Výzkum nových procesních vlastností vysokoteplotních povlaků a z nich pak zvláště jejich spektrálně emisního chování má velký aplikační potenciál. Jedná se o jejich aplikace v průmyslových pecích, spalovacích komorách nebo výměnících tepla atp. Zvláštní význam výsledků předložené disertační práce kol. Vacíkové spočívá nejen v možnosti jejich speciálního oborového použití, ale i v jejich širším využití pro výuku fyzikálně-chemických metod pro výzkum a vývoj nových technologií a materiálů. Principiálně metodicky má význam i při studiu termofyzikálních, termochemických a biofyzikálně chemických vlastností, například kůže a obecně buněčných povrchů, z hlediska jejich ochrany proti poškození zářením sluncem nebo technologickými lasery atp.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Hlavním cílem disertační práce kol. P. Vacíkové byl vývoj nové laboratorní metody a aparatury pro měření spektrální emisivity povlaků v pásmu vlnových délek infračerveného záření v rozsahu teplot odpovídajícím podmínkám použití těchto vysokoteplotních povlaků. Na rozdíl od měření objemových vzorků, bylo hledání nových přístupů a řešení zejména pro ohřev vzorků a měření povrchové teploty. Protože, vzhledem k velkému počtu faktorů resp. veličin, ovlivňujících výsledky měření teplotních závislostí spektrálních emisivit materiálových povrchů, se jednalo o nejen teoreticky, ale především prakticky, tj. experimentálně velmi náročný úkol, volila kol. P. Vacíková správně komplexní sériově paralelní postup. Pokud je mi známo, tak aparatura a metodiky, které kol. P. Vacíková vytvořila v rámci své disertační práce, jsou v tuzemsku ve své komplexnosti jediné svého druhu.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původnímu konkrétnímu přínosu předkladatelky disertační práce

Pro vypracování postupu realizace práce provedla velmi cennou zevrubnou rešerši nejen metodické, ale i materiálové literatury. Na základě toho a v souladu s přenosovým řetězcem furierovsky měřených radiačních spekter pak navrhla jednotlivé dílčí kroky a komplexně je realizovala, tj. vybudovala unikátní experimentální aparaturu pro měření spektrálních emisivit povrchů v širokém oboru vlnových délek (0,4 až 25 mikrometrů a 100 až 1000°C). Přitom vypracovala, experimentálně ověřila a chybově vyhodnotila řadu dílčích aparaturních celků, nezbytných pro přesná a reprodukovatelná měření spekter pomocí FTIR spektrometru NICOLET. Mezi zvláště významné patří realizace laserového ohřevu vzorků, doplněná zevrubnou chybovou

analýzou, vypracovanou i pro většinu přenosových uzlů měřeného záření. Dalším významným dílem disertační práce kol. P. Vacíkové je kolaborativní ověření funkčnosti vybudované aparatury provedené ve spolupráci s francouzským metrologickým ústavem „Laboratoire National d'Essais“. Výsledky těchto srovnávacích měření potvrdily plnohodnotnou funkčnost vybudované aparatury a vypracovaných procesních i vyhodnocovacích postupů. Vysokou užitnou hodnotu výsledků disertační práce kol. P. Vacíkové potvrdilo i využití aparatury a metodických postupů pro hodnocení materiálového složení studovaných vysokoteplotních povlaků zvláště z hlediska jejich aplikační funkčnosti, tj. tepelně mechanické stability.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Na formálním zpracování práce zvláště oceňuji její přehlednou strukturu, umožňující účinně sledovat zpětnovazební tvorbu aparatury, vyhodnocování funkčnosti jednotlivých uzlů přenosového řetězce a zvláště přehledně a podrobně vyhodnocenou chybovost měření. Z hlediska většího prezentačního efektu bylo možná vhodnější rovnou nejcennější kapitole práce „Metody zpracování“ označit názvem výsledky měření spolu s diskusí částí, označenou v práci názvem „Výsledky“. Protože stále pracuji v oboru výzkumu a vývoje nových optických metod zvláště v jejich kombinaci s akustickými, ultrazvukovými a termálními metodami, jakými jsou např. metody fotoakustické a optotermální spektroskopie a mikroskopie, photothermal beam deflection, jakož i metodami měření výkonu a energie záření laserů a emisivity povrchů velkoplošných laserových detektorů, dovoluji si v diskusí části obhajoby požádat kol. P. Vacíkovou o stručnou diskusi některých výsledků práce vyjádřených graficky. Jmenovitě mám na mysli stručnou porovnávací diskusi průběhu grafů na obrázcích 34, 36, 37, 40 ohřevové části aparatury (str. 71 až 78) dále obr. 57/str.100 a chybových grafů např. na obr. 64 a 65 a konečně grafy na obr./ str. 70/124, 72/128 a 73/129. Poznámávám, že předložené otázky jsou míněny za účelem ukázání dalších technicko-ekonomicky významných možností využití velkého aplikačního potenciálu výsledků disertační práce kol. P. Vacíkové.

Vyjádření k publikacím studenta

V souladu se zadáním projektu a mimořádnou pracností dosažených výsledků publikovala kol. P. Vacíková spoluautorsky několik impaktových studií. Z hlediska využívání disertací dosažených výsledků mají však podstatně větší význam publikační práce kol. P. Vacíkové, věnované jejich výukově vzdělávací prezentaci, umožňující účinné využití velkého aplikačního potenciálu disertace. Škoda, že zadavatel aplikační části projektu, týkající se ověřování materiálově-technologických parametrů vyvíjených vysokoteplotních povlaků, nedodal o vzorcích informace, nezbytné pro tvorbu impaktových publikací, čímž svým způsobem ošidil disertantku a rovněž školitele kol. M. Honnera a jeho team o větší zasloužené impaktově publikační ocenění. Na tomto místě a těmito slovy si dovoluji netradičně ocenit i pedagogicky kvalitní vedení disertační práce kol. P. Vacíkové školitelem kol. M. Honnerem.

Vyjádření k obhajobě práce

Na základě výše řečeného doporučuji jednoznačně disertační práci Ing. Petry Vacíkové k obhajobě.

V Praze, dne 7. 6. 2013

Doc. Ing. Petr Sladký, CSc., Katedra chemické fyziky a optiky, UK MFF v Praze

Oponentský posudek na doktorskou disertační práci

**Ing. Petra Vacíková: *Měření spektrální emisivity vysokoteplotních povlaků*
k udělení akademického titulu “PhD” na Západočeské universitě v Plzni.**

Klasický fyzikální zákon popisující spektrum a intenzitu záření dokonale černého tělesa je základem všech moderních metod, jak ke stanovení velikosti teploty (frekvenčního spektra záření) tak i ke stanovení intenzity toku vyzařované či pohlcované energie (koeficientu emisivity.) Pro všechny technologické aplikace kde se vyskytují vyšší teploty (většinou 400 až 900°C) je emisivita povrchu příslušného materiálu jedním z nejdůležitějších materiálových parametrů. Jen pomocí ní lze s příslušnou přesností použít zákon zachování energie a následně pak navrhovat vhodné provozní parametry příslušného zařízení.

Hodnocení

- a) Přínosem práce je návrh a realizace funkčního zařízení pro měření teplotní a spektrální závislosti emisivity technicky využitelných vysokoteplotních povlaků. Navíc je vypracovaná metodika spolu s dokončeným měřícím zařízením přínosem a dalším rozšířením technického vybavení pracoviště a je tak i příspěvkem k rozšířením fyzikálního oboru „Fyzika plazmatu a tenkých vrstev“.
- b) Použité metody odpovídají současným trendům v oblasti aplikace spektrálních metod (využití FTIR- Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy a termovizní kamery) pro energetické aplikace ve vysokoteplotních technologiích. Práce je orientována více experimentálně s cílem dosáhnout konkrétních výsledků tak, aby byly naplněny její cíle, tj.:
 - návrh a ověření vhodné metody ohřevu vzorku a co nejpřesnější stanovení jeho povrchové teploty
 - teoretická a experimentální analýza nejistoty při stanovení normálové spektrální emisivity a praktické ověření této metody.Uvedené cíle byly zcela naplněny, zvláště bych zdůraznil tu část práce kde se autorka věnovala ohřevu vzorků pomocí laseru, měření povrchové teploty (kalibrace termovizní kamery) a v neposlední řadě analýze nejistot. Právě analýza chyb doprovázející tato náročná měření je důležitá při konkrétním technickém využití navržené metody, např. pro výzkum vysokoteplotních povlaků. Vzhledem k tomu, že cíle práce byly dostatečně přesně formulovány, lze snadno konstatovat, že byly splněny.
- c) Za konkrétní přínos považuji návrh metodiky a praktické ověření laserového ohřevu vzorků (na jeho zadní straně) a realizaci měření povrchové teploty vzorků s využitím termovizní kamery. Tyto dva procesy jsou pro výzkum emisivity povrchů nejdůležitější a podle navržené metodiky je možno je provádět bezkontaktně a z velké části i zautomatizovat. Významná je i metodika kalibrace zařízení.
- d) Práce je napsána systematicky a má velmi dobrou grafickou úroveň. Rovněž tak i jazyková úroveň práce je velmi dobrá. Svědčí o značné literární zkušenosti autorky, kterou dokumentuje její poměrně bohatá publikační činnost.
- e) Mezi publikacemi autorky jsou články jak v recenzovaných a impaktovaných časopisech (5krát) tak i příspěvky ve sbornících mezinárodních a národních konferencí (14krát). Tyto publikace odrážejí její schopnost prosadit se i na mezinárodní úrovni a zcela odpovídají požadavkům kladeným na doktorskou disertační práci. Mimo tuto publikační činnost, se Ing. Petra Vacíková aktivně

účastnila řešení projektů MPO a je autorkou, či spoluautorkou značného počtu výzkumných zpráv (45).

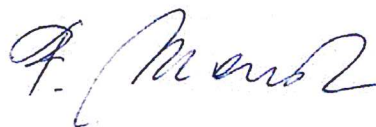
K práci mám následující dotazy.

1. otázka. Při měření normálové spektrální emisivity povlaku ZYP Coating Cr_2O_3 a při teplotě stanovené termočlánkem byla naměřena emisivita přesahující hodnotu 1. Použitím referenčního povlaku DupliColor 88°C a využitím existence Christiansenovy vlnové délky ve spektru, byla pak teplota termočlánku korigována, viz Obr. 28. Existence takovéto výrazné selektivní závislosti na vlnové délce, která navíc může záviset na jeho teplotě, by mohla poněkud zkreslit výsledek měření. Je tato vlastnost povrchu (tj., existence Christiansenovy vlnové délky) stabilní a nebo se při opakovaném ohřevu posouvá? Existuje nějaký jednoduchý způsob jak její existenci zjistit a nebo je třeba provést měření v celém rozsahu teplot?

2. otázka. Při laserovém ohřevu zadní strany vzorku byly vyzkoušeny různé dráhy laserového paprsku a jejich pohyb byl optimalizován za účelem homogenního ohřevu. Teplota laserového paprsku byla mezi 3 a 4 tisíci K. I když ještě nejde o teplotu při které by docházelo k masivnímu vypařování (ablaci) materiálu, mohou se však z povrchu uvolňovat těžké komponenty, které by mohly svou přítomností v měřícím prostoru způsobit dodatečnou absorpci jisté vlnové délky z emitujícího (měřeného) povrchu. Myslíte, že by tento proces mohl mít v některém specifickém případě význam? Asi ne při měření vysokoteplotních povrchu, ale např. při měření emisivity materiálů určených pro nižší teploty. Dalo by se tomuto procesu nějak čelit.

Závěr

Předložená práce má výbornou grafickou úroveň. Obsahuje stručný úvod do teorie vyzařování (emisivity) těles, resp. jejich povrchů. Hlavním cílem byl i návrh metodiky a konstrukce experimentálního zařízení ke stanovení normálové spektrální emisivity. Jedním z důležitých výsledků je navržená metoda kalibrace termovizní kamery pro stanovení teploty vzorku a v kombinaci se spektrometrem (FTIR) stanovení normálové spektrální emisivity. Předložená doktorská práce k udělení titulu PhD., splňuje ustanovení § 47, odst. 3 Zákona č. 111/1998 o vysokých školách a doporučuji proto aby byla **Ing. Petra Vacíková** připuštěna k její obhajobě na Fakultě aplikovaných věd, Západočeské University v Plzni.



V Praze dne 5. června 2013

Prof. Ing. František Maršík, DrSc
Ústav termomechaniky AVČR