

Oponentní posudek na doktorskou disertační práci Ing. Milana Mauera s názvem

„Studium vlivu složení plniva kompozitního systému na jeho emisivitu“

Cíle práce a aktuálnost tématu

Cílem disertační práce bylo studium vlivu složení plniva kompozitního systému na jeho emisivitu. Nebyl nevyvíjen zcela nový materiál, ale při výzkumu se vycházelo z materiálu, který byl již lety prověřený a měl zaručenou odolnost vůči podmínkám panujícím v tepelných zařízeních. Bylo tedy potřebné nalézt vhodnější aktivní složku, která vylepší emisivní vlastnosti daného materiálu. Nově vzniklý materiál pak byl podroben srovnávacím testům s původním materiálem.

Téma práce je v současné době vysoce aktuální s ohledem na úsporu nákladů v energetice nebo i ostatních odvětvích (chemie, petrochemie, hutní provozy, výroba keramiky).

Postup řešení a výsledky disertační práce

V teoretické části doktorand uvádí přehled dosud známých skutečností o dané problematice. Obecně vysvětluje termíny týkající se emisivity a způsobů přenosů tepelné energie. Dále popisuje materiál, ze kterého výzkum vycházel (keramický kompozit BG HITCOAT). Důležitá kapitola je věnována emisivním povlakům a jejich možnému využití. Jejím přečtením získá čtenář dobrou představu o řešené problematice. Doktorand čerpal z více pramenů, které důsledně cituje (vč. obrázků).

Po stránce metodiky experimentů je práce zpracována logickým postupem. Nejprve je graficky nastíněna časová osa postupu prací, dále jsou charakterizovány použité suroviny, tj. pojiva, plniva i aktivní (emisivní) složky. Dále je zmíněn způsob přípravy vzorků pro jednotlivé etapy a testy. Kapitola končí popisem měření spektrální normálové emisivity a jednotlivých srovnávacích testů.

Bylo připraveno 25 různých vzorků (nejen samostatné látky, ale i jejich směsi). Na tomto souboru vzorků bylo provedeno (při různých teplotách) měření spektrální normálové emisivity. Výsledky jsou popsány v kapitole 5.1–5.5. Hodnoty spektrálních a teplotních závislostí normálové emisivity jednotlivých vzorků jsou přehledně vyneseny a porovnány v mnoha grafech. Výsledkem této části výzkumu bylo nalezení vhodné aktivní složky s optimální koncentrací (vzorek S17, tj. směs nitridu bóru a nitridu hliníku (1:1, obj.), 25 % obj. v plnivu).

Pro porovnání nově vyvinutého a původního materiálu (S17 vs. S02) byly použity následující testy: odolnost vysoké teplotě, teplotní vodivost, přilnavost a analýza SEM. Ve všech těchto testech nově vyvinutý materiál obstál. Buď měl parametry srovnatelné, nebo i lepší.

K charakterizaci povrchové struktury byla použita elektronová mikroskopie. Podrobně jsou porovnány oba materiály i po vypálení na vysokou teplotu a získané výsledky jsou diskutovány. Závěry práce (kap.7) výstižně shrnují dosažené poznatky.

Význam výsledků pro rozvoj vědního oboru a pro praxi

V předložené disertační práci je výzkum založen na měření spektrální normálové emisivity za vysokých teplot. **Muselo být vyvinuto několik měřících metod**, včetně funkčních vzorků a softwarů pro zpracování výsledků, např. systém pro vysokoteplotní testování povlaků, systém pro laserový ohřev vzorků a software EMISCALC (pro výpočet emisivity z teploty vzorku).

Pro praxi mají výsledky řešení disertační práce rovněž velký význam, materiál bude moci být používán v mnoha různých tepelných zařízeních. Díky vysoké hodnotě emisivity bude mít významný vliv na přenos tepla do sálavých výhřevných ploch (např. při ohřevu přehříváků v tepelných elektrárnách).

Formální úprava a jazyková úroveň

Práce obsahuje 104 stran, včetně seznamu použité literatury (80 odkazů) a souhrnu v anglickém jazyce. Osnova práce je plně v souladu se zvyklostmi zpracování disertační práce. Výsledky jsou uvedeny v přehledných tabulkách a grafech. Práce je sepsána čtivým slohem. Citace použité literatury je uvedena v souladu s platnou normou (ČSN ISO 690-2011).

K práci mám následující připomínky a dotazy:

Občas jsou použity některé výrazy, které nejsou vhodné pro technický text, např. označení vzorků „nitridy“ a „karbidy“, kde by čtenář mohl tápat, o co se jedná, i když termíny jsou vysvětleny např. v Tab 7. Je zde poněkud nesystematické označování jednotlivých vzorků (kam se poděly vzorky S03, S19, S20, S22 a S27?).

1. obr. 59 – graf je zpracováním výsledků předchozích 4 tabulek, směrodatná odchylka měření měla být znázorněna pomocí chybové úsečky.
2. Některé vzorky obsahovaly směsi vybraných látek. Proč zrovna tyto kombinace a ne třeba jiné?
3. V kapitole 6 jsou zmíněny následné poloprovozní a provozní testy. Můžou být prezentovány jejich výsledky?

Závěr

Závěrem konstatuji, že doktorand ve své disertační práci prokázal systematický přístup k řešené problematice, přispěl k rozvoji studované vědní disciplíny a podaří se mu (alespoň doufám) převést výsledek svého výzkumu do průmyslové praxe. Práce dokladuje schopnost autora řešit výzkumné úkoly. Připomínky k disertační práci nejsou zásadního charakteru.

Na základě uvedených **skutečností doporučuji**, aby Ing. Milan Mauer byl připuštěn k obhajobě disertační práce a po jejím úspěšném obhájení mu byl podle zákona č. 111/1998 Sb. a ve znění dalších předpisů **příznán titul Ph.D.**

V Pardubicích dne 30. října 2017



OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Ing. Milan Mauer

Název práce: Studium vlivu složení plniva kompozitního systému na jeho emisivitu

Disertační práce Ing. Milana Mauera je předložena v rámci studijního programu P2833 Chemie a technologie materiálů oboru 2808V027 Povrchové inženýrství. Práce v rozsahu 106 stran je rozčleněna do devíti kapitol a zabývá se vývojem nových kompozitních materiálů ve formě povlaku s vysokou emisivitou v blízké a střední oblasti infračerveného spektra vlnových délek. Hlavním cílem práce je nalezení vhodné aktivní složky, která zvýší emisivitu výsledného materiálu za vysokých teplot a současně odolá náročným podmínkám, které nastávají v tepelných zařízeních. Práci hodnotím hlavně z pohledu svého zaměření, které je měření optických vlastností a fyzika vysokoteplotních tepelných procesů.

a) zhodnocení významu pro obor

Povlaky s vysokou emisivitou a odolností při vysokých teplotách jsou důležitým prvkem zvýšení přenosu tepla i účinnosti výměníků a jsou zkoumány ve světovém měřítku. Vyvinutí nového povlaku s vysokou emisivitou a dobrými tepelnými a mechanickými vlastnostmi je významným příspěvkem pro tento vědní obor a průmyslové odvětví.

b) vyjádření k postupu řešení problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle

Postup řešení problému je adekvátní a použité metody vhodné. Pouze by bylo dobré zabývat se také materiálovou stránkou pro vysvětlení změn emisivity se změnou složení a s teplotou (viz níže). Splnění cíle práce by to neovlivnilo, ale zvýšil by se přínos pro vědní obor.

c) stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu disertanta

Hlavním výsledkem disertační práce je nalezení vhodné aktivní složky a tedy vytvoření nového kompozitního materiálu pro vytvoření povlaku s vysokou hodnotou emisivity v oblasti vlnových délek 1,5-8 μm . Tento nový materiál byl následně testován i na jiné parametry (tepelné a mechanické) a dosáhl v nich stejných nebo lepších hodnot.

Cíle práce byly tedy splněny. Na druhou stranu by práci prospěl podrobnější rozbor a zhodnocení výsledků. Např. v kapitole 5.6. „Stanovení vysokoteplotní odolnosti“ jsou prezentovány zajímavé výsledky, ale není zde žádné potenciální vysvětlení, co se při zatěžování děje. Byla by zajímavá nějaká diskuse, proč u jednoho povlaku teplota neustále roste a u druhého se ustálí. V kapitole 5.3 jsou prezentovány zajímavé výsledky ohledně změny emisivity při změně koncentrace aktivní složky a v kapitole 5.4 při kombinaci složek (a s teplotou), ale není zde provedena žádná analýza, jaký důvod pro to může být z hlediska materiálu. Ve vědecké práci jde o pochopení podstaty, ne jen o získání dobrého výsledku.

Vzhledem k tomu, že měření emisivity, testování tepelné odolnosti, stanovení tepelné vodivosti a mikroskopie byly prováděny jinými pracovníky (na Západočeské univerzitě a jinde), lze přínos disertanta vidět hlavně v návrhu aktivních složek kompozitu, návrhu experimentů, vytvoření kompozitních materiálů a vzorků a vyhodnocení a zpracování výsledků.

d) další vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Práce je zpracována v obvyklé struktuře v pořadí kapitol shrnující současný stav poznání, definované cíle práce, použité metody zpracování a dosažené výsledky. Práce je zpracována přehledně. Z jazykového hlediska lze vytknout, že jsou občas používány formulace spíše hovorové, než vědecké, např. „neexistuje prakticky významnější rozdíl“ nebo „Kombinace složek neměla ... většího vlivu, dokonce při vysoké teplotě se ... hodnota emisivity rapidně snižovala.“.

Drobné nedostatky práce: 1) Značka α je použita jak pro numerickou konstantu, tak pro pohltivost. 2) Šedé těleso je popsáno chybně (přesně naopak, str. 23). 3) U některých referencí je seznam autorů zkrácen a přidáno „et al.“, i když je počet autorů malý. 4) V práci se mluví o teplotní a tepelné vodivosti bez rozlišení, bylo by dobré sjednotit. 5) Odkazy [55-63] na str. 50 mají být asi [61-69]. 6) Magnetit (S09, str. 73) má emisivitu vyšší než 0,5 – ne naopak (Obr. 39). 7) V kapitole 5.6 chybí popis výkonu laseru v jednotlivých stopách – od jakého do jakého se měnil v jednotlivých stopách. 8) Na str. 95 autor uvádí, že „oba materiály mají naprosto shodnou morfologii povrchu“, což z obrázků nevyplývá. Je tam určitá podobnost. 9) Na str. 97 autor uvádí, že laser „nezanechal na povrchu povlaku žádné viditelné (ani mikroskopické) stopy“, ale na fotce je změna vidět a na mikroskopu není porovnání ukázáno.

e) vyjádření k publikacím disertanta

Seznam publikovaných prací disertanta čítá celkem 13 položek. Jedna práce byla publikována v impaktovaném a jedna v neimpaktovaném odborném časopise. Ostatní publikace byly

prezentovány na odborných domácích konferencích. Požadavky kladené na VaV výstupy studentů v rámci doktorského studia jsou tímto splněny.

f) jednoznačné vyjádření ohledně doporučení disertační práce k obhajobě

Domnívám se, že předloženou prací autor prokázal schopnosti samostatné vědecké práce i schopnosti analyzovat a prezentovat dosažené výsledky. Disertační práci proto (dle zákona č. 111/1998 Sb. §47) doporučuji k obhajobě.

Otázky:

- 1) Proč je spektrální emisivita ocelového substrátu (S01, str. 64) měřená v 1. etapě tvarem podobná povlaku? Proč je v oblasti $1300-700\text{ cm}^{-1}$ výrazně zvýšená emisivita? Kovové materiály mají emisivitu většinou jen pozvolně se měnící s vlnovou délkou (viz. Obr. 7, str. 33). Tvar křivky pro 2. etapu je obvyklejší – nemá propad kolem 1500 cm^{-1} .
- 2) V práci se mluví o vzorku S11 (Baryt, str. 42, 44, 67), ale není ukázána jeho změřená emisivita. Je nějaký důvod, proč není v práci ukázána?
- 3) Vzorek S02 má odlišnou emisivitu pro 1. a 2. etapu (str. 71 a 64, Obr. 39 a 32). Pro vlnočety 3500 cm^{-1} , 1. etapa $\varepsilon=0,70$, 2. etapa $\varepsilon=0,44$. Proč má původní receptura tak odlišné vlastnosti ve dvou etapách?
- 4) Pro vzorky S23 a S24 bylo dosaženo podstatného zvýšení emisivity při zvýšení obsahu aktivní složky KFe (z 0,750 na 0,875 pro 980°C a pro vlnočety 3500 cm^{-1} , vz. S04 a S23). Je to dokonce lepší výsledek než pro nitridy (0,825, vz. S17). Na str. 76 autor ke zjištěnému zvýšení emisivity uvádí „Toto zvýšení však bude pro praktické využití nerentabilní“. Jaké jsou cenové relace surovin aktivní složky? O kolik procent se zvýší cena výsledného produktu? V závěru práce (str. 97) je však uvedeno, že „ani zvýšení obsahu aktivní složky v plnivu, ani kombinace těchto dvou složek nevedlo k dalšímu vylepšení emisivních vlastností.“, což není pravda. Může to autor komentovat?
- 5) Zajímavý výsledek je vyšší emisivita pro směs nitridů oproti čistým nitridům samotným. Bylo by zajímavé zjistit, čím je to způsobeno z materiálového a fyzikálního hlediska. Má k tomu autor nějaké informace a případně návrhy analýz jak to zjistit?
- 6) V čem vidí autor svůj největší osobní přínos na této práci?

V Plzni, 13.11.2017



Ing. Jiří Martan, Ph.D.
Nové technologie - výzkumné centrum
Západočeská univerzita v Plzni