

ZVYŠOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI KOMPONENT UHELNÝCH ELEKTRÁREN A SPALOVEN UŽITÍM NiCr TERMÁLNÍCH METALICKÝCH NÁSTŘIKŮ

ENHANCING THE LIFE OF COMPONENTS OF COAL-FIRED POWER PLANTS AND WASTE INCINERATORS USING THERMAL METALLIC NiCr SPRAYS

Jiří Janovec, Jakub Horváth a Michal Junek

ČVUT, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo nám. 13, 121 35 Praha 2

Abstrakt

Experimentální hodnocení kvality NiCr a NiCrMoW termálních metalických povlaků IGS 5-450 a 5-470 bylo provedeno na nově vytvořených povlacích bez provozního zatížení. Kvalitu byla hodnocena dle homogenity, tvrdosti a tloušťky vrstvy, třecí odolnosti a odolnosti při vnikací (indentační) a vrypové zkoušce. Dále dle mikrostrukturální a mikrochemické homogenity povlaku, schopnosti vytvoření kompaktních pasivačních bariér, zabránění propustnosti povlaku a tím zabránění koroznímu rozpouštění povlaku a sulfataci podkladové oceli. Výsledky byly porovnány se studií EPRI, hodnotící žárové nástřiky na kotelních membránových stěnách po 38.000 hodinách provozu v uhelné elektrárně Duke Energy. Naše výsledky ukázaly, že aplikace nástřiku MetalSpray (Smartarc) při použití nástřiku IGS 5-450 vede k prodloužení životnosti kotelních komponent, pracujících v teplotním intervalu 315 až 480 °C i aplikačním možnostem nástřiku 5-570 v prostředí spaloven.

Experimental quality assessment of NiCr and NiCrMoW thermal metal coatings IGS 5-450 and 5-470 was performed on newly created coatings without operating load. The quality was evaluated according to the homogeneity, hardness and thickness of the layer, frictional resistance and resistance in the indentation and scratch test. Furthermore, according to the microstructural and microchemical homogeneity of the coating, the ability to create compact passivation barriers, to prevent the permeability of the coating and thus to prevent the corrosive dissolution of the coating and the sulphation of the underlying steel. The results were compared with an EPRI study evaluating thermal metallic sprays on boiler membrane walls after 38,000 hours of operation at the Duke Energy coal power plant. Our results have shown that MetalSpray (Smartarc) application with IGS 5-450 spraying leads to extended lifetime of boiler components operating in the temperature range of 315 to 480 °C and application rates of 5 - 570 spraying in incinerator environments.

Úvod

Kvalita NiCr žárových nástřiků byla hodnocena v laboratořích EPRI (Electric Power Research Institute, USA) v r. 2009. Byly porovnány 3 nástřiky IGS (Integrated Global Services) nanášeného technologií MetalSprayTM a to 5-601, 5-450 a 2-200. Dále 4 variace nástřiků AMSTAR a to 649, 888/644, 888 a 888-tlustý. Hodnoceny byly korozní úbytky na kotelních membránových stěnách po 38.000 hodinách provozu v uhelné elektrárně Duke Energy [1].

Výsledky exponovaných nástřiků ukázaly, že nástřik IGS 5-450 je z uvedených nástřiků korozně i mechanicky nejodolnější, po uvedeném provozu zůstal prakticky neporušený.

V letech 2009 až 2016 byl tento nástřik aplikován na řadě uhelných elektráren a spaloven v USA, Japonsku, Indii a v Evropě. Podstata odolnosti proti sulfataci takto aplikovaného žárového nástřiku na podkladové feriticko perlitické žárovevné oceli byla popsána v publikaci [2].

Vzhledem k agresivnějšímu prostředí spaloven byl nově vyvinut žárový nástřík IGS 5-470, který lze charakterizovat jako žárový nástřík NiCrMoW. Ten především díky vyššímu obsahu Mo má výrazně vyšší ekvivalent PRE odolnosti pittingové – bodové korozi proti Cl aniontům. Legující prvky jako jsou uvedené Mo, W a případně Ti nemohou tvořit pasivační filmy typu Cr₂O₃. Tyto prvky vytváří především intermetalické fáze, či karbidy, vedoucí ke zvýšení žárovečnosti a erozivní odolnosti povlaků.

Provedené experimentální zkoušky

Na kvalitu povlaku bylo usuzováno dle homogenity, tvrdosti a tloušťky vrstvy, třecí odolnosti a odolnosti při vnikací (indentační) a vrypové zkoušce. Dále dle mikrostrukturální a mikrochemické homogenity povlaku, schopnosti vytvoření kompaktních pasivačních bariér, zabránění propustnosti povlaku a tím zabránění koroznímu rozpouštění povlaku a sulfataci podkladové oceli

Dodaný stav vzorků dokumentuje obr. č. 1 (vzorky č. 5-450). Každá sada vzorků 1 x 3“ byla rozdělena na dvě položky. Ve vrchní části obrázků je zalito v dentacrylu pro mikrostrukturální a mikrochemické hodnocení 6 kusů příčných řezů. Metalografické vzorky měly označení čísla 1 až 6. Pod nimi je uloženo 5 kusů modře zbarvených a lakem ochráněných vzorků pro hodnocení kvality přilnavosti nástříku.

Z naměřených hodnot tloušťky nástříku (obr. č. 2) je patrná její rovnoměrnost, při výrobě nástříků v automatu. Ta se pohybuje mezi 0,56 až 0,60 mm. Byla srovnatelná pro oba hodnocené druhy.

Z obrázku č. 3 je patrné, že nástřík vzorku 5-450 vytváří pásové uspořádání oddělené interlamelárními zřejmě zoxidovanými filmy oxidu chromitého. Ten chrání oblasti se zvýšenou koncentrací niklu proti sulfataci. Nástříkovou technologií “Smartarc“ je navíc dosaženo vhodného rozložení mezioxidických kanálek, neboť tyto nejsou propojeny a tím je zabráněno propustnosti povlaku a následné sulfataci podkladové oceli.

Z obr. č. 4 a 5, dokumentujících rozhraní mezi základní ocelí a žárovým nástříkem obou nástříků, je patrný mechanismus vzniku přilnavosti k základnímu materiálu, tj. kvalita adheze nástříku k podkladu. Dochází k lokálnímu natavení povrchu podkladové oceli a vlivem rozdílných hodnot součinitelů tepelné roztažnosti mezi nástříkem a uhlíkovou ocelí i k plastické deformaci povrchu méně pevné oceli. Plastickou deformaci povrchu podkladu ovlivňuje i přechod korundové otryskávání.

Mezi podkladovou feriticko perlitickou ocelí a NiCr nástříkem nevzniká difuzní mezivrstva. Na rozhraní není patrný ani pozvolný mikrostrukturální gradient, změna struktury probíhá skokem. Přitom strukturální přechod u obou nástříků je velmi podobný. U obou druhů nástříků se objevují v oblasti adhezního spoje částicové či plenovité lamelární oxidy, později identifikované jako oxidy hliníku a křemíku.

Tvrdosti a průběhy mikrotvrdostí přes rozhraní žárových nástříků byly měřeny v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1 na kalibrovaném stacionárním mikrotvrdoměru LECO M-400-G1 metodou dle Vickerse zatížením 1 kg (HV1) a 100 g (HV0,1). Naměřené výsledky, dokumentované např. grafem na obr. č. 6 ukázaly, že střední hodnoty HV0,1 jsou u povrchového nástříku vzorků 5-470 o cca 200 HV vyšší, než u nástříku 5-450.

Zkouška adheze a dalších módů porušení nástříku byla provedena scratchtestem na instrumentu CSM Revetest Xpress při nárůstu zatížení (progressive load test) 1-100N, rychlostí 10mm/min, hrot Rockwell r=200nm dle doporučení EN 1071 – 3. Obr. 7 dokládá, že módy porušení nástříku 5450 jsou rovnoměrnější. Ani u jednoho z nástříků, vzhledem k jejich tloušťkám se nepodařilo stanovit nejvyšší kritickou sílu (HLc) pro adhezní odtržení vrstvy.

Indentační zkouška kvality nástřiku byla provedena Mercedes testem v návaznosti na Rockwellovu zkoušku při předtížení 98,1N s dotížením na 1471N dle ČSN EN ISO 6508-1. Charakteristické módy porušení okolí Rockwellova vtisku pro nástřik 5-470 dokládá obr. č. 8.

Tribologická zkouška byla provedena metodou pin-on disku Tribometrem THT CSM+ instruments v návaznosti na DIN 50 324 a ASTM G 99 - 95a. Kluzné opotřebení bylo hodnoceno na rádius stopy 4 mm při zátěžné síle 5N 4000 otáček a při F=10N 6000 otáček. Vyhodnocovány byly lineární rozměry drážky a kontrolovány rozměry kuličky, $r = 6$ mm. Objemové a hmotnostní úbytky nebyly stanoveny. Výsledky dokumentuje např. obr. č. 9. Součástí tribologické zkoušky bylo i vyhodnocení dynamického součinitele tření. Výsledky doložily, že odolnost proti opotřebení je u obou druhů nástřiků 5-470 a 5-450 srovnatelná, nižší šířku třecích drážek vykazoval tvrdší nástřik 5-470. Opotřebení kuličky bylo zanedbatelné, výsledné opotřebení drážky je opotřebením nástřiku.

Pomocí řádkovacího elektronového mikroskopu JEOL JSM 5410 s EDS analyzátozem byla posuzována jemnozrnnost nástřiků a jejich nepropustnost s ohledem na formaci zúžených kanálků v interlamelárních oxidech chrómu. Po mikrostrukturální analýze pokračovala lokální a následně i liniová chemická EDS analýza všech vzorků obou druhů nástřiků. Vzhledem k limitovanému rozsahu tohoto příspěvku budou některé z výsledků [3] ukázány při ústní prezentaci.

Závěry

Experimentální hodnocení kvality termálních metalických povlaků IGS bylo provedeno na nástřicích 5-470 a 5-450. Hodnoceny byly pouze nově vytvořené povlaky bez provozního zatížení.

Výsledky potvrdily, že mikrostrukturální a mikrochemické vlastnosti nového nástřiku IGS 5-450 jsou zcela ekvivalentní experimentálním výsledkům, získaných v EPRI na exponovaných vzorcích. Je zřejmé, že aplikace uvedené technologie Smartarc při použití nástřiku IGS 5-450 vede k prodloužení životnosti kotelních komponent, pracujících v teplotním intervalu 315 až 480 °C.

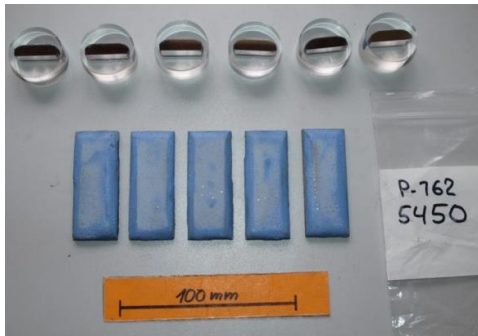
Chemické složení uvedených termálních nástřiků je srovnatelné s chemickým složením Ni slitin typu Inconel a Incoloy, superslitin, používaných v potrubních systémech či nádobách v ropném, případně v chemickém průmyslu na běžné průmyslové louhy a kyseliny např. při skladování ropy či při výrobě chemických hnojiv. Vzhledem k mechanickým vlastnostem žárových povlaků a vyšší teplotní stabilitě je možné jimi nahrazovat plastové či pryžové povlaky. V současnosti lze očekávat příslušné reference z reálných provozů, či experimentální hodnocení svědečných vzorků z těchto aplikací.

Poděkování

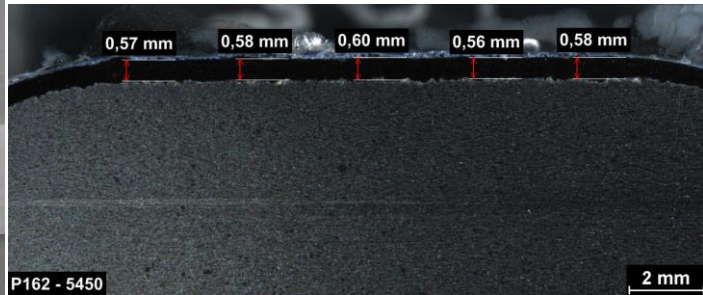
Tento příspěvek vznikl za podpory MPO ČR v rámci řešení projektu č. LO1207 programu NPU1.

Literatura

- [1] CARDOSO, S., GINN, D.: *EPRI Waterwall samples Analysis, Memorandum*, 10/20/2009.
- [2] HALL, I., SPALENKA, D.: *NiCr povlaky na nižších úrovních spalovací komory (agresivní prostředí síry a vanadu)*, All for Power, pp. 54-57, 2016
- [3] JANOVEC, J., JUNEK, M., HORVÁTH, J.: *Kvalita nástřikové vrstvy IGS a její použití na energetických jednotkách*, Energetika Most 2017, Řež



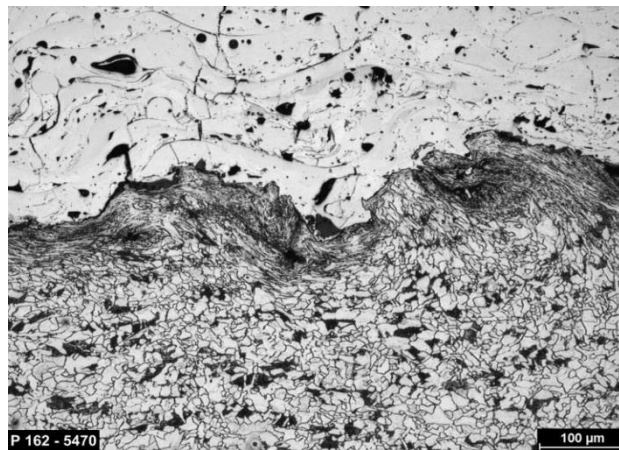
Obr. 1 Vzorok P 762 5450



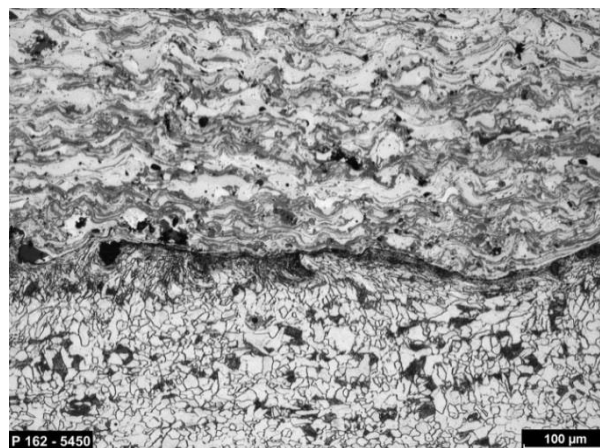
Obr. 2 Tloušťka nástřiku 5-450



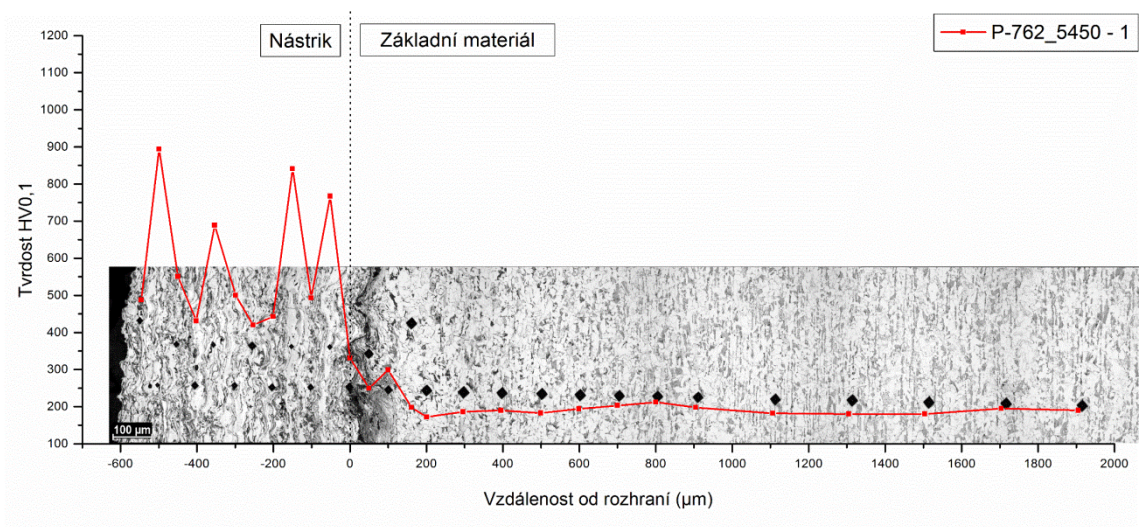
Obr. 3 Makrostrukturální pohled na nástřik a jeho rozhraní



Obr. 4 Mikrostruktura nástřiku 5-470



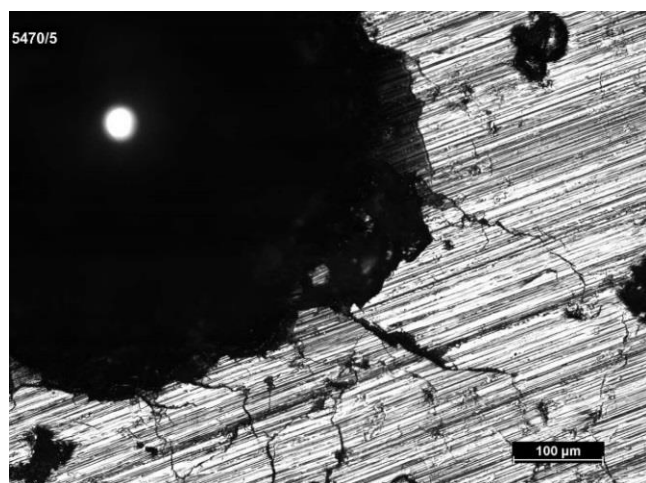
Obr. 5 Mikrostruktura nástřiku 5-450



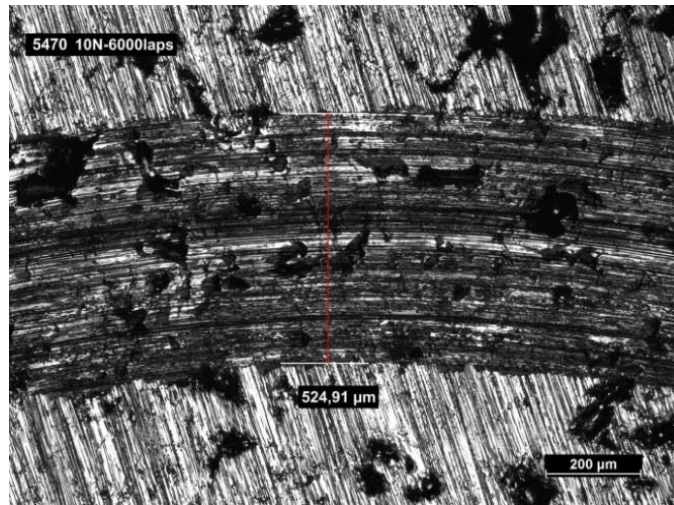
Obr. 6 Průběh mikrotvrdości HV0,1



Obr. 7 Scratchtest nástriku 5-450



Obr. 8 Detail okolí vtisku 5-470



Obr. 9 Opotřebení po 5470 10N a 8000 ot