

**NOVÉ TECHNOLOGIE
VÝZKUMNÉ CENTRUM**
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

OPONENTNÍ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Autor práce: Ing. Pavla Klufová

Název práce: Odolnost proti degradaci laserem navařených austenitických vrstev

Disertační práce Ing. Pavly Klufové je předložena v rámci doktorského studijního programu N2031 Strojní inženýrství oboru 3911V016 Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Práce v rozsahu 139 stran je rozčleněna do deseti kapitol a zabývá se analýzou degradačních korozivních procesů laserového návaru Inconel 625 se zvýšeným obsahem molybdenu.

a) Zhodnocení významu pro obor

Problematika využití laserových technologií je v současnosti aktuálním tématem jak ve výzkumu, tak i v aplikacích. Využívá se přitom výhod, které poskytuje laserový paprsek svojí přesností, opakovatelností, malou velikostí působení, možnostmi kontinuálního či pulzního módu. Technologie laserového navařování je technologií vytváření funkčních povrchů s odolností např. proti otěru či korozi. Jedná se současně o aditivní technologii využitelnou k vytváření třírozměrných součástí. Výzkum je řešen na řadě pracovišť. Zvolené téma disertační práce je z tohoto pohledu velmi aktuální jak z pohledu přínosu k poznání tak z pohledu praktické využitelnosti v průmyslových aplikacích.

b) Vyjádření k postupu řešeného problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle

Výzkumný program řešený v rámci disertační práce je rozdělen do dvou částí. První část se zaměřuje na výzkum vlivu technologických parametrů laserového navařování na promísení vytvořených jednostopých návarů. Pozornost je zaměřena především na metody vyhodnocení promísení pomocí analýz chemického složení a geometrie návarů. Druhá část dokumentuje vytvoření vzorků s plošnými návary a zejména jejich korozní zkoušky. Práce si klade jedenáct

dílčích cílů (viz. s. 47-48). Po seznámení s obsahem práce konstatuji, že stanovené cíle byly splněny.

c) Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu

Výsledky jsou uvedeny v částech 5 a 6 disertační práce. Jejich diskuse je pak ještě v následující samostatné části 7. Výsledky jsou přitom porovnávány s publikacemi zahraničních autorů. Autorka jimi mimo jiné také potvrzuje či vyvrací jejich hypotézy. Tyto části zcela bezpochyby dokládají původní konkrétní přínosy práce.

d) Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni práce

Z pohledu čtenáře je disertační práce zpracována přehledně a svědčí o systematičnosti provedených prací i zpracování výsledků. V textu lze nalézt překlepy, ale není jich neúměrně mnoho. Po grafické stránce je práce také na velmi dobré úrovni, snad jen grafy by mohly být větší a textové údaje v nich větším písmem. K větší přehlednosti výsledků by přispělo, kdyby údaje v tabulkách 17 až 21 byly zobrazeny i graficky.

e) Vyjádření k publikacím disertanta

V disertační práci jsem bohužel nenalezl přehled publikací disertantky, pouze vyjádření v závěru na str. 128, že část výsledků byla již prezentována na vědeckých konferencích s mezinárodní účastí. Žádám proto disertantku, aby informaci o publikacích doplnila v rámci obhajoby a zaměřila se zejména na to, zda výsledky práce byly již publikovány v mezinárodních časopisech popř. jaký je plán je publikovat do budoucna.

f) Dotazy

- 1) Na str. 60 je v textu uvedeno, že příčinou je snadnější odvod tepla po povrchu materiálu, než směrem do jádra. Prosím o vysvětlení, fyzikálně mi nedává smysl.
- 2) V grafech 13 až 16 je uvedena teplota měřená bezkontaktním způsobem na čelní straně vzorků v "hloubce" 230 um v průběhu navařování. V porovnání s touto teplotou jaká teplota je ve stejné hloubce uvnitř vzorků? Nejsou vzorky pro metalografii z tohoto pohledu odebírány z příliš malé vzdálenosti od krajů vzorku?
- 3) Na str. 117 je uvedeno, že v průběhu navařování dochází k nárůstu teploty substrátu a tento ohřev má zásadní vliv na orientaci růstu a typ dendritů. Je z provedených analýz nějaké technologické doporučení? Například jaká teplota by byla nejvhodnější? Nebo jak ještě navíc zajistit, aby byla v průběhu navařování stále stejná?
- 4) Na str. 126 je diskutován vznik korozních prasklin. Mluví se o napětově-deformačních stavech v laserových návarech, a že k nim došlo při následném obrábění. Jaká jsou zbytková napětí vzniklá samotným procesem navařování? Dochází pro některé kombinace technologických parametrů ke vzniku trhlin v průběhu navařování či lépe řečeno v průběhu chladnutí vytvořených návarů?

5) V práci jsou jak v současném stavu, tak v rámci experimentálního programu 1 diskutovány různé metody kvantifikace promísení. Všechny uvedené metody jsou destruktivního charakteru. Nedestruktivní metody se pro hodnocení laserových návarů nepoužívají?

6) Jaké teplotní informace o probíhajícím procesu (teplota v jakém místě na povrchu či uvnitř, rychlost ohřevu či ochlazování) by byly z vašeho pohledu jako materiálového inženýra či technologa pro výzkum laserového navařování užitečné a k jakému účelu by se využily?

g) Závěry

Předloženou disertační práci shledávám jako velmi kvalitní. Domnívám se, že touto prací autorka prokázala schopnosti samostatné vědecké práce i schopnosti analyzovat a prezentovat dosažené výsledky. Disertační práci proto (dle zákona č. 111/1998 Sb. §47) doporučuji k obhajobě.

V Plzni, 31.10.2018



Doc. Ing. Mílan Honner, Ph.D.
Nové technologie - výzkumné centrum
Západočeská univerzita v Plzni



Oponentský posudek disertační práce

Autor práce:	Ing. Pavla Klufová
Název práce:	Odolnost proti degradaci laserem navařených austenitických vrstev
Studijní program:	N2031 – Strojní inženýrství
Studijní obor:	3911V016 – Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie
Školící pracoviště:	Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Katedra materiálu a strojírenské metalurgie
Školitel:	prof. Dr. Ing. Antonín Kříž
Oponent:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Oponentský posudek byl zpracován na základě žádosti Oddělení pro výzkum a vývoj, FS, ZČU v Plzni ze dne 27.9. 2018. Předložená disertační práce je psaná v českém jazyce a obsahuje 139 stran textu (včetně příloh). V seznamu použité literatury je uvedeno celkem 71 zdrojů.

Disertační práce je členěna do 10-ti kapitol. Úvodní kapitola popisuje historii a motivaci vzniku disertační práce. Včetně návaznosti na předchozí výzkum. Kapitola 1 shrnuje cíle disertační práce celkem do 11 samostatných bodů vycházejících z rešeršní činnosti autorky a na základě předchozího výzkumu.

Kapitoly 2 a 3 jsou teoretického, rešeršního charakteru. Kapitola 2 popisuje technologii laserového navařování, používané přídavné materiály a základní charakteristiky laserového navařování. Dále způsoby výpočtu promíšení laserového návaru s podkladovým materiálem, proces solidifikace návaru a jeho strukturu. Zároveň jsou zde zmíněny základní aplikace této technologie. V kapitole 3 jsou stručně shrnuty základní pojmy, parametry a veličiny z oblasti korozního inženýrství. Popis elektrochemické koroze a korozní odolnost slitin na bázi niklu (resp. Ni-Cr-Mo slitin). Tato teoretická část je popsána celkem na 45-ti stranách textu.

Další kapitoly (4-6) jsou už věnovány experimentálnímu programu. V kapitole 4 následuje jeho základní popis, výčet použitých strojů, přístrojů a zařízení, je zde vysvětlen systém značení zkušebních vzorků a charakteristiky základního a přídavného materiálu (ocel S355J2 jako podkladový materiál pro návary, Inconel 625 + Mo jako přídavné práškové materiály).

Kapitoly 5 a 6 se věnují vlastní realizaci a vyhodnocení dílčích výsledků experimentálního programu, který je rozdělen do dvou základních oblastí:

První část experimentálního programu byla věnována laserovému navařování za různých procesních podmínek nastavení laseru (celkem na 142 zkušebních vzorcích), včetně výpočtu promíšení pomocí 4 odlišných metod výpočtu a jejich vzájemnému porovnání.

Druhá část experimentálního programu byla věnována komplexnímu posouzení korozivzdorných vlastností laserem navařené slitiny Inconel 625 (za použití vybraných procesních parametrů – na celkem 15-ti zkušebních vzorcích - a změnou chemického složení přídavného materiálu – dolegovaného Molybdenem). Korozní odolnost byla zkoušena třemi typy korozních zkoušek: korozní zkouškou v solné mlze, cyklickou korozní zkouškou a potenciodynamickou korozní zkouškou.

Kapitoly 7 a 8 obsahují diskuzi dosažených výsledků a závěr. Kapitola 9 uvádí seznam použitých literárních zdrojů a v kapitole 10 jsou obsaženy přílohy disertační práce.

Aktuálnost tématu a zhodnocení významu disertace pro obor:

Disertační práce se zabývá analýzou degradačních korozivních procesů laserových návarů typu Inconel 625 se zvýšeným obsahem molybdenu, kde je patrná snaha dát do souvislostí technologickou a materiálovou podstatu příčin degradace laserových návarů korozí. Navazuje tak na předchozí výzkumné aktivity řešené na ZČU v Plzni, i na jiných výzkumných pracovištích, zejména v Evropě.

Zvolené téma hodnotím jako vysoce aktuální. V dnešní době představují obecně laserové technologie moderní, stále více aplikačně využívaný způsob opracování materiálů. Řešená metoda laserového navařování (laser cladding) je zajímavá i z pohledu dnes stále více se rozvíjejících aditivních metod výroby. Proto i výsledky této disertační práce mohou být velmi zajímavé a užitečné pro daný vědní obor.

Vyjádření k postupu řešeného problému a použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle:

Náplň jednotlivých kapitol je uvedena výše. Postup řešení, návrh experimentálního programu a jeho realizace je provedena správným způsobem. K vyhodnocení výsledků jsou použity standardní metody a je jim věnován dostatečný prostor v rámci disertační práce.

Nicméně k vlastnímu řešení experimentu mám několik připomínek:

Asi by bylo vhodné (i vzhledem k záměru autorky pokračovat v postdoktorském výzkumném programu) lépe naplánovat celkový průběh všech experimentů. Experimentální program 1 a 2 je z pohledu počtu vzorků nevyvážený. Zatímco v první fázi experimentu bylo vytvořeno celkem 142 zkušebních vzorků, tak ve druhé fázi „jen“ 15 vzorků. Stejně tak vyhodnocovací metody byly v první fázi experimentu použity na všechny vzorky, ale ve druhé fázi byl často použit jen jeden reprezentativní vzorek. Je logické, že se experimentální program v průběhu řešení doktorského studia vyvíjí, ale program by měl být navrhován i z hlediska časových a ekonomických možností, s přihlédnutím na dostupnost jednotlivých zařízení a vyhodnocovacích metod tak, aby navržené experimenty byly reálně proveditelné.

Zejména počáteční soubor zkušebních vzorků v rámci experimentálního programu 1 ve vazbě na procesní parametry laserového navařování je pojaty velmi rozsáhle (i přes snížení počtu vzorků z původně plánovaných 182). Navíc z technologického hlediska chybí posouzení kvality provedených návarů, a tudíž i jejich praktické aplikovatelnosti, kterou podle provedených metalografických výbrusů lze označit za diskutabilní.

Podle mého názoru by bylo vhodnější vytvořit vzorky při vybraných extrémních parametrech a posoudit použitelnost takto vytvořených návarů. Případně podle toho omezit celkové množství vzorků. Takto byl vytvořen velmi rozsáhlý soubor vzorků, což muselo být časově velmi náročné a pracné, ale výsledky z tohoto výzkumu nejsou úplně vypovídající a jejich celkový přínos je tím snížen.

S výše uvedeným se pojí ještě jedna připomínka: V tabulce 4 na straně 49-50 je uveden seznam přístrojů, zařízení a jejich použití v rámci řešení disertační práce. Mimo jiné je zde uveden i ultrazvukový defektoskop Olympus EPOCH 1000i, který měl být použit k měření „výšky laserového návaru“. Nicméně tyto výstupy jsem v textu disertační práce nenalezl.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu autora disertační práce:

Největším přínosem práce je výzkum vlivu korozní odolnosti laserových návarů slitiny Inconel 625 ve vztahu ke zvyšujícímu se množství molybdenu v přídavném práškovém materiálu. Dosažené výsledky však neukazují na jednoznačné vyjádření o tomto vlivu – závěry jsou tedy nejednoznačné. Autorka nabízí několik vysvětlujících teorií, a dále se odvolává na celou řadu námětů pro budoucí výzkum, které byly během řešení experimentů vytvořeny. Některé dílčí cíle tak nebyly (resp. nemohly být) uspokojivě naplněny např.: „Stanovit kritickou hranici promíšení laserového návaru a substrátu, při které návary slitiny Inconel 625 se zvýšeným obsahem molybdenu ztrácí korozní odolnost v daném prostředí“, „Vyhodnotit, zda zvýšený obsah molybdenu v laserovém návaru Inconel 625 má vliv na posunutí možné hranice promíšení laserového návaru a substrátu k vyšším hodnotám, při zachování stejné korozní odolnosti“. Jiným cílům nebyla věnována dostatečná pozornost, např.: „Analyzovat proces předehřevu substrátu během laserového navařování a jeho vliv na promíšení laserového návaru a substrátu“.

Vzhledem k vývoji řešení disertační práce mohly být tyto cíle redukovány nebo upraveny tak, aby mohly být plně zodpovězeny.

Autorka dále uvádí, že za přínos práce lze považovat navázání spolupráce s vědecko-výzkumnými centry v ČR, VŠCHT v Praze a zahraničními univerzitami v Holandsku a Polsku, což je jistě pravda, ale splnění výzkumných cílů disertační práce to nenaplnuje.

Vzhledem k obsáhlému pojetí cílů práce lze říci, že některé dílčí cíle byly naplněny spíše v obecné základní rovině, ale jako celek lze cíle disertační práce považovat za splněné, i když tím řešená problematika zdaleka není vyčerpána.

Zhodnocení formální úpravy a jazykové úrovně disertační práce:

Formální stránka a především struktura disertační práce je na velmi dobré úrovni a použitý styl vychází z běžně používaných standardů. Uspořádání práce je logické. Rozsah teoreticky zaměřených kapitol je vyvážený a práce má poměrně dobrou grafickou úroveň.

Bylo by vhodné se v závěru vyjádřit konkrétně a jmenovitě ke splnění jednotlivých cílů, což by výrazně zvýšilo přehlednost výsledků.

Dále mám několik konkrétních připomínek:

- Zejména v druhé části textu se vyskytuje řada překlepů, které bylo možno snadno eliminovat.
- Terminologické označení některých základních pojmů není plně v souladu s praxí používanou v oblasti navařování, resp. strojírenské technologie, např.: substrát vs. podkladový (základní) materiál, pískování vs. tryskání, jednostopé laserové návary vs. jednovrstvé návarové housenky, navařování vs. povlakování, pinčovací hrany vs. střížné hrany, ND:YAG vs. Nd:YAG, PH vs pH apod.
- Navíc je ve výše zmíněném terminologickém označování nejednotnost v rámci celého textu, kdy se různé označení objevuje i v rámci jedné věty (např. na str. 24 ve větě: „V případě laserového navařování dochází vlivem interakce laserového paprsku se *substrátem* k ohřevu *základního materiálu* až na teplotu likvidu dané slitiny.“
- Popis obrázku č. 19 na straně 36 je špatně čitelný
- Nikl by neměl být u niklových slitin označován jako legující prvek (viz strana 43)
- Na straně 50 autorka uvádí, že jako hnací a ochranný plyn byl použit argon o čistotě 99,99% (tedy čistota 4.0), který se ale standardně nedodává. Obvykle se pro konvenční svařování (navarování) používá čistota plynů 4.6 (tedy 99,996%), ale pro laserové aplikace se doporučuje větší čistota (až 5.0).
- Měření tvrdosti bylo dle autorky prováděno podle ČSN 420374 (viz str. 52). Tato ČSN však byla zrušena k 1.9. 1993 a normu nahradila ČSN EN ISO 6507-1.

- V kapitole 5.1 nejde jen o podmínky navařování, ale i stanovení procesních parametrů...(viz str. 55)
- U výpočtu promíšení podle „metody C“ uvádí autorka, že nejsou definované délkové jednotky dosazovaných proměnných. Výpočet není nijak normován, ale vychází od konkrétních autorů z provedené rešerše – předpokládám, že tam byly konkrétní jednotky použity nebo by měly být použity základní jednotky.
- U všech metod výpočtu promíšení uvádí autorka jako nevýhodu „časovou náročnost“ provedení, ale jednotlivé metody se v tomto budou významně lišit.
- Drsnost povrchu zkušebních vzorků po broušení je uváděna parametrem Ra s hodnotou 1,6 (viz str. 52), po frézování zkušebních vzorků pro korozní zkoušky (viz str. 97) je však uváděn parametr Rz (6,3). Bylo by vhodné toto upravit a sjednotit (resp. zvolit nejvíce vypovídající parametr).

Návrh otázek k obhajobě:

- Na str. 53 je uveden průměr částic prášku PM jako 50 až 150 μm . Molybdenový prášek má průměr částic 3-7 μm (viz str. 54). Jak byla řešena homogenizace (smíchání) prášků s takto rozdílnými rozměry částic? Jak bylo řešeno podávání PM?
- Výpočet promíšení podle „metody A“ je založen pouze na jednom měření chemického složení návaru. Proč nebylo použito např. liniové měření a použita průměrná hodnota? Proč byl použit k měření zrovna vzorek E1-2000/40? (viz str. 66)
- Proč byly u vytvořených vzorků pro experimentální program 2 použity různé poměry F/S – 120, 80, 120 g/m při zvyšujícím se výkonu laseru? (viz tab. 22, str. 80)
- Překryv mezi jednotlivými housenkami plošných návarů v experimentu 2 byl zvolen 30% z celkové šířky housenky. Na základě čeho byla provedena tato volba? Jakým způsobem byl fokusován laserový paprsek vzhledem k povrchu vzorku?
- Čím si autorka vysvětluje že při výrobě vzorků E2_2000/120/0 a E2_2000/120/8 byla v pozici 2 naměřena max. teplota velmi rozdílná (49 vs. 129 °C), zatímco v ostatních pozicích jsou teploty podobné? viz str. 86, Obr. 50 a 51. (Byla ověřena nastavená emisivita měření?)
- Autorka uvádí, že vzorky testované v korozní komoře, jsou umístěné pod úhlem 30-35° ke svislé ose. Norma ČSN EN ISO 9227 uvádí, že úhel by měl být v rozmezí od 15 do 25°. Proč byl použit daný úhel umístění vzorků a může to nějakým způsobem ovlivnit výsledky?
- Čím si vysvětlujete, že u cyklické korozní zkoušky jsou výsledky u vzorků vyrobených nižším výkonem laseru rozdílné (koroze nevykazuje závislost na obsahu Mo) od vzorků vyrobených při výkonu 2750 W (kde se zvyšujícím se obsahem Mo výrazně narůstá zhoršená korozní odolnost)?
- S předchozím dotazem souvisí i poslední otázka: Legování použitého PM (prášku Castolin Eutectic EuTroLoy 16625.04) molybdenem, bylo prováděno za účelem zvýšení korozní odolnosti návarů. Nicméně výsledky korozní odolnosti byly spíše opačné. Jak si to autorka vysvětluje?

Vyjádření k publikacím autorky disertační práce

Seznam použitých literárních zdrojů obsahuje z velké části mezinárodní odborné publikace z poslední doby, což dává předpoklad autorčina dostatečného přehledu v řešené problematice.

V textu disertační práce však nejsou uvedeny vlastní publikace autorky. Nicméně, v autoreferátu je uvedeno 23 vlastních publikací, které vznikly v průběhu doktorského studia. Nejsou však citovány ve vlastním textu disertační práce (a ne všechny se týkají dané problematiky, řešené

v rámci disertační práce). Jedná se vesměs o publikace na odborných českých a mezinárodních konferencích, kdy řada z nich je publikována v citačních databázích WoS příp. Scopus. Z tohoto pohledu je publikační činnost disertantky v pořádku.

Závěrečné hodnocení oponenta:

Celkově konstatuji, že předložená disertační práce Ing. Pavly Klufové, i přes výše uvedené připomínky, splnila stanovené cíle, její výsledky mohou mít přínos pro rozvoj vědního oboru v uvedené problematice a přináší nové poznatky v oboru. Předložená disertační práce dále prokázala autorčiny teoretické znalosti a schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce, a proto ji doporučuji k obhajobě.

Práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práci. Po úspěšném absolvování obhajoby a zodpovězení položených dotazů, doporučuji autorce udělit titul „Ph.D.“.

V Praze dne 26.10. 2018



doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Vedoucí Ústavu strojírenské technologie
ČVUT v Praze, Fakulta strojní

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
12133 - Ústav strojírenské technologie
CZ - 166 07 Praha 6, Technická 4
DIČ: CZ68407700

-1-

Oponentský posudek disertační práce

Název disertační práce: **Odolnost proti degradaci laserem navařených austenitických vrstev**

Jméno doktoranda: Ing. Pavla Klufová

Školitel: prof. Dr. Ing. Antonín Kříž

Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, obor Materiálové inženýrství a strojírenská metalurgie

Oponent: doc. Ing. Stanislav Němeček, Ph.D.

Práce se věnuje technologiím laserového navařování povrchů součástí kovovými prášky. Jedná se o zajímavé aktuální téma, protože laserové technologie obecně nejsou v současnosti plně využívány, zejména kvůli absenci příslušného know-how. Název práce je definován velmi obecně (není ani specifikován typ degradace). Nepracuje s austenitickými vrstvami, ale s Inconelem 625, tato chyba se opakuje i v úvodu na str. 16. Poměr teoretického úvodu a experimentálních prací je vyvážený, práce je graficky dobře zpracovaná a logicky členěná, značení vzorků je přehledné. Teoretická část čerpá z hlavních mezinárodních publikací a odkazy obsahují hlavní zdroje z oborů laserů a korozního inženýrství, zdůvodňuje tak plánované experimenty a jejich přínos. Na tomto základu jsou pak jasně deklarovány cíle disertační práce. Přes některé drobné nepřesnosti (např. str. 17 - vláknové ani diskové lasery rozhodně nevytlačily diodové, které jsou pro navařování stále vhodnější díky vyšší účinnosti) nelze úvodní rešeršní části nic vytknout.

Popis experimentální části definuje výchozí materiál a použité analytické metody. Používané materiály substrátu i prášku jsou vhodné pro sledování korozních dějů, z praktického pohledu je kombinace konstrukční oceli s antikoročním návarem častá a běžná. Zvolené metody jsou vhodné pro sledování stanovených cílů, studentka prokázala jejich zvládnutí a interpretaci výsledků.

V experimentu 1 je analyzované velké množství 142 vzorků s důležitým cílem – stanovení procesního okna na základě základních parametrů navařování, resp. jejich kombinaci (str. 56). Pravděpodobně díky nízkým rychlostem navařování je z praktického pohledu u všech příliš vysoký stupeň promíchání, pro laserové technologie neobvyklý. Jednostopé návary jsou vhodné pro samotnou metodiku hodnocení, v případě ochranných návarů však vždy bude návar plošný a sousední housenky se budou ovlivňovat. Těžištěm této kapitoly je tedy spíše metodika hodnocení geometrie návaru než nalezení vhodných procesních parametrů. To ale nesnižuje význam a množství odvedené práce. Velmi cenné jsou grafy závislosti procesních parametrů.

Z výše uvedeného důvodu logicky navazuje druhý experiment, kde je hodnocena korozní odolnost jednovrstvých návarů ve větší ploše. Je použita řada technik, sledujících proces od teploty během navařování až po mezidendritickou vzdálenost. Jak na str. 86 píše autorka, je i v rámci jednoho vzorku různé promíšení a makrosegregace. Přesto kapitola vůbec nedokládá hodnocení stupně promíšení, které má na obojí zásadní vliv a kapitola neobsahuje ani žádný snímek, který by promíšení naznačoval (obr. 50 a 51 neobsahují informaci kde se nachází původní navařovaný povrch). Již v dřívějších publikacích autorky

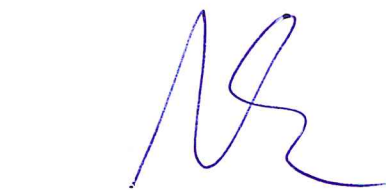
byl rozpoznán zásadní vliv promíchání a lokální obohacení železem z podkladového materiálu na ztrátu korozních vlastností (na str.117 uvádí 5x vyšší koncentraci Fe v návaru oproti původnímu prášku). Tato zkušenost se do plánování experimentu nepromítla a není ani výrazněji komentována. Hlavním tématem tak mělo být vliv legování molybdenem na zvyšování korozní odolnosti. Dokládá to pěkná studie korozních zkoušek, která je asi nejkvalitnější částí disertační práce. V metalografické části jsou zkoumány korozní stopy. Tvzení o iniciaci korozních trhlin díky zbytkovým napětím není doloženo měřeními. Naopak jsou viditelné nerozpuštěné částice molybdenu (obr. 79) a zatavené nerozpuštěné částice prášku (obr. 77), které mohou být iniciačním místem. Obr. 69 a 70 dokládají, že se nejedná o trhliny, ale povrchové vady návarů.

Kapitola 7 rekapituluje výsledky, ovšem bez výraznější diskuse. Jsou zopakovány naměřené hodnoty a závislosti z experimentální části, bez souvislostí a logického odůvodnění, a to ani v případě, kdy nekorelují s pracemi jiných autorů (viz. např. str. 120). To je bohužel slabá stránka velké většiny vědeckých prací v ČR.

Závěr:

Práce je věnována aktuálnímu a praktickému tématu a předkládá zajímavé výsledky. Autorka splnila zadání disertační práce, a proto práci k obhajobě **doporučuji**.

V Plzni, dne 27.10.2018



.....
podpis

Dotazy k obhajobě:

- 1) Jak byl připravován modifikovaný prášek pro navařování, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení částic molybdenu a jakou roli hraje řádově menší rozměr částic molybdenu (cca 5 mikrometrů oproti 50-150 μ m koupené slitiny)? Viz str. 53, 54 a 116.
- 2) Jsou makrosegregační oblasti v navařených vrstvách obohacené o molybden nebo železo? Dochází ke korozi přednostně na těchto heterogenitách?
- 3) Vysvětlíte rozdíl v geometrii jednostopých návarů, zejména v oblasti promíšení. Nemůže být vysoké promíchání příčinou odlišných závislostí od prací ostatních citovaných autorů?