

# ANALÝZA APLIKACE SONICKÝCH METALICKÝCH NÁSTŘIKŮ NA BÁZI Ni-Cr

## THE ANALYSIS OF THE CORRECTIVE Ni-Cr BASED SONIC COATINGS

Lucie Pilsová <sup>a)</sup>, Jakub Horváth <sup>b)</sup>, Jiří Janovec <sup>a)</sup>, Ladislav Horváth <sup>b)</sup>, Michal Junek <sup>b)</sup> a Vojtěch Smola <sup>a)</sup>

<sup>a)</sup> České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství, Karlovo náměstí 13, 120 00 Praha

<sup>b)</sup> UJP PRAHA a.s., Nad Kamínkou 1345, 156 10, Praha – Zbraslav

### Abstrakt

Ve spolupráci s IGS Europe jsou vyvíjeny nástřikové systémy určené k prodlužování životnosti teplosměnných ploch a varných stěn kotlů energetických zařízení a spaloven. Článek se zabývá analýzou aplikovaných metalických nástřiků na bázi Ni-Cr nanášených metodou sonického obloukového stříkání. Analýzy vlastností a následná porovnání byla provedena na laboratorně exponovaných vzorcích a na vzorcích provozně degradovaných. Pro účel degradace byly vzorky umístěny ve spalovně komunálního odpadu a spalovně biomasy.

### Abstract

The new sonic coating systems are being developed in cooperation with IGS Europe. The application of these coatings is meant to serve as a repair to extend the operating lifetime of the heat exchangers and boiler walls in the incineration plants and other energy-producing facilities. This paper shows an analysis of the mentioned arc deposited sonic Ni-Cr based metallic coatings. Testing and the following comparison were performed on two sets of samples. One set was thermally exposed under controlled laboratory conditions and the second set was placed directly in the flue gas stream in the waste and biomass incineration plants.

### Úvod

Tento příspěvek vznikl v návaznosti na článek [1], kde byla popsána problematika korozních úbytků nástřiku se složením na bázi NiCrMoW. Funkcí tohoto nástřiku, jak také uvádí [1], je zejména prodloužení životnosti bariérovou ochranou podkladového materiálu.

Prováděné zkoušky se zaměřily na hodnocení nástřiku, a to jak z hlediska jeho složení a případných změn při provozu, tak i z hlediska jeho kohezních a adhezních vlastností.

### Technologie a materiály

Nanášení nástřiku probíhá metodou podobnou tzv. elektrometalizaci, kde je přídavný materiál ve formě dvou drátů natavován elektrickým obloukem, který hoří mezi dráty. Takto vzniklé částice jsou proudem stlačeného vzduchu nanášeny na základní materiál. Na rozdíl od běžně užívaných metod jsou zde částice nanášeny sonickou rychlostí, kterou zajišťuje speciálně navržená tryska.

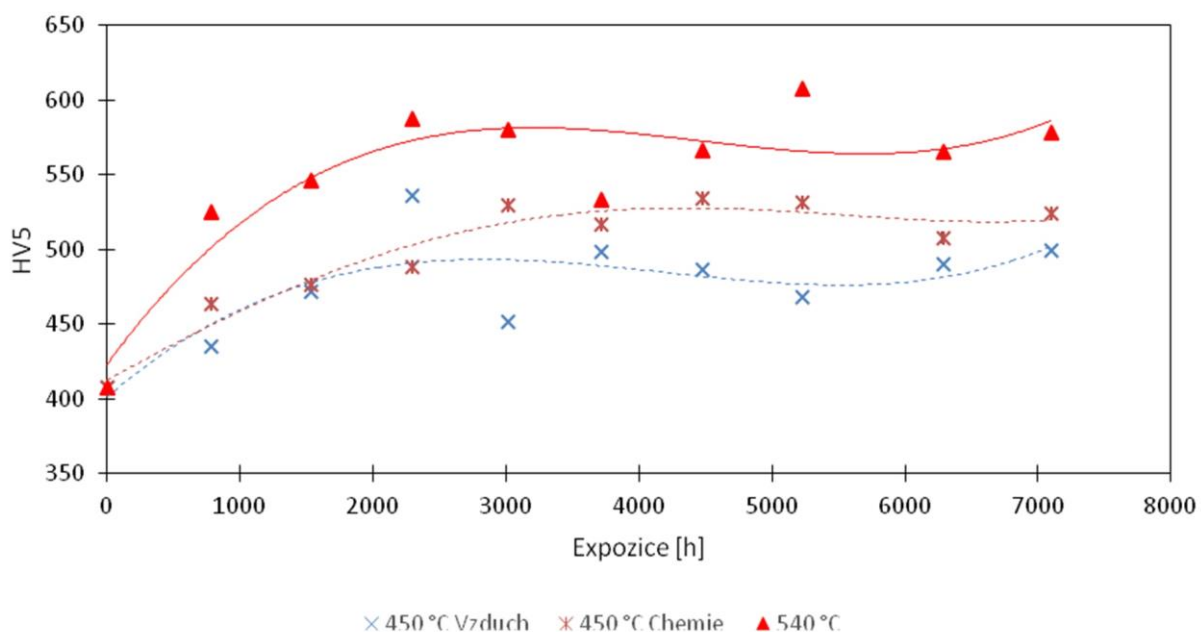
Základním podkladovým materiálem vzorků určených k laboratorní expozici je feriticko-perlitická ocel ve formě plechu o tloušťce 5 mm. Pro provozní expozici byl nástřik nanesen na trubky z žárovečné oceli třídy 15 dle ČSN o vnějším průměru 32 mm a délce 1250 mm s jedním zaslepeným koncem.

### Laboratorně exponované vzorky

Laboratorní expozice probíhala při teplotách 450 a 540 °C. Pro tyto účely byly vyrobeny vzorky o rozměrech 10 × 15 mm z plechu o tloušťce 5 mm. Gravimetrická zkouška byla provedena na vzorcích za teploty 540 °C, zatímco vzorky vystavené teplotě 450 °C byly rozděleny na dvě sady – jedna byla umístěna v peci pouze za působení pecní atmosféry, druhá sada byla

zasypána krystalickým práškem na bázi Cl, F a S v uzavřených nádobkách. Z výsledných analýz vyplývá, že simulace v provozu vznikajících zplodin solí neměla na vlastnosti nástřiku výrazný vliv.

V případě obou expozičních teplot byly vzorky vyjmuty z pece v určitých časových intervalech, a to přibližně po 750 hodinách v období deseti měsíců. Z každého vyjmutého vzorku byl připraven metalografický výbrus (na něm pořízeny snímky mikrostruktury na světelném a SEM mikroskopu, změřena tloušťka vrstvy a analyzováno složení pomocí EDS) a na zbytku vzorku byla provedena tribologická zkouška metodou pin-on-disk. Z naměřených hodnot tvrdostí (HV5 – měřeno ve středu tloušťky nástřiku na příčném řezu, vždy 10 vtisků, průměrná směrodatná odchylka SD = 34) je možné konstatovat, že v průběhu laboratorní expozice dochází u nástřiku k jeho postupnému vytvrzení. K maximálnímu vytvrzení dochází v případě expozic 450 °C „chemie“ a 540 °C v časovém období 3000-4000 h, zatímco expozice 450 °C „vzduch“ má po 3000 h proměnlivý charakter (obr. 1).



Obr. 1: Graf průběhu hodnot tvrdosti HV5 nástřiku IGS-5470 po teplotní expozici

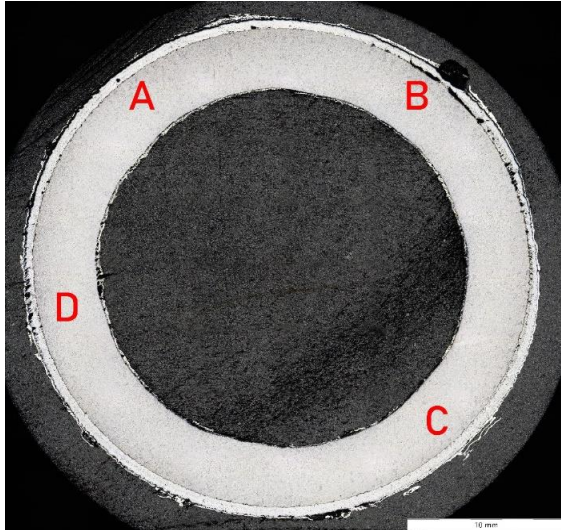
### Provozně exponované vzorky

Tyče opatřené nástřikem IGS-5470 (NiCrMoW) byly umístěny v kotlích ve spalovně biomasy ZEVO Malešice a EC Jindřichův Hradec. Tyče spolu s měřicími termočláňky byly zavedeny do kotlů izolovanou průchodkou tak, aby nebyl narušen chod kotle a byla dodržena bezpečnost provozu uvnitř kotelny.

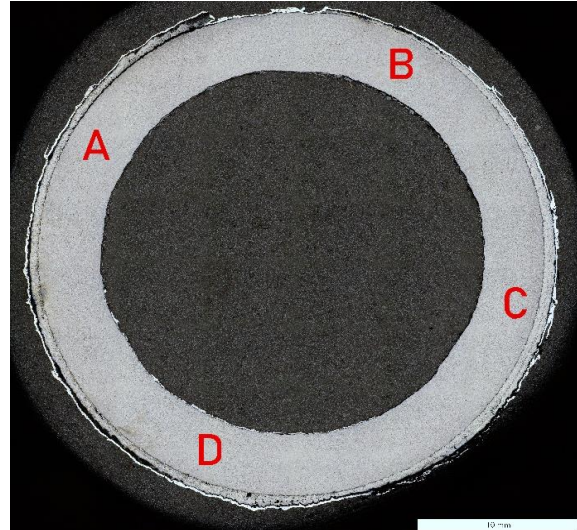
V případě expozice ZEVO Malešice (Kotel K3) bylo experimentální zařízení (tyč a termočlánek) vystaveno průměrné teplotě 534 °C po dobu 3111 hodin (po odečtení odstávek), v EC Jindřichův Hradec (Kotel K5) jsou umístěna dvě experimentální zařízení, ovšem pro letošní posouzení bylo vyjmuta pouze jedno (expoziční stanoviště č. 1), které prošlo v loňském roce expozicí 1355 hodin při průměrné teplotě 512 °C a v letošním roce 3066 hodin při průměrné teplotě 466 °C.

Z přehledových snímků (obr. 2 a obr. 3) příčného řezu exponovanými trubkami je patrné, že k většímu úbytku tloušťky nástřiku došlo ve spalovně ZEVO Malešice.

Na snímcích jsou viditelné vrstvy ochranné hliníkové folie, která je dle normy [2] aplikována před zalisováním a výbrusem z důvodů následného hodnocení tloušťky nástřiku na světelném a elektronovém mikroskopu.

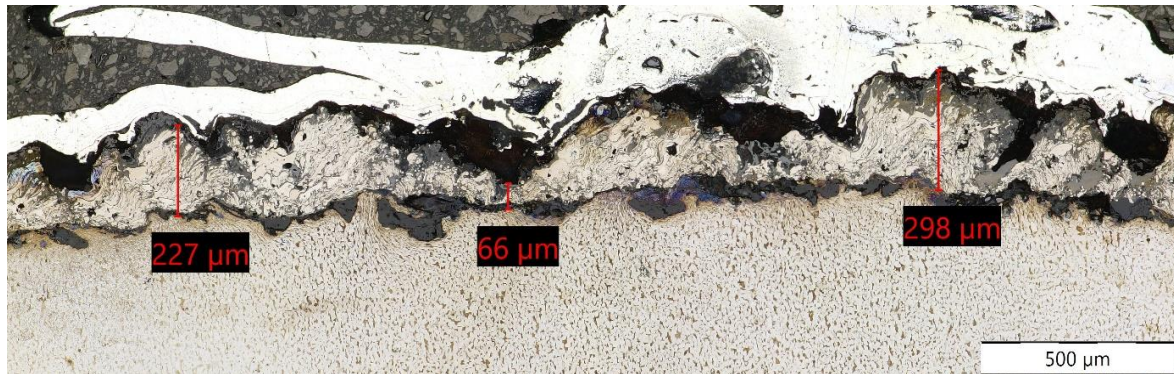


Obr. 2: Příčný řez (pracovní označení začátek) trubkou EC Jindřichův Hradec (C – náběh, A – úplav)

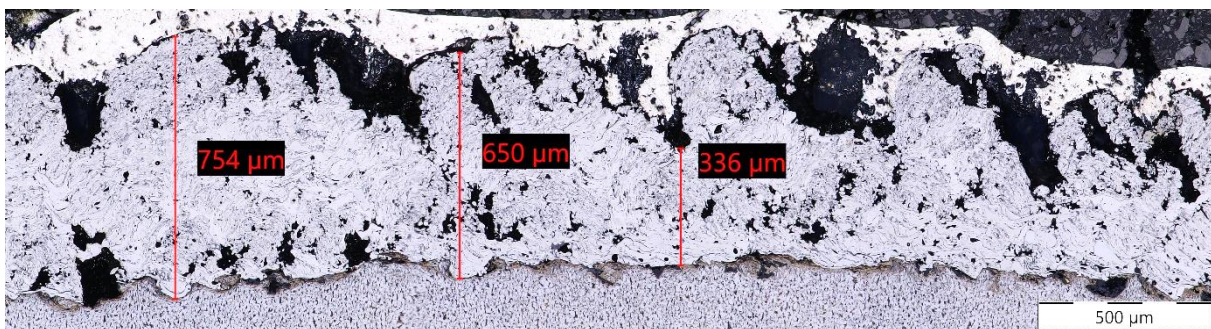


Obr. 3: Příčný řez trubkou (pracovní označení konec) ZEVO Malešice (C – náběh, A – úplav)

V ZEVO Malešice docházelo k větším úbytkům nástřiku (obr. 4) a následně i k jeho úplné delaminaci a obnažení základního materiálu (obr. 6). Snímek na obr. 5 z EC Jindřichův Hradec dokumentuje zatím odolávající nástřik, který se ovšem nachází ve fázi postupné ztráty adheze k základnímu materiálu.

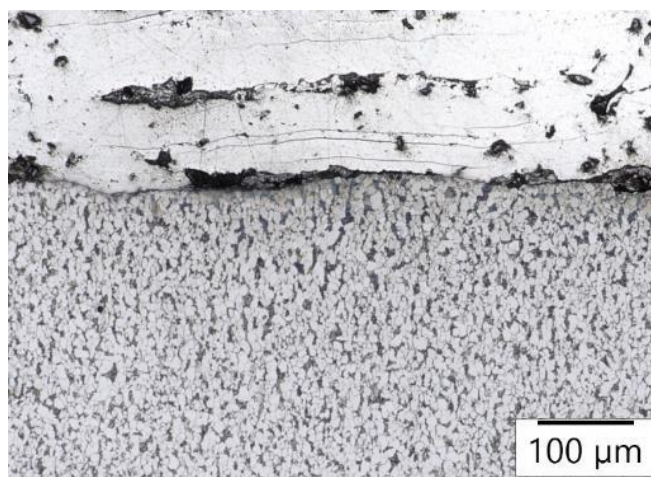


Obr. 4: Detail úbytku nástřiku v místě D (bíle ochranná vrstva alu folie), ZEVO Malešice



Obr. 5: Detail rozrušování nástřiku v místě D (EC Jindřichův Hradec)





Obr. 6: Úplné obnažení podkladové oceli ZEVO Malešice (bílá vrstva – ochranná alu folie)

## Závěr a diskuse

Z analýzy laboratorní expozice vyplývá, že hlavní příčinou selhání bariérové ochrany není abrazivní účinek spalin, ale působení korozních činitelů, které pronikají necelistvostmi nástřiku až k podkladovému materiálu, který je následně korozně napaden.

Toto potvrzuje také provozní expozice ve spalovnách biomasy. Nástřík byl namáhán v různých směrech v závislosti na toku spalin, kdy znatelné úbytky tloušťky nástřiku vykazovala nejvíce náběhová strana trubky (přibližně 300 μm z celkových 750 μm), naopak na straně úplavu dochází k nejnižším úbytkům (150 μm). Vzhledem ke značným rozdílům v tloušťce samotného nástřiku i v neexponovaném stavu jsou daleko podstatnějšími změny strukturní. Na straně kolmé k vektoru proudění (náběh) a v místě úplavu probíhají mikrostrukturní změny – spaliny prostupují nástřikem směrem k základnímu materiálu, rozšiřují se dutiny a kavity, v závěrečné fázi dochází i k postupnému odpadávání nástřiku.

Z laboratorní expozice vyplývá, že nástřík vlivem provozních teplot postupně vytvrzuje, příčina zatím nebyla mikrostrukturálně analyzována. Provozní expozice v EC Jindřichův Hradec ukazuje, že nástřík IGS-7450 ochrání podkladový materiál po dobu maximálně jedné topné sezony.

Důležitým poznatkem pro optimalizaci nástřiků je nutnost úpravy chemického složení, případně parametrů technologie tak, aby jednotlivé vrstvy nástřiku obsahovaly co nejméně defektů a necelistvostí. Jednou z možností je zvýšení hustoty kladených vrstev, které mohou díky svému rozložení zamezit spojování dutin, které vznikají v průběhu procesu nanášení.

## Poděkování

Tento příspěvek vznikl na základě výsledků získaných za podpory Technologické agentury České republiky v rámci probíhajícího projektu TH04020487.

## Literatura

- [1] Janovec, J., Horváth, J., Junek, M. (2019): Vývoj a vlastnosti termálních metalických nástřiků k prodloužení životnosti komponent spaloven, tepláren a energetických celků. 13. konference *Zvyšování životnosti komponent energetických zařízení v elektrárnách*. Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o., Srní, str. 11-14. ISBN 978-80-261-0741-5
- [2] ČNI (2004): *ČSN EN ISO 1463, Kovové a oxidové povlaky – Měření tloušťky povlaku – Mikroskopická metoda*. Technická norma, Český normalizační institut, Praha.