

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název: Žárově stříkané povlaky používané v korozně působícím prostředí
Autor: Ing. Zdeněk Česánek
Školitel: doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D.
Oponent : Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž

Předložená disertační práce má 276 stran, přičemž od strany 234 je použita literatura a od str. 242 příloha, s kterou má celkem 8 kapitol. Práce se zabývá hodnocením šesti vybraných žárových povlaků, které mají splňovat podmínky korozní odolnosti. Tyto povlaky byly porovnány s nitridovanou ocelí Wr. Nr. 1.4923, která se používá ve společnosti Škoda Power s.r.o. Doosan Company pro aplikace parních turbín. Nitridace byla provedena bez aktivace a s aktivací povrchu pomocí TiH (odstranění oxidické vrstvy – lepší difúze dusíku do povrchu). Další, čím se disertační práce zabývala, byl vývoj a odzkoušení metody testování a vyhodnocení povrchů s povrchovými úpravami. V tomto směru došlo k doktorandovo posunu od jeho práce ke státní doktorské zkoušce (pro práci k SDZ jsem byl jmenován oponentem). Řešené problematice prospělo, že doktorand vytvořil vlastní metodiku testování ve vazbě na zvolené průmyslové aplikace.

Disertační práce obsahuje všechny potřebné úvodní náležitosti (anotaci, obsah, seznam použitých zkratk a symbolů). V první úvodní kapitole jsou stručně představeny principy žárových nástřiků s tím, že je zde uvedeno prvotní rozdělení na cermetové a slitinové typy. Jako přínos hodnotím uvedení cílů disertační práce, které jsou jasně popsány v logickém sledu. Formální výhrady mám k vývojovému diagramu, kde postrádám zpětnou vazbu mezi konečnými vlastnostmi a parametry použité technologie. To se týká i cílů disertační práce, neboť k vytvořeným povlakům se v celé práci přistupuje jako k neměnným bez patřičných vazeb na jejich technologii výroby. Na str. 7 je uvedena tabulka se součástmi, které mohou být v systému parní turbíny opatřeny žárovými nástřiky. Z přehledu vyplývá, že vedle vysoké teploty je důležitá i odolnost proti opotřebení za vysokých teplot. Tomuto hodnocení se však tato práce nevěnuje, bohužel není uveden důvod této absence. Z toho vyplývá i můj závěrečný dotaz. Druhá kapitola obsahuje literární rešerši. Začíná korozí, jejími principy, druhy a hodnocením. S ohledem na důležitost chování nástřiků při vyšších teplotách by bylo vhodné věnovat pozornost i korozním procesům při těchto podmínkách, např. změna elektrochemického potenciálu jednotlivých materiálů v závislosti na teplotě. Pozitivně hodnotím zařazení vysokoteplotní koroze. Další kapitola se věnuje žárovým nástřikům. Tato kapitola je poměrně obsáhlá a mnohdy nejsou všechny informace využity k danému tématu disertační práce. Takto obsažná kapitola má pouze charakter encyklopedického souhrnu znalostí bez úzké návaznosti na experimentální program, což zbytečně snižuje poměrně vysoký kredit disertační práce. Zařazení povrchových ochranných součástí v energetickém průmyslu hodnotím velmi pozitivně, tak jako kapitolu o moření součástí parních turbín. S ohledem na rozsáhlost práce se měla pozornost v praktické části zaměřit na hodnocení odolnosti ve vazbě na kyselinu fluorovodíkovou (HF).

Třetí kapitolou, začínající na str. 64, je experimentální část. Je škoda, že při tak rozsáhlé práci nebyla věnována alespoň krátká pozornost popř. odkaz, na zdůvodnění volby daných druhů žárových povlaků. Následují jednotlivé kapitoly pojednávající o principech zkoušek. Tyto kapitoly mohly být také zařazeny do teoretické části, popř. měly být ve vazbě na provedené experimenty a jejich výsledky.

V další (4.) kapitole začínající na str. 101 jsou již uvedeny výsledky. Pro popis žárových vlastností cermetových nástřiků by bylo vhodné provést kvantifikaci množství pórů. Sice to částečně zachycuje jejich měrná hmotnost, avšak tento údaj je nedostatečný, když chybí informace o měrné hmotnosti bez pórů. Výsledky přilnavosti nástřiků mají nízkou vypovídající schopnost. Podle mého názoru mělo být zvoleno jiné namáhání popř. jiná zkouška. Výsledky tvrdosti a mikrotvrdosti nejsou shodné, autor to vysvětluje citlivostí mikrotvrdosti na strukturní heterogenity. Z hlediska směrodatné odchylky průměrných hodnot mikrotvrdostí není tato heterogenita potvrzena. Pravděpodobně bylo změřeno málo hodnot (7 měření) nebo byla vybírána místa, která tyto heterogenity nepostihla. Rovněž by bylo přínosem, kdyby byla větší pozornost věnována snímkům z řádkovacího elektronového mikroskopu popisující mechanismus opotřebení povrchu. Jsou sice uvedeny srovnání mezi nástřiky slitinovými a cermetovými, avšak právě u cermetových se měla pozornost věnovat stavu pojiva a degradačním procesům. Autor to zmiňuje v diskusi výsledků (5. kapitola), avšak je to pouze konstatování bez hlubšího rozboru. Za velmi zajímavé a možná i diskutabilní považuji výsledky EDX analýzy, kde jsou velmi přesně zachyceny koncentrace uhlíku a u povlaku NiCrBSi dokonce i koncentrace boru. Výsledky působení kyselin na žárové nástřiky by bylo vhodné zpracovat tabulkově. Pro sledování degradačních procesů bylo zvoleno poměrně velké množství mořících prostředí, přičemž je otázkou, které se v současné době používají a jak budou rozsáhlé výsledky disertační práce v praxi využity. Tak jako v případě sledování teplotních degradačních procesů bylo by vhodné i zde zjistit, jak se exploatací změnily mechanické vlastnosti. V kapitole diskuze výsledků bych očekával větší provázanost mezi dosaženými zkušenostmi a zkušenostmi vyplývající z literární rešerše. I přes tento nedostatek považuji tuto kapitolu spolu se závěrem za zdařilou, neboť pracuje s dosaženými výsledky. U závěru si cením i toho, že jsou uvedeny návrhy pro další výzkum.

V seznamu použité literatury je uvedeno 97 položek. Jedná se o aktuální zdroje, které poskytují všechny potřebné informace k dané problematice. Je škoda, že není přímo v disertační práci uveden seznam publikační činnosti doktoranda. Díky tomu, že nejen v literární rešerši, ale i v praktické části se odvolává na svoje publikace, lze soudit, že jeho publikační činnost je dostatečně bohatá.

Grafická stránka disertační práce je velmi zdařilá, nemám žádné připomínky k její úpravě. Nevyskytují se žádné zásadní gramatické chyby a překlepy. Pouze občas autor použil místo technického způsobu vyjadřování ve 3. osobě větu s užitím slovesa v 1. osobě. Použité obrázky (vlastní i převzaté) mají odpovídající úroveň a v textu jsou správně začleněny. V některých případech by mohla být citace častější, neboť není jednoznačné, pro jaký text se citace vztahuje. Citace odpovídá normě ČSN ISO 690.

Disertační práce Ing. Zdeňka Česánka prokazuje vědecké schopnosti kandidáta. Doporučuji proto, aby byl připuštěn k obhajobě a aby mu byl po úspěšné veřejné rozpravě a správném zodpovězení položených dotazů udělen titul Ph.D. (dle zák. č. 111/1998 Sb. § 47).

Otázky k obhajobě:

1) S ohledem na heterogenitu žárových povlaků by mohly nastat podmínky pro vznik elektrochemické koroze. Byla u těchto povlaků tato koroze zjištěna? Jak se se změnou teploty změní elektrochemický potenciál jednotlivých (vybraných) prvků? Proč jste s využitím potenciostatu nevěnoval pozornost elektrochemickým potenciálům žárového povlaku a podkladového materiálu? (Měření potenciostatem nedovoluje zachytit jednotlivé strukturní části, avšak větší oblasti - ocel a komplexně nástřík ano).

2) Jak se změní mechanické vlastnosti nástříků po jednotlivých zatíženích (teplotní, korozní, působením roztavených solí, kyselin)?

3) Jaký žárový nástřík je pro aplikaci ochrany součástí v parní turbíně nejvhodnější a za jakých podmínek?

V Plzni, 7. listopadu 2015



Prof. Dr. Ing. Antonín Kříž

Oponentní posudek

doktorské dizertační práce pana Ing. Zdeňka Česánka

na téma

Žárově stříkané povlaky používané v korozně působícím prostředí

Místo vzniku dizertační práce: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní

Obor: Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

Školitel: doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D., FST ZČU v Plzni

Místo a doba předložení dizertace: Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava, říjen 2015

Oponent: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof.h.c., Fakulta strojní, VŠB-TU Ostrava

Katedra mechanické technologie-345

17. listopadu 15, Ostrava – Poruba

708 33

Dizertační práce je zaměřena na hodnocení žárově stříkaných povlaků používaných v korozně působícím prostředí. Jedná se o řešení aktuální problematiky povrchové úpravy a současně dlouhodobé protikorozní ochrany podkladových ocelových materiálů pracujících v extrémních podmínkách korozního prostředí, teploty, tlaku apod., materiálů používaných zejména v energetickém průmyslu. Porovnává výsledky experimentálních zkoušek několika žárových nástřiků o různém chemickém složení aplikovaných na povrch ocelového substrátu moderní metodou vysokorychlostního stříkání HVOF. Z výsledků experimentálních prací a diskuze výsledků vyplývá, že idea o typu materiálu žárového nástřiku, který ochrání substrát antikorozi oceli s nitrídaným povrchem v každém korozně agresivním prostředí je na základě informací uvedených v dizertaci naprosto nereálná. Na základě této skutečnosti je uveden návrh dalšího výzkumu v oblasti žárově stříkaných povlaků.

Dizertační práce je velmi rozsáhlá, má celkem 288 stran, 8 kapitol a řady podkapitol, 97 literárních odkazů. Hlavní obrázky a grafy, tabulky a vybrané typické fotografie jsou zařazeny vhodně do textové části, ostatní jsou zařazeny do příloh (celkem 12 příloh na 35 stranách). K práci byl dodán autoreferát, který je stručným obsahem dizertace o celkovém počtu 92 stran. Odlišuje se uvedením vlastních publikací doktoranda. V dizertační práci je uvedeno celkem 13 publikací v seznamu použité literatury a není uveden seznam vlastních publikací, ve kterých je doktorand autorem nebo spoluautorem oproti autoreferátu, kde uvádí 37 těchto publikací.

Teoretická část práce obsahuje 63 stran ve dvou kapitolách a řadě podkapitol. Velmi stručně je popsán současný stav problematiky včetně cílů výzkumu, celkově v počtu 7 stran. Vývojový diagram na str. 4 je napsán velmi malým písmem, těžce bez brýlí a lupy čitelný. Dále je uvedena v tabulce č. 2 velmi zajímavě značka podkladové oceli formou Wr.Nr. 1.4923. Číselné označení oceli 1.4923 odpovídá původnímu značení oceli dle ČSN a jedná se o ocel 17 134. Chemické složení postrádá zejména obsah uhlíku, fosforu, případně dalších doprovodných prvků. Pokud se jedná o nově vyvinutou ocel, která koresponduje s původní ocelí 17 134, měla být tato skutečnost v rozboru současného stavu uvedena včetně správného chemického složení dle příslušných ČSN EN norem. Literární rešerše je obsáhlá a působí dojmem chaotického sběru informací s ne vždy logickým výkladem problému. K této části práce mám řadu připomínek.

Experimentální část práce obsahuje 144 stran. V této části postrádám v úvodu stručný návrh, neboli seznam metodiky a postupu experimentálních prací. Doktorand popisuje jednotlivé zkušební metody včetně použitých zkušebních vzorků ihned, což opět působí dojmem neuspořádanosti a nepřehlednosti. Popisy uvnitř obrázků jsou v některých případech uvedeny velmi malým písmem, špatně čitelné. Číslování rovnic je chaotické a neodpovídá danému pořadí rovnic v textu. Popisy metalografického hodnocení jsou v některých případech nepřesné. K této části práce mám řadu připomínek.

Obsáhlá diskuze výsledků a závěry vedou k hodnocení nereálnosti nalezení typu žárového nástřiku, který odolává agresivnímu koroznímu prostředí. Na základě této skutečnosti lze konstatovat, že i negativní výsledek experimentu je výsledek, který pomůže v dalším řešení problematiky a rozvoji vědního oboru v oblasti povrchového inženýrství. V této části dizertační práce postrádám kapitolu přínosu řešení pro společenskou praxi.

Dle výpisu z databáze Web of Science má doktorand jako autor či spoluautor publikováno 8 příspěvků a v databázi Scopus 9 příspěvků.

Připomínky a otázky k dizertační práci:

Poděkování spolupracovníkům je vhodnější uvést v závěru. Velký počet spolupracujících budí dojem, že práce nebyla zpracovaná samostatně. V seznamu značek a symbolů jsou popsány zkratky anglických názvů, ale postrádám např. u korozní zkoušky jak je vyjádřena ve zkratce korozní zkouška. Číslování stránek dle předpisu mělo být až od úvodu a to číslem 13 a ne 1. Anotace obsahuje zejména popis kapitol práce oproti uvedení stručné problematiky řešení a základních výsledků experimentů. Věty nejsou po gramatické stránce v některých případech dokončené, podobně je tomu u slov, str. 2 a str. 3.;

Str. 2 – Rozpory v hodnocení výzkumu, kde se uvádí, že výzkum je omezený a poté uvádí, že několik organizací v ČR výzkum provádí. Podceňování práce v oblasti nástřiků u nejmenovaných organizací v ČR;

Str. 4 – Vývojový diagram – malé písmo;

Str. 5 – Zmatečný popis důvodu výzkumu. Nitridace není jen způsob tepelného zpracování, ale patří mezi chemicko – tepelné zpracování. Jaký má význam nitridace v praxi – uveďte. Vysvětlete pojem pracovní prostředí a jak s tím souvisí vůle v konstrukci turbíny;

- Str. 6 – Postrádám označení oceli podle platné normy ČSN EN 10020;
- Str. 7. – Ocel z tabulky č. 2 obsahuje méně než 11,8% Cr, což je doporučená minimální hodnota pro odolnost v korozním prostředí;
- Str. 8 – Vysvětlete pojem stability stavu u kovu s neuspořádanou strukturou, o kterého doc. Nováka se jedná, není uvedeno plné jméno a tituly, není uveden odkaz na literaturu v citování definice koroze, vysvětlete čeho se týká hodnota 1mm za rok;
- Str. 9 – Pro jaký elektrolyt může být zvýšena propustnost – vyvětlete;
- Str. 12 – Postrádám v textu k obrázku č. 2, že je materiál v kontaktu s NaCl a H₂O;
- Str. 15 – Nedostatečně a chaoticky popsána mezikrystalová koroze nerezavějících ocelí, působí dojmem neznalosti problematiky;
- Str. 16 – Selektivní koroze probíhá jem na povrchu materiálu nebo také uvnitř – vysvětlete;
- Str. 18 – Vysvětlete pojem brakická voda;
- Str. 19 – Vysvětlete popis oceli FeCr18Ni12-15Mo3;
- Str. 27 - Obrázky špatně čitelné;
- Str. 32 – Je ještě vyšší hodnota časová než 16 hodin zkoušky?;
- Str. 34 – Nadpis kapitoly neodpovídá obsahu textu;
- Str. 38 – Chybí číselné označení rovnice;
- Str. 39 – Vysvětlete pojem oxidický vměstek v žárovém povlaku;
- Str. 40 – Postrádám uvedení % hodnoty pórů v nástřiku pro zajištění korozní ochrany;
- Str. 41 – Vysvětlete, jaký tvar má indentor u zkoušky tvrdosti dle Rockwella;
- Str. 42 – Jaký tvar indentoru je uveden na obrázku č.16;
- Str. 42 – Nepřesně definovaná adheze, není uveden odkaz na definici tření;
- Str. 45 – Vysvětlete lomovou houževnatost keramiky, na čem závisí;
- Str. 46 – Chybí číslování rovnice;
- Str. 49 – Chybí mezera mezi slovy v názvu kapitoly.
- Str. 49 – Vysvětlete o jaký konkrétní způsob nitridace se jedná, z obsahu textu jednoznačně nevyplývá;
- Str. 53 – Náhlý přechod k problematice galvanických povlaků, proč? Mělo být uvedeno, že nástřiky mohou nahradit galvanické povlaky na bázi chromu;
- Str. 60 – Vysvětlete, co je podstatou moření v oblasti povrchových úprav. Z textu vyplývá, že se více jedná o odmašťování.
- Str. 62 – Vysvětlete, jakou sůl neobsahují odpadní vody;
- Str. 89 – Chybné číselné označení rovnic;

Str. 91 – Jaká byla výše teploty v korozní komoře;

Str. 102 – Jaká byla pórovitost povlaku v % a jaké bylo použité leptadlo; Vysvětlete princip aktivace pomocí TiH – v čem spočívá;

Str. 106 – Obr. 49 – jedná se o mikro nebo makro strukturu oceli, není viditelná hranice zrn, velikost zrn, struktura, není uvedeno leptadlo;

Str. 110 – Chybí číslování rovnice;

Str. 114 – V jakých jednotkách se uvádí drsnost Ra – tabulka č.12;

Str. 113 - Tabulka č. 25 - špatně čitelný popis prvku v prvním sloupci, jedná se o Y-ytrium?;

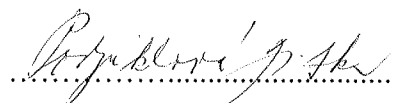
Str. 243 – 248 – Špatně čitelná výkresová dokumentace, malé písmo;

Str. 252 – 254 – Není uvedeno u popisu fotografie leptadlo.

Závěr

Dizertační práce pana Zdeňka Česánka souvisí s problematikou kvality antikorozi ochrany žárově stříkaných povlaků a jejich použití v agresivním korozním prostředí pro dlouhodobou ochranu povrchu nerezavějící oceli. Práce obsahuje značné množství naměřených hodnot parametrů tvrdosti, přilnavosti, drsnosti vybraných povlaků, ale nejsou uvedeny tloušťky povlaků u jednotlivých vzorků. Práci lze hodnotit jako obsáhlý souhrn dosud dostupných informací a výsledků experimentálních měření žárově stříkaných povlaků, uspořádaných do jednotlivých kapitol, po formální stránce s občasným výskytem gramatických chyb v textu a použitím malého písma špatně čitelným pro popis některých obrázků a grafů. Diskuze výsledků neuvádí společenský přínos pro praxi. I přes uvedené připomínky splnila dizertační práce svůj účel, neboť z výsledku hodnocení je zřejmé, jak obtížné je nalezení optimálního složení ochranného povlaku pro aplikaci na korozivzdornou ocel pracující v podmínkách agresivního korozního prostředí. Práce přispěla k rozšíření poznatků v oblasti technologie žárových nástřiků. Splňuje požadavky kladené na dizertační práce a podmínky stanovené Zákonem (č.11/98Sb. §47) o vysokých školách, proto hodnocenou **dizertační práci doporučuji k obhajobě**. Po úspěšné obhajobě doporučuji Ing. Zdeňku Česánkovi udělit titul Ph.D.

V Ostravě – Porubě dne 12.11.2015



Doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc., prof.h.c.