

OPONENTSKÝ POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

Název: Hodnocení vztahu mikrostruktury a vlastností žárových nástřiků
Autor: Ing. Michaela Prantnerová
Školitel: Doc. RNDr. Josef Kasl, CSc.
Oponent : Doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D.

Předložená disertační práce vypracovaná Ing. Michaelou Prantnerovou má 122 stran, je členěna do šesti kapitol a doplněna seznamem použité literatury. Práce se zabývá optimalizací procesu žárového nástřiku zatím málo používaného WC-Cr₃C₂-Ni a hodnocením vlastností vytvořených povlaků. V úvodní kapitole jsou jasně formulovány cíle předkládané práce.

V rešeršní části (kap. 2) autorka stručně popisuje použitou technologii vytváření žárových nástřiků metodou HP/HVOF. Jsou zde také popsány metody výroby výchozích prášků. Dále jsou popsány materiály na bázi cermetů, základní vlastnosti prášků a jejich hodnocení. Dále je popsáno zkoušení přilnavosti. Podkapitoly 2.5.1.1 a 2.5.2.2 by bylo vhodnější nazvat „Zkoušky přilnavosti v tahu (ve smyku)“. Dále jsou uvedeny další vlastnosti, které byly následně hodnoceny. V této teoretické části chybí kapitola o zbytkových napětích, která jsou dále také hodnocena. Kapitola je přehledná a logicky na ní navazuje experimentální část.

Kapitola 3.1. se zabývá optimalizací nástřikových parametrů pro hodnocený materiál. Není zde uvedeno, jaký z dále popsaných prášků byl použit. Volba matice parametrů by mohla být podrobněji okomentována. V tab. 3.4 nejsou popsány měřené veličiny. Z popisu následujícího obrázku mám dojem, že došlo k nejednotnému označení rychlosti opotřebení. V kap. 3.1.5 jsou uvedena 2 pracoviště, kde byla dokumentace pořízena. V kap. 3.1.6 je popsáno hodnocení depoziční účinnosti. Zde jsou uvedené další nástřikové parametry, které by bylo vhodnější uvést už v kap. 3.1.

V kapitole 3.2 jsou nejprve popsány použité prášky. Na Obr. 3.10 není vidět v textu zmiňovaná fáze NiO. Výsledky experimentálních měření jsou uvedeny v kap. 3.2.2. Obr. 3.10 (rtg. difrakce prášků) je shodný s Obr. 3.16 (rtg. difrakce povlaků). Zajímavá a obsažná je podkapitola 3.2.2.6., kde jsou hodnoceny změny mikrostruktury a tvrdosti po tepelném ovlivnění. Na závěr této kapitoly by bylo vhodné uvést souhrnné porovnání hodnocených povlaků z různých prášků a zdůvodnění výběru prášku pro následné porovnání s jinými materiály.

V kapitole 3.3 jsou získané výsledky porovnány s hodnotami zjištěnými u dvou běžně používaných kovokeramických povlaků. Výsledky jsou doplněny poznatky získanými z literárních pramenů. Na závěr této kapitoly by také bylo vhodné uvést souhrnné porovnání hodnocených povlaků, včetně ekonomického hlediska. Toto je částečně uvedeno v kap. 4, která je dle mého názoru poněkud stručná.

V kapitole 5 je uvedena výstižná diskuse výsledků zjištěných v kapitole 3. Závěr (kap. 6) stručně a jasně shrnuje provedené práce a dosažené výsledky, které přispějí v rámci oboru vytváření žárových nástřiků jak k rozšíření poznatků o kontrétních vlastnostech, tak pro praktické využití nových typů polaků.

Postup při řešení stanovených cílů je logický, bylo vhodně využito dostupných metod i v rámci spolupráce s jinými pracovišti, včetně zahraničního, takže stanovených cílů bylo dosaženo.

V průběhu řešení byla získána velké množství nových poznatků. Někdy není zcela zřejmé, na kterých experimentech se autorka osobně podílela. Přesto se domnívám, že autorka měla na dosažených výsledcích, jejich zhodnocení a využití stěžejní podíl.

Disertační práce je psána jasně, přehledně, má logickou strukturu, dobrou grafickou i gramatickou úroveň s malým počtem překlepů (indexační metody na str. 37 ...). V některých případech je používána desetinná tečka místo čárky. Práce je vybavena kvalitní fotodokumentací a přehledným grafickým zpracováním výsledků. V seznamu použité literatury je uvedeno 128 položek. V autoreferátu disertační práce je uvedeno 87 prací, kde je disertantka je autorkou nebo spoluautoautorkou, včetně publikací na mezinárodní úrovni, což svědčí o její vysoké odborné kompetenci.

Disertační práce Ing. Michaely Prantnerové potvrzuje vědecké schopnosti kandidátky. Doporučuji proto, aby byla připuštěna k její obhajobě a aby jí po úspěšné veřejné rozpravě byl udělen titul Ph.D. (dle zákona č. 111/1998 Sb. § 47).

Otázky pro autorku:

Jak si vysvětlujete rozdíly ve výsledcích rtg. difrakce na různých pracovištích?

Jak si vysvětlujete, že vzorek s povlakem WC733 má naměřenou nejvyšší povrchovou tvrdost a nejnižší mikrotvrdost?

V Plzni, 19. března 2014



Doc. Ing. Olga Bláhová, Ph.D.

Ing. Radek Enzl, Ph.D.
Sulzer Metco Europe GmbH
Spreestrasse 2
65451 Kelsterbach
Tel: +49 173 315 7281
E-mail: radek.enzl@sulzer.com

Západočeská Univerzita v Plzni
Fakulta strojní
Univerzitní 8
306 14 Plzeň

V Kelsterbachu 25. února 2014

Oponentský posudek disertační práce

Autorka práce: Ing. Michaela Prantnerová
Název práce: Hodnocení vztahu mikrostruktury a vlastností žárových nástřiků
Školitel: RNDr. Josef Kasl, CSc.

1. Zhodnocení významu pro obor

Tato práce spadá svým obsahem do oblasti žárových nástřiků, což je v současné době jeden z nejrychleji se rozvíjejících oborů materiálového resp. povrchového inženýrství. Žárově stříkané povlaky reprezentují praktické a spolehlivé řešení problémů povrchové ochrany součástí fungujících v různých podmínkách (vysoká teplota, otěr, koroze, atd.) a dále také zajišťují rozmanité spektrum funkcí (tepelné bariéry, biokompatibilní povlaky, elektronické součásti, atd.). Tradiční aplikace žárově stříkaných povlaků se zaměřují především na ochranu povrchů, ale v současné době se vynořují aplikace používající povlaky jako funkční povrchy nabízející materiálovým inženýrům alternativu mezi používáním tenkých vrstev a objemových materiálů. Tento nový přístup klade velký důraz na výzkum nových materiálů a nových metod pro charakterizaci povlaků. Pro splnění náročných požadavků je třeba detailně porozumět vztahům mezi depozičními parametry, strukturou povlaků a jejich výslednými funkčními vlastnostmi.

Předkládaná disertační práce se zabývá hodnocením vztahu mikrostruktury povlaků a jejich mechanických vlastností se zaměřením na HVOF povlaky na bázi karbidů. Svoji náplní přesně odpovídá výše zmíněným požadavkům a lze ji brát jako významný přínos do oblasti žárově stříkaných povlaků.

2. Postup řešeního problému

Disertační práce je členěna do šesti částí a dále obsahuje seznam literatury.

Po krátkém úvodu a vytyčení cílů disertační práce se autorka ve druhé části věnuje rozboru současného stavu problematiky v dané oblasti a popisem teoretických základů pro tuto práci. Od obecných poznatků o HVOF stříkaných povlacích se

postupně dostává k popisu jednotlivých materiálů na bázi karbidů dále zkoumaných v experimentální části. Tato část obsahuje souhrn informací z dostupných publikací a je velmi cenným přehledem vlastností a chování těchto materiálů.

Dále autorka popisuje charakteristické vlastnosti prášků používaných pro žárové nástřiky a metody jejich měření. Tento přehled se zda být na první pohled nepodstatný, protože práce se zaměřuje především na zkoumání vlastnosti finálních povlaku, ale je zcela nepopiratelné, že byt' je minimální změna některých vlastností na straně výchozího prášku může výrazným způsobem ovlivnit jeho chování v průběhu nástřiku a tím i finální vlastnosti povlaku.

Další část je věnována popisu vlastnosti žárově stříkaných povlaků a metod jejich měření. Zde bych vyzdvihl především metody vyvinuté v rámci výzkumných programů VZU Plzeň s.r.o., které poskytují dodatečné informace oproti standardně používaným a normovaným zkouškám. Sem určitě patří metoda pro určování přílnavosti ve smyku, metoda měření kluzných vlastnosti povlaku block-on-ring a v neposlední řadě i metoda pro hodnocení abrazivního opotřebení.

Experimentální část zahajuje optimalizace nástřikových parametrů pro materiál WC-Cr₃C₂-Ni. Optimalizace je založena na hodnocení mechanických vlastnosti finálních povlaků při jednotlivých nastaveních nástřikových parametrů. Jako jedno z hledisek autorka bere v potaz také depoziční účinnost vyjadřující ekonomiku celého procesu při jednotlivých nastaveních. Závěrem této části je výběr nejvhodnějších nástřikových parametrů pro vybraný materiál s podrobným vyjádřením ke všem důvodům, které vedly k tomuto závěru. Zde bych chtěl zdůraznit význam optimalizace depozičních parametrů před zahájením dalších experimentů porovnávajících různé materiály případně nástřikové metody. Někteří autoři používají pro své experimenty povlaky připravené na základě parametrů doporučených výrobcem prášku nebo výrobcem nástřikového zařízení, kde tyto garantují možnost nanesení povlaku, ale ve velké většině případů jsou vzdálené od ideálních parametrů pro dosažení vysoce kvalitního povlaku. Optimalizované parametry jsou výsostně know-how každé nástřikové firmy a již pouze výsledky této kapitoly mají svůj přesah do výrobního programu VZU Plzeň s.r.o.

Další a nejobsáhlejší část práce se zabývá porovnáním pěti různých výchozích prášků od čtyř různých výrobců a zkoumáním vlivu výrobní metody a vlastností prášků na výsledné vlastnosti povlaku. Tato kapitola poskytuje komplexní a velmi ucelený přehled vlastnosti WC-Cr₃C₂-Ni povlaku připravených z různých prášků. Vyčerpávající přehled vlastností a porovnání jednotlivých prášků poskytuje důležitý základ pro objasnění závislostí v následujících experimentech. Prezentované charakteristiky prášků nejsou obecně publikovány v katalozích výrobců a na první pohled identické prášky vykazují výrazné rozdíly při tomto bližším zkoumání. Porovnání vlastností povlaku neobsahuje pouze základní charakteristiky jako mikro a makrotvrdot, mikrostruktura a drsnost povlaku, ale i vybrané speciální vlastnosti jako abrazivní opotřebení a vysokoteplotní chování. Výsledky každého experimentu jsou porovnávány s dostupnými publikovanými prameny. Z těchto experimentů bych zdůraznil oxidaci povlaku nebo jejich vysokoteplotní chování, kde nejdůležitějším výsledkem je limitní teplota použití těchto povlaků, která se částečně liší od publikovaných dat výrobců prášků. Zde bych podpořil doporučení autorky o dalších

experimentech v této oblasti z důvodu potřeby této informace pro úspěšné nasazení tohoto povlaku v průmyslové praxi.

Poslední kapitola experimentální části se věnuje porovnání vlastností WC-Cr₃C₂-Ni s nejrozšířenějšími a nejpoužívanějšími kovokeramickými povlaky. Motivací pro tuto kapitolu bylo jasné vymezení oblasti průmyslového použití tohoto materiálu na základě jeho mechanicko-fyzikálních vlastností. Poznatky z této kapitoly autorka shrnuje v přehledu využití jednotlivých kovokeramických povlaků, kde zároveň definuje potenciální oblasti použití materiálu WC-Cr₃C₂-Ni.

Diskuze a závěr shrnují přehledně zjištěné poznatky a uzavírají prezentovanou disertační práci.

3. Stanovisko k výsledkům disertační práce

Předložená práce podle mého názoru plně vyhovuje veškerým požadavkům kladeným na disertační práci. Autorka prokázala schopnost zpracovat zadané téma jak po stránce rešeršní tak i experimentální. Zejména bych ocenil komplexnost řešení celého problému od nástřikové technologie, přes výchozí materiál až po finální povlak. Dalším významným aspektem je přesah této práce do průmyslové praxe, kdy poznatky zjištěné v rámci řešení této práce mohou být, pokud už nebyly, použité ve výrobních programech VZU Plzeň s.r.o., kde reprezentují výraznou konkurenční výhodu oproti jiným nástřikovým firmám, které zdaleka nemohou mít znalosti o těchto povlácích na takto vysoké úrovni.

4. Další vyjádření

Přes celkovou výbornou úroveň práce k ní mám několik veskrze formálních připomínek:

- Autorka v práci používá nestejnou terminologii – např. při popisu metod přípravy prášků, které v teoretickém úvodu zmiňuje v českém překladu a v kapitole 3.2.1. pouze jejich zkratky případně jejich anglické ekvivalenty
- Některé vzorce diskutované v teoretické části jsou napsané v použitém textovém editoru a některé jsou pouze vloženy jako obrázky
- Hodnocení pórovitosti povlaků je založeno na subjektivním posouzení mikrostruktur povlaků a bylo by vhodnější zde použít metody obrazové analýzy pro přesné kvantifikování výsledků
- Při hodnocení depoziční účinnosti mezi různými WC-Cr₃C₂-Ni prášky autorka použila podávání prášku v hmotnostních jednotkách a výsledky experimentu jsou založeny na objemových jednotkách (tloušťce povlaku). Tento princip může být zavádějící při rozdílné objemové hustotě, která se pro prášky pohybuje v rozmezí 3,2 – 4,9 g/cm³ a jistě bude i rozdílná pro nastříkané povlaky. Zde bych doporučil použití absolutní metody měření depoziční účinnosti v hmotnostních jednotkách podle EN ISO 17836, což sama autorka zmiňuje v závěru své práce.

5. Vyjádření k publikacím

Seznam publikací obsahuje 87 položek od lokálních konferencí, přes interní výzkumné a technické zprávy až po vysoce specializované odborné časopisy jako například Journal Of Thermal Spray Technology.

Mnohé z výsledků prezentované v této disertační práci již autorka dokázala prezentovat na mezinárodním poli.

K publikacím vyjadřuji veskrze pozitivní stanovisko.

6. Závěrečné doporučení

Předložená práce podle mého názoru plně vyhovuje veškerým požadavkům kladeným na disertační práci. Autor prokázal schopnost zpracovat zadané téma jak po stránce rešeršní tak i experimentální. Mnohé z výsledků již dokázal prezentovat na mezinárodním poli.

Práci doporučuji k obhajobě

7. Otázky

- Při porovnávání abrazivního opotřebení WC-Cr₃C₂-Ni povlaků připravených z různých prášků je dosahováno nejlepších výsledků s aglomerovanými a sintrovanými prášky. V jakém vztahu může být abrazivní odolnost s velikostí karbidických zrn v povlaku? Šlo by případně nějak zlepšit vlastnosti povlaku připraveného ze sintrovaného materiálu WC-496 použitím jiných nástřikových metod?
- Jaké předpokládáte další využití v průmyslové praxi a případně pro jaké konkrétní aplikace je materiál WC-Cr₃C₂-Ni nejvhodnější?
- Co nejvíce ovlivňuje obsah niklové matrice u tohoto materiálu? Jaký obsah niklové matrice by měl mít prášek při použití nových nástřikových metod jako HVAF nebo cold spray?



Radek Enžl