# Emisivní povlaky a jejich použití v energetice

Výzkum prezentovaný v této přednášce se zabývá vlivem složení plniv anorganických kompozitů na výslednou emisivitu a využití této vlastnosti pro energetiku. Do matrice kompozitu byly úspěšně zabudovány mj. i tyto aktivní složky: práškové železo, kaolin, karbid křemíku, karbid bóru, nitrid bóru a nitrid hliníku. Byla zkoumána teplotní stabilita nově vytvořených kompozitů pro teploty do 900 °C. Pro každý vzorek byly s použitím FTIR spektroskopu změřeny závislosti spektrální emisivity na teplotě. Tyto testy prokázaly, že složení plniva je schopné ovlivňovat emisivní vlastnosti v oblasti krátkých vlnových délek infračerveného záření (1,5 až 4,0 µm), a to v intervalu 0,7 až 1,5násobku (měřeno proti referenčnímu vzorku). Provozní testování zjišťovalo změnu tepelných toků ovlivněnou použitím emisivních povlaků na sálavé plochy přehříváků. Byl stanoven tepelný tok do jednotlivých trubek teplosměnné plochy přehříváku, nejprve bez povlaku a poté s emisivním povlakem. Byl zjištěn cca 5 až 10% přírůstek. Nyní je ověřováno, do jaké míry mohl tento přírůstek ovlivnit odstranění nápeků před aplikací povlaků.

#### 1. ÚVOD

106

S rozmachem používání kompozitních materiálů v různých průmyslových odvětvích se v posledních dvaceti letech začaly pro ochranu teplosměnných ploch, které jsou namáhány žárem, nápeky, abrazí a vysokoteplotní korozí používat anorganické systémy na bázi křemíku. Pokud tyto povlaky mají současně také vysokou míru emisivity, mohou se používat v různých tepelných zařízeních (průmyslové pece, spalovací komory, výměníky tepla, atd.) pro dosažení vyšší energetické účinnosti a ekonomiky provozu [1-5].



Obr. 1 – Schéma přenosů tepla v tepelném zařízení

Předmětem celosvětového výzkumu a vývoje v této oblasti jsou jak nové materiály povlaků a technologie jejich nanášení [6], tak teoretické analýzy i praktické využití těchto povlaků [7, 8]. Požadován je i vývoj nových metod a zařízení pro měření emisivit [9].

#### 1.1. Emisivita

#### 1.1.1 Přenos tepla sáláním

V tepelném zařízení je tepelná energie spalin přenášena do teplosměnných ploch třemi způsoby: vedením, prouděním a sáláním (zářením, radiací). Všechny běží souběžně, ale nad teplotou 700°C se stane sálání dominantním. Je též třeba vědět, že převážná část tepelné energie absorbované přehřívákem nepochází z pecní atmosféry, ale ze stěn. Obrázek č. 1 ukazuje schéma tepelného zařízení a způsobů přenosů tepla mezi jednotlivými částmi. Podstata radiačního přenosu tepla je odlišná od přenosu vedením a konvekcí. Tepelné sálání je vyzařováno každým tělesem a je přenášeno elektromagnetickým vlněním bez spoluúčasti výměnného média. Je třeba rozlišovat mezi sáláním plynů a pevných látek. Pevné látky absorbují a sálají spojitě, plynné látky jen v určitých nespojitých frekvenčních pásmech. Ve spalinách to jsou hlavně tříatomové plyny ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ ). Celková pohltivost spalin je pak dána součtem jednotlivých zplodin ve spalinách s korekcí na možné překryvy společných frekvencí (pásů) [10, 11].



z energetické bilance toků mezi povrchem reálného tělesa a jeho okolím, a 2) na emisivitě povrchu. Ta je závislá na teplotě (ale vztah mezi emisivitou a teplotou není definitivní, záleží na povrchových parametrech a na vlnové délce), materiálovém složení, drsnosti povrchu, tloušťce povlaku, vlnové délce a fyzikálních parametrech povrchu [9]. Tento příspěvek se zabývá právě složením materiálu.

Spektrální emisivita ukazuje hodnotu emisivity v závislosti na vlnové délce záření a totální emisivita udává celkový výkon vyzařovaný na



Obr. 2 – Přehřívák PP III, před očištěním a aplikací



Obr. 3 – Přehřívák PP III, po aplikaci emisivních povlaků

#### 1.1.2 Emisivita

Emisivita materiálu (obvykle psaná jako  $\varepsilon$ nebo e) je schopnost povrchu tělesa vyzařovat teplo. Emisivita je definována jako poměr intenzity vyzařování konkrétního materiálu k intenzitě vyzařování černého tělesa při stejné teplotě. Je také mírou schopnosti materiálu vyzářit absorbovanou energii. Černé těleso má hodnotu  $\varepsilon = 1$ , zatímco reálný objekt má  $\varepsilon < 1$ . Emisivita je bezrozměrná veličina.

Množství tepla předané sáláním závisí hlavně na dvou faktorech: 1) na povrchové teplotě, což je údaj o stavu termodynamické rovnováhy vyplývající všech vlnových délkách [12]. Spektrální oblast tzv. blízkého IČ pásma (1,5 až 6,4 µm) je zajímavá pro pece s provozní teplotu 700 až 1 200°C. Při těchto teplotách a při těchto vlnových délkách je totiž přenášeno až 90 % tepelné energie [7].

#### 1.2. Cíle výzkumu

Cílem této práce bylo zjistit vliv použití různých plniv (nebo aktivních složek) na emisivitu kompozitního povlaku. Byly vytipovány různé látky s vysokou emisivitou a vysokou tepelnou odolností. Tyto látky byly zabudovány do matrice kompozitu a byla analyzována teplotní stabilita plniv a měřena

107

Vzorek	Aktivní složka
S01	(pouze substrát – ocel)
S02	Oxid chromitý
S04	Práškové železo
S06	Oxid chromitý & práškové železo
S15	Kaolín
S16	Karbidy (SiC & B4C)
S17	Nitridy (BN & AIN)

Tab. 1 – Seznam vzorků pro měření emisivity

Vzorek Aktivní složka					
Bez povlaku (SO1)	(pouze substrát – ocel)				
A (S04)	Práškové železo				
B (S06)	Oxid chromitý & práškové železo				
D (S16)	Karbidy (SiC & B <sub>4</sub> C)				
C (S17)	Nitridy (BN & AIN)				

Tab. 3 – Seznam vzorků pro provozní měření v kotli

spektrální emisivita. U vzorků, u kterých byla zjištěna vysoká emisivita, byly provedeny provozní testy jejich vlivu na přenos tepla.

Výzkumy s emisivitou se zabývaly také jiné výzkumné týmy, ale tyto výzkumy byly založeny na jiném materiálu a zkoumaly jiné parametry. Například tým Babrekar a kolektiv studoval vliv velikosti plniva v kompozitním systému hliník/polystyren a zjistil, že emisivita klesá s použitím větších částic nebo vloček hliníku (desítky mikrometrů). Zatímco když použili hliníkové nanočástice (10 až 50 nm), nedošlo k žádné změně emisivity ve srovnání s běžně používanou velikostí hliníkových částic (jednotky mikrometrů) [13]. Tým Yu a kolektiv dospěl k podobným závěrům. Zkoumali velikost a tvar částic mědi v kompozitním systému měď/EPDM (ethylen-propylen-dien monomer). Kulová částice mědi o průměru jednotek mikrometru vykazovala nejvyšší emisivitu, zatímco s rostoucím průměrem částice (kulový tvar, desítky mikrometrů) nebo změnou tvaru částice (destička, plátek) emisivita rychle klesala [14]. Obě tyto studie byly prováděny pouze v rámci běžné teploty.

Tým Dan a kol. se zabýval emisními povlaky pro vysokoteplotní aplikace. Tyto povlaky byly založeny na anorganických plnivech a zkoumali Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub> a SiC. Také oni dosáhli celkové emisivity 0,90 [6].

#### 2. ANORGANICKÝ KOMPOZIT BG HITCOAT

Výzkum se provádí na povlacích BG HitCoat (výrobce BG SYS HT s.r.o, Pardubice, Česká republika), což jsou anorganické kompozitní systémy na bázi křemíku. Povlaky byly vyvinuty k ochraně teplosměnných ploch vystavených žáru. Jsou vodou-ředitelné a zasychají při normální teplotě. Složení kompozitu lze přizpůsobit na různé druhy substrátů.

Aktivní složka	Čistota [%]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Teplota tání [°C]	Teplota varu [°C]	Velikost částic d10 [µm]	Velikost částic d50 [µm]	Velikost části d90 [µm]
Oxid chromitý (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	98.0	5.1	2,435	4,000	0.8	1.5	3.0
Železo (Fe0)	97.8	7.9	1,538	2,861	0.5	1.0	4.0
Kaolín (Al <sub>4</sub> (OH) $_8$ Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )	95.6	1.8	-	-	2	5	12
Karbid křemíku (SiC)	95	3.2	2,730	-	5	9	20
Karbid bóru (B <sub>4</sub> C)	98	2.5	2,763	-	4	10	21
Nitrid bóru (BN)	98	2.1	2,973	-	1	3	6
Nitrid hliníku (AIN)	99	3.3	2,200	2,517	1	3	5

Tab. 2 – Aktivní složky a jejich vlastnosti

[%]	20°C	300°C	500°C	700°C	900°C
Fe <sup>0</sup>	100	98	< 1	< 1	0
Maghemit ( $\gamma$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0	2	40	12	10
Magnetit (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	0	0	0	8	10
Hematit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0	0	60	80	80

Tab. 4 – XRD analýza. Obsah železa a jeho oxidů ve vzorku SO4 po vypálení na různé teploty



Obr. 4 – SEM snímky vzorků vypálených na 500 °C

#### 2.1. Pojiva

Pojiva nejsou skutečnými roztoky. Jde o směs síťujících činidel, silikagelu a kovových oxidů (Me<sup>2+</sup>). Pojivo poskytuje flexibilitu a adhezní vlastnosti, tepelnou a chemickou odolnost a celistvost nátěru. Adheze ke kovovému povrchu nebo vyzdívce je zabezpečena pomocí velmi silné chemické vazby. Při-Inavost je opravdu velmi vysoká (cca 15 MPa).

#### 2.2. Plniva

Plniva se přidávají do pojiv pro zlepšení fyzikálních vlastností povlaků. Pro jejich použití má však zásadní význam tvar a velikost částic. Velikost částic bude mít vliv na tvrdost a celistvost nátěru a musí být také v souladu s uvažovanou tloušťkou povlaku.

 $TiO_2$  a CeO<sub>2</sub> se používají pro zlepšení adheze povlaku k podkladu. Křemen, železo a karbidy se používají k zajištění tvrdosti povlaků, které mají mít tepelnou odolnost. Vláknité materiály poskytují zvýšenou pevnost v tahu, což je důležité jak při schnutí či vypalování, tak při normálním použití.

#### 2.3. Aktivní složky

Aktivní složky jsou speciálním typem plniv. Do kompozitů se přidávají, aby zajistily konkrétní fyzikální vlastnosti. Jejich účelem není zlepšení mechanických a chemických vlastností, jako je abrazivzdornost nebo odolnost proti korozi, ale ovlivnění optických a/nebo teplosměnných vlastností povrchu nebo těles [15, 16, 17, 18, 19, 20]. Podmínkou však je, aby byly úspěšně zabudovány do matrice tohoto kompozitního systému.

#### 2.4. Příprava vzorků

#### 2.4.1. Příprava vzorků pro měření emisivity

U všech vzorků bylo použito stejné pojivo. Pojivo tvořilo 45 až 55 obj.%. Zbytek objemu tvořilo plnivo, přičemž aktivní složka tvořila 20 až 30 obj.% v plnivu. Seznam vzorků je uveden v tabulce č. 1. Vzorek S02 odpovídá původnímu složení kompozitu. Seznam a vlastnosti jednotlivých aktivních složek jsou uvedeny v tabulce č. 2.



Obr. 5 – Vyvedení termočlánků z neotápěného prostoru kotle (a), umístění modulů (b)



Obr. 6 - SEM snímky vzorku SO4 (práškové železo) vypáleného na různé teploty



Obr. 7 – Relativní spektrální závislost emissivity měřených vzorků vůči emisivitě referenčního povlaku pro teplotu 750°C

Předem připravené směsi plniv byly vpraveny do vodného roztoku pojiv. Správné dispergaci částic bylo napomáháno ultrazvukem. Míchací nádoba byla vybavena ultrazvukovou sondou. S pomocí této metody jsou částice plniv stejnoměrně rozptýleny ve vzniklé suspenzi. Vzniklá suspenze byla vzduchovým stříkáním nanesena na ocelové terčíky. Povlak zasychal při normální teplotě. Tloušťka suché vrstvy byla cca 150 µm.

#### 2.4.2. Příprava vzorků pro provozní měření v kotli

Pro provozní měření byl vybrán kotel G230. Nástřik povlaku byl proveden na jeden šot (desku) přehříváku PP III. Při chladnutí kotle byly všechny šoty omyty tlakovou vodou. Byl zdokumentován stávající stav (viz obr. 2) a jeden šot byl poté opískován. Vybrané kompozitní systémy (viz tab. 3) byly na jednotlivé trubky nanášeny pomocí štětce (viz obr. 3).

#### 2.5. Testování teplotní stability

Na obrázku č. 4 jsou fotografie všech vzorků po vypálení na teplotě 500°C. Není vidět žádné poškození. Jelikož vzorek S04 obsahoval železo, byl podroben podrobnému zkoumání tepelné stability. Vzorky (S04) byly vypalovány v laboratorní muflové peci. Vypalování začalo při pokojové teplotě a teplota byla zvyšována po 5°C za minutu. Cílová teplota (300, 500, 700 a 900°C) byla udržována ještě další tři hodiny, pak byla pec vypnuta. Poté byl povlak analyzován pomocí skenovacího elektronového mikroskopu SU6600, Hitachi (SEM) a rentgenového difraktometru X-Ray Difractometer X'Petr PRO MPD a PANalytical (XRD).

## 3. METODY MĚŘENÍ

3.1. Měření spektrální emisivity

Byla použita přímá a porovnávací vysokoteplotní FTIR metoda (infračervená spektrometrie s Fourierovou transformací) [21, 22, 23]. Ohřev vzorků byl realizován 400W vláknovým laserem se skenovací hlavou. Povrchová teplota vzorku byla během celého měření snímána termovizní kamerou A320. Pro její přesné stanovení byl na polovinu každého vzorku nanesen referenční povlak ZYP Coating Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se známou teplotní závislostí pásmové emisivity a změřenou spektrální emisivitou. Spektrální závislost vyzařování jednotlivých povlaků a substrátu byla v rozsahu teplot 400 až 980°C měřena proti černému tělesu nastavenému na teplotu shodnou s povrchovou teplotou vzorku. Výsledkem je pak absolutní spektrální průběh emisivity všech měřených vzorků v rozsahu měřených teplot.

#### 3.2. Měření přenosu tepla v kotli

Přenos tepla je vždy složen ze složky radiační, konvekční a kondukční. Oddělit tyto složky od sebe je poměrně složitá záležitost, která se v reálném zařízení obtížně stanovuje. Proto bylo rozhodnuto provést měření na reálném zařízení a porovnat výsledky z plochy ošetřené emisivním povlakem a neošetřené. Cílem bylo porovnat obě plochy v dlouhodobém provozu. Základní úlohou bylo stanovení tepelného toku do jednotlivých trubek teplosměnné plochy. Lze předpokládat, že větší přestup a prostup tepla se projeví vyšší teplotou páry na výstupu z trubky. Teplota páry na vstupu do přehříváku PP III v komoře PK6 byla měřená provozním teploměrem. Pro účely měření efektivity povlaku a jeho vyhodnocení bylo měření na vstupní komoře doplněno o nezávislé měření VŠB-TU Ostrava.

Měření povrchových teplot jednotlivých výstupních trubek přehříváku PP III bylo provedeno v neotápěném prostoru v mezistropu kotle, před vstupem trubek přehříváku do komory PK7 (viz obr. 5a). Povrchové teploty trubek byly měřeny pomocí termočlánků typu "K" o průměru 2 × 0,5 mm





# Speciální technologie





### Zaměření firmy:

- Realizace technologických celků
- Realizace TZB klimatizace a chlazení
- Servisní činnost v oblasti průmyslových čerpadel a míchadel
- Prodej průmyslových čerpadel a míchadel zastoupení Scanpump, Scaba

Sídlo společnosti: Speciální technologie, s.r.o., U Staré elektrárny 1881/4, 710 00 Ostrava - Slezská Ostrava, telefon: +420 595 536 300, fax: +420 595 536 311 Výroba: Speciální technologie, s.r.o., Průmyslová 1415/5, 735 35 Horní Suchá

www.spectech.cz

110



Obr. 8 – Porovnání spektrálních emisivit měřených vzorků a substrátu při teplotě 900 °Ct

s dvojitou skleněnou izolací. Termočlánky byly navařeny na očištěný povrch trubky kondenzátorovou svářečkou se slabým výbojem. Ke snímání a sběru dat byl použit systém FieldPoint. Požadované veličiny (v tomto případě teploty) byly snímány pomocí vstupních modulů, připojených k modulům komunikačním (viz obr. 5b). Ke sběru dat, jejich on-line zobrazení a vyhodnocení byl použit software LabVIEW. Pro tento konkrétní případ byla vytvořena aplikace, pomocí které bylo všech 44 teplot v intervalu 10 sekund odečítáno, zobrazováno do grafu a zapisováno ve formě textového souboru na harddisk použitého notebooku.

#### 4. VÝSLEDKY

#### 4.1. SEM snímky a XRD analýza

Bylo sledováno, co se stalo s železem zabudovaným do kompozitní matrice po výpalu na určitou teplotu. Strukturální změna železa způsobená přeměnou na jinou oxidickou fázi byla potvrzena jak vizuálně (změna barvy a SEM obrázky), tak i XRD analýzou. Barevné změny byly pozorovány pouhým okem. Tyto barevné změny jsou v souladu se strukturálními změnami železa, které jsou vyvolány oxidací nebo tepelně indukovaným rozkladem na další oxidickou fázi [19, 20]. Na obrázku č. 6 můžeme vidět, že matrice kompozitu začne tát kolem teploty 700°C a při teplotě 900°C se na povrchu vytvoří výkvět oxidických vrstev.

Podle analýzy XRD (rentgenová prášková difraktometrie) se v první fázi (už při teplotě 500°C) oxiduje železo na maghemit ( $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) a ve druhé fázi (až při teplotě 900°C) hlavně na hematit. Při vyšších teplotách se vytvořilo také malé množství magnetitu (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), který má mnohem tvrdší strukturu a zvyšuje tak odolnost proti abrazi (viz tab. 4).

#### 4.2. Spektrální emisivita

Spektrální emisivita zkoumaných vzorků v relativním poměru k emisivitě referenčního povlaku je znázorněna na obrázku č. 7. Tento graf porovnává výsledky získané při teplotě 750°C. Ukazuje se, že pro vlnové délky záření nad 6 µm neexistuje prakticky žádný rozdíl mezi jednotlivými vzorky. Vliv rozdílného složení (aktivní složky) je zřejmý zejména pro vlnové délky pod 4 µm. Relativní rozdíly jsou 0,7 až 1,5 násobek vůči hodnotě emisivity referenčního povlaku. Nejvyšší spektrální emisivitu vykazuje vzorek S04 (železo) a S17 (nitridy), nejnižší hodnotu vzorek S15 (kaolín). Emisivita původní receptury (S02) je mezi těmito hodnotami.

Absolutní spektrální emisivita zkoumaných vzorků je znázorněna na obrázku č. 8. Tento graf porovnává výsledky získané při teplotě 900°C.



Obr. 9 – Závislost tepelného příkonu na výkonu kotle, šot č. 11 (A1-A14), šot č. 9 (C1-C14), povlak A (SO4) - (B2, B6, B10), povlak B (SO6) - (B3,B7,B11), povlak C (S17) - (B4,B8,B12), povlak D (S16) - (B5,B9,B13), bez povlaku (B1,B14



Obr. 10 – Stav po 3 600 hodinách provozu. Pohled na spodní část šotu cca 10 minut po odstavení (šipkami označena 13. trubka, 10. šot, s povlakem typu D, zcela bez nálepu)

Ukazuje se opět, že pro vlnové délky záření nad cca 7 µm existují jen velmi malé rozdíly mezi jednotlivými vzorky. Nejvyšší spektrální emisivitu vykazují opět vzorky S04 (železo) a S17 (nitridy). Ocelový substrát (S01) má v rozsahu krátkých vlnových délek (1,3 až 4,0 µm) emisivitu blízkou povlakům s vysokou emisivitou, s rostoucí vlnovou délkou emisivita v porovnání s povlaky výrazně klesá [23].

#### 4.3. Provozní měření v kotli

Pro vyhodnocení měření je třeba přijmout dohodu, že průtok jednotlivými trubkami je v závislosti na výkonu kotle rovnoměrný a úměrný výkonu kotle. Měření teplot bylo provedeno před zhotovením povlaků po dobu cca 14 dnů a po provedení povlaků po dobu cca 5 týdnů. Došlo k výraznému nárůstu tepelného příkonu jak u všech trubek s povlakem, tak i u pouze otryskaných trubek (zbavených nápeků strusky). Nárůst se pohyboval mezi 5 a 10 % (viz obr. 9). Lze konstatovat, že na zvětšení tepelného příkonu po realizaci povlaků má vliv také očistění povrchu trubek a zmenšení nánosů popílku a strusky na teplosměnných plochách. Z měření je zřejmé, že plocha III. přehříváku má charakteristiku konvekční plochy, tzn., že s rostoucím výkonem teplota přehřátí roste. To je pravděpodobně způsobeno výraznou turbulencí spalin pod stropem spalovací komory.

#### 5. VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Testy ukázaly, že složením plniva lze významně ovlivnit hodnotu emisivity hlavně v oblasti krátkých vlnových délek (do 6 µm). V rozsahu vlnových délek 6,0 až 20,0 µm vykazují všechny měřené povlaky obdobné hodnoty emisivity (0,90 až 0,95). Vzorky, které obsahovaly jako aktivní složku práškové železo nebo nitridy, měly nejvyšší spektrální emisivitu. Emisivita těchto povlaků byla výrazně vyšší než emisivita originální receptury. Při provozním měření tepelných příkonů do přehříváku reálného kotle bylo zjištěno, že příkon po použití emisivních povlaků vzrostl o 5 až 10 %. Jelikož však musela být kvůli aplikaci odstraněna nemalá vrstva nánosu strusky, lze nárůst příkonu přičítat ze značné části tomuto úkonu. Jak velká je to část by měla ukázat další etapa měření.

Poděkování: Tento výzkum je realizován za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu České Republiky prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci projektu FR-TI1/273 "Výzkum a vývoj vysoceemisivních kompozitních povlaků pro vysokoteplotní aplikace".

> Petr Kalenda, Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek, Fakulta chemicko-technologická, Univerzita Pardubice,

> > Milan Mauer, BG SYS HT s.r.o.,

111

Bohumír Čech, Katedra energetiky, Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

Pozn. Seznam použité literatury bude uveřejněn spolu s tímto článkem na www.allforpower.cz v rubrice Technologie a materiály.

#### High-emissivity coatings and their use in power generation

The research presented in this lecture deals with the influence of inorganic composite filler compositions on the resulting emissivity and use of this property for power generation. The following active ingredients, among others, were successfully integrated into the composite matrix: powdered iron, kaolin, silicon carbide, boron carbide, boron nitride and aluminum nitride. The thermal stability of newly formed composites was tested for temperatures of up to 9,000 °C. For each sample, using an FTIR spectroscope, correlations were measured of the spectral emissivity at the given temperature. These tests have proven that the filler composition is capable of influencing the emissive properties in the area of short wave lengths of infrared radiation (1.5 to 4.0  $\mu$ m), in an interval of 0.7 to 1.5-times (measured against reference sample). Operational testing ascertained a change in heat flows influenced by using emissive coatings on radiant surfaces of reheaters. The heat flow was determined into individual pipes of the reheater's heat-exchanging surface, first without the coating and then with the emissive coating. A 5 to 10% growth was ascertained. Currently it is being verified to what measure this growth could influence removal of slag deposits prior to applying the coating.

#### Эмиссионные защитные покрытия и их использование в энергетике

Исследования, представленные в этом материале, касаются, прежде всего, влияния состава наполнителей неорганических смесей на последующую эмиссию и их использования в энергетике. В матрицу композита были успешно внесены, кроме прочего, и такие активные составляющие, как порошковое железо, каолин, карбид кремния, карбид бора, нитрит бора, нитрит алюминия. Была исследована тепловая стабильность вновь созданных покрытий для температур до 9000С. Для каждого образца была, с использованием FTIR-спектроскопа, измерена зависимость спектрального коэффициента излучения от температуры. Эти исследования показали, что состав наполнителей может влиять на эмиссионные свойства в области коротких волновых отрезков инфракрасного излучения (1,5 - 4,0 µm), и это в интервале 0,7 - 1,5 раза (измерено по представленному образцу). Тестирование при эксплуатации определило изменение тепловых потоков под влиянием эмиссионных покрытий, нанесённых на излучающую поверхность пароперегревателя. Был установлен тепловой ток к отдельным трубкам теплообменной площади пароперегревателя, вначале без покрытия, а затем с эмиссионным покрытием. Был зафиксирован 5 %— 10% прирост. Сейчас определяется, до какой степени мог этот прирост повлиять на отстранение нагара перед нанесением покрытия.