

Posudek disertační práce
Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost
organických povlaků

Disertant:	Ing. Jakub Svoboda
Doktorský studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Školitel:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Školitel specialista:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Pracoviště, na kterém byla práce vypracována:	Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Technická 4, 166 07, Praha 6
Posudek vypracovala:	prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.

1. Dosažení v disertaci stanoveného cíle

Disertační práce je zaměřená na vytvoření progresivního technologického postupu pro chemickou předúpravu povrchu žárového zinku pomocí vybraných materiálů. Cílem předložené disertační práce je proto formulace a ověření technologického postupu ekologické chemické předúpravy žárově pozinkovaného podkladu, která by zajistila vysokou přilnavost a korozní odolnost aplikovaných organických povlaků testovaných duplexních systémů. Součástí cíle je i studium vlastností vybraných chemických předúprav daných žárově pozinkovaných povrchů z pohledu funkční a ochranné účinnosti následně vytvořených povlaků.

Autor ve své práci navrhl a otestoval mimo jiné optimalizovaný technologický postup pro chemickou předúpravu obsahující reaktivní silany. Přilnavost vytvořených systémů byla autorem hodnocena dle příslušných norem. Z dosažených výsledků je patrné, že modifikace navržené láně vedla ke zvýšení přilnavosti vytvořeného organického povlaku v porovnání s jinými chemickými předúpravami.

Dílní cíle, tedy ověření dosavadních a nových, resp. modifikovaných chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu přilnavosti a korozní odolnosti organických povlaků, korozní odolnosti celého duplexního systému byly splněny, stejně tak i ověření funkčních a ochranných vlastností vytvořených povlaků nátěrových hmot metodami běžně používanými v oboru povrchových úprav bylo splněno.

Je možno konstatovat, že cíle, které byly v předložené disertační práci stanoveny, byly splněny.

2. Úroveň rozboru současného stavu

Kapitola zahrnující provedenou rešerši problematiky disertační práce, tedy současný stav poznání v předmětné oblasti, obsahuje popis klasických i nových předúprav povrchu materiálů. Jsou popsány rovněž novější chemické předúpravy využívající sloučeniny Zr, Ti nebo skupinu organosilanů. Myšlenka využít tyto materiály je aktuální a vhodná, neboť organosilany

mají schopnost vytvářet kovalentní vazby mezi anorganickými a organickými látkami a díky vysoké stabilitě a pružnosti vzniklé siloxanové vazby mohou být tyto látky aplikovány v širokém spektru využití, mimo jiné i pro zvýšení přilnavosti nátěrových hmot, lepidel, tmelů jako adhezivní činidlo mezi anorganickým a organickým rozhraním. Reaktivní silany $H_2N-R-Si-(OR')$ se používají jako síťovadlo nebo kopulační činidlo pro zlepšení vlastností různých produktů a mají význam při úpravách povrchu. Jestliže funkční organickou skupinou na daném silanu je epoxy či amino skupina, může se následně podílet na vytvrzovacím mechanismu epoxidové či jiné vhodné pryskyřice, jak správně autor práce využil ve své práci.

Doktorand Ing. Jakub Svoboda zpracoval současný stav problematiky na takové úrovni, aby vystihl důležité zákonitosti týkající se daného tématu disertační práce. Nezbytné části týkající se současného stavu problematiky jsou dostatečně podchyceny a podloženy dostatečným počtem literárních zdrojů.

3. Teoretický přínos

Disertační práce navrhuje progresivní postup předúpravy povrchů konstrukčních materiálů, kde teoretickým přínosem je především popis vlivu chemických látek působících v předúpravách na povrch žárového zinku, na protikorozi ochranu a přilnavost vytvořených organických povlaků.

Disertační práce s názvem „Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost organických povlaků“ byla vypracována na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze, který patří mezi světová pracoviště vykazující významné výsledky ve výzkumu technologií povrchových úprav. Autor směřoval svoji práci do oblasti, kterou stávající výzkum dosud nepokrýval, a v rámci takto vymezeného tématu dosáhl hodnotných výsledků.

4. Praktický přínos

Hlavní přínos disertační práce spočívá v optimalizaci a experimentálním ověření technologie předúpravy, zejména na bázi organofunkčního silanu pro žárově zinkované povrchy. Na základě dosažených výsledků byla formulována optimální předúprava povrchu žárově zinkovaných materiálů, která splňuje technologické, ekonomické, energetické a environmentální požadavky kladené na dnešní technologie. Navržený technologický postup aplikace této chemické předúpravy na bázi organosilanů pro určitý typ organických povlaků, jeho otestování z pohledu protikorozi ochrany materiálu a adheze má využitelnost pro provozy povrchových úprav. Tyto navržené postupy by v konečném efektu mohly znamenat i snížení energetických nákladů a zvýšení ekologické spolehlivosti provozu.

5. Vhodnost použitých metod

Autor Ing. Jakub Svoboda použil k řešení práce soubor metod, počínaje od návrhu řešení a stanovení cílů a podcílů disertační práce, volby odpovídajících metod a kroků řešení, až po konečné zhodnocení vlastností povlaků pomocí metodiky používané v oblasti povrchových úprav. Autor kladl důraz nejen na porovnání stávajících chemických metod předúprav povrchu, ale zejména na volbu parametrů technologie alternativní předúpravy povrchu žárově zinkovaných materiálů, které by vedly k optimalizaci vlastností povrchu a aplikovaných organických povlaků. Hodnocení nátěrů dle technických norem a zkušebních postupů z oboru povrchových úprav bylo provedeno s dostatečnou přesností a vypovídající schopností odpovídající danému účelu.

Správně použité metody byly předpokladem pro splnění cílů práce a staly se dostatečným podkladem při získání nových poznatků z oblasti duplexních systémů.

6. Způsob, jakým byly použité metody aplikovány

Pro řešení práce byla navržena a vyzkoušena metodika testování pro hodnocení vlastností připravených vzorků aplikovaných duplexních systémů. Zvoleným způsobem tak mohly být získány výsledky, které doktorand řádně diskutoval a publikoval. Navržené postupy pro úpravu povrchu žárového zinku se ukázaly jako správně zvolené.

Výsledky práce byly získané metodami experimentálního výzkumu za pomoci přístrojového vybavení, které odpovídají požadavkům na současné vedené vědecké práce. Lze konstatovat, že metody aplikované pro splnění zadaných cílů, způsob měření a vedená metodika prací byly správně zvolené, ověřené a podložené dostatečným množstvím experimentů.

7. Prokázání znalostí doktoranda v daném oboru

Dokladem toho, že autor disertační práce úspěšně prokázal znalosti oboru je jeho publikační aktivita v počtu 20 výstupů formou odborných článků a příspěvků ve sbornících (typ A). Dále autor uvádí publikace zaměřené na další oblast výzkumu celkem v počtu 38 (typ B). Dalším publikovaným výstupem je funkční vzorek a rovněž i další výstupy ve formě funkčního vzorku a užitého vzoru (typ FVZ, UZV).

Znalost v daném oboru doktorand prokázal tedy mimo jiné i formou publikací, které obsahovaly nové poznatky a teoretické přínosy disertační práce. Doktorandovi se povedlo vypořádat se zadáním práce díky zvolenému postupu řešení. Úspěšně provedl rozbor současného stavu problematiky a zvolil řešení vedoucí k inovovaným materiálům pro žárový zinek a duplexní povlaky spadající do oboru strojírenské technologie.

8. Formální úroveň práce

Autor zpracoval svoji disertační práce standardním způsobem do odpovídajících kapitol, kde formální části práce jsou následovány literárním přehledem současného stavu problematiky zkoumané oblasti obsahující výchozí stav problematiky oboru zaměřené na předúpravy povrchu, mechanické a chemické, dále na popis duplexních systémů a ucelený text zabývající se adhezí. Dále autor popsal současné chemické předúpravy povrchu žárově pozinkovaných materiálů, mezi které zařadil chromátování, fosfátování a další alternativní způsoby předúpravy jako jsou konverzní vrstvy Ti-Zr a organosilany. V třetí kapitole autor uvedl cíle práce. Čtvrtá část práce obsahuje charakterizaci zvolených materiálů a experimentální metody práce zároveň s vyhodnocením získaných výsledků. Výsledky práce jsou názorně zpracovány do formy tabulek, obrázků a grafů. Celkově se jedná o 49 tabulek, 14 grafů, 38 obrázků, rozsah práce činí 137 číslovaných stran textu, počet příloh je 1. V textu jsou náležitě zpracovány kromě závěru i přínosy práce pro vědu a praxi (Závěr, Přínosy pro vědu a praxi) a je konstatováno splnění cílů (Splnění cílů disertační práce). Na konec práce byl vložen seznam citované literatury (Seznam použité literatury) a seznam publikovaných prací autorem předkládané disertační práce (Publikace autora vztahující se k práci a Publikace autora přímo nesouvisející s disertační prací). Seznam citované literatury čítá 91 odkazů. K disertační práci jsou přiloženy požadované teze práce.

Zvláště oceňuji dosažené výsledky a diskusi z jednotlivých postupů předúprav, provedení velkého množství experimentů z fosfátovacích, chromátovacích lázní, ale i z postupů v lázních pomocí Ti-Zr sloučenin a organosilanů označených jako Coatsil MP200 včetně modifikovaného postupu. Autor zvládl vyhodnotit velké množství výsledků přilnavosti a korozní odolnosti navržených a testovaných duplexních systémů, které přinášejí cenné výsledky pro odborníky z oblasti povrchových úprav. Pečlivé vyhodnocení výsledků tak mohlo vyústit v návrh

perspektivního technologického postupu a parametrů lázně pro pasivaci žárového zinku.

Je možné konstatovat, že předkládaná práce je vypracována na vyhovující obsahové i grafické úrovni, předepsaná formální stránka práce koresponduje s naplněním obsahové části práce. Výsledky a závěry práce spolu s experimentální prací jsou zpracovány na dostatečném počtu stran a byly získány že správně metodicky rozvržené a ověřené experimentální práce s provedením dostatečného množství experimentů. Disertační práce je napsána srozumitelným způsobem, splňuje po formální, grafické i jazykové úrovni požadavky kladené na disertační práce.

K práci mám pár drobných připomínek a otázek, například pro diskusi během obhajoby:

- *Některá grafické nebo tabulkové vyjádření výsledků spadají dle mého pohledu spíše do označení obrázků nebo diagram (viz např. Tab. 44 nebo graf 14)*
- *Obr. 1 str.14: na základě čeho je usuzováno na propojení kovu a konverzní vrstvy organosilanu chemickými vazbami?*
- *Str. 22: "v alkalických odmašťovacích prostředcích je obsažen především louh nebo soda,"*

Jaký „louh“ či zásady se nejvíce používají v průmyslu odmašťování?

- *Str. 24: „Kyselina chlorovodíková rozpouští okuje převážně chemicky, kdežto v kyselině sírové zůstává jejich velká část rozpuštěna jako kal, proto je spotřeba kyseliny chlorovodíkové mnohem větší ...“*

Můžete popsat přesněji rozdíl a výhody, event. nevýhody moření pomocí uvedených kyselin?

- *Str. 30. Tato kapitola popisuje základní principy, které ovlivňují nejzásadněji přilnavost organických povlaků k povrchu základního materiálu. „Nejčastěji je adheze definována jako soudržnost dvou spojovaných ploch a materiálů – dva odlišné povrchy (tělesa) jsou v těsném kontaktu“ ...*

Bylo by možná pro oblast organických povlaků a nátěrových hmot popsat teorii adheze nejenom v souvislosti spojování materiálů lepením. Co má nejvyšší vliv na adhezi organických povlaků k podkladu, jaké typy nátěrových hmot se používají k aplikaci přímo na kovový povrch jako základní nebo antikorozní nejčastěji?

- *Str.33: „Autoři ve studii "Innovative approaches to improve the adhesion of organic coatings"[75] publikované v časopise Surface Engineering v roce 2021 došli k závěru, že zlepšení adheze organických povlaků lze dosáhnout několika inovativními přístupy. Klíčové metody zahrnují úpravu povrchové chemie, použití nanotechnologií a optimalizaci aplikačních procesů. Tyto přístupy nejen zvyšují přilnavost povlaků k podkladovým materiálům, ale také zlepšují jejich odolnost vůči korozi a mechanickému poškození.*

O jaké inovativní přístupy nebo klíčové metody se přesně pravděpodobně jedná, co vše zahrnuje „úprava povrchové chemie“?

- *Str.33: „Fyzikálně – chemické vlastnosti nátěrových systémů a jejich ověření*

Asi se jedná o omyl v nadpisu kapitoly.

- Str.42: „Chromáty mohou migrovat na poškozená místa, jestliže je konverzní vrstva odhalena kvůli vysokému oxidačnímu potenciálu šestimocného chromu (snížení Cr⁶⁺ na Cr³⁺).“... Redukce chromu účinně snižuje rychlost koroze kovu.

Lze uvedené souvětí vyjádřit i trochu jinými slovy, překlady odborných článků nejsou často snadné.

- str.47: “Využívají vazby mezi oxidickými vrstvami na kovech a hydroxylovými skupinami, které vznikají při hydrolýze uvolněním metanu, etanolu či propanolu nebo vazby siloxanové mezi částicemi organosilanu a volných hydrolyzovaných molekul.”

Opravdu se jedná o metan?

- Str. 50: “Bází katalyzovaná hydrolýza zahrnuje útok na Si-O hydroxylovým iontem”

Jak by v tomto slovním spojení označení „útok“ šlo popsat přesněji?

- *Jakými instrumentálními technikami lze dokázat přítomnost konverzních vrstev na oceli nebo žárovém zinku?*

9. Závěr

Na závěr svého posudku konstatuji, že doktorand Ing. Jakub Svoboda prokázal schopnost samostatné vědecké práce, získané výsledky jeho disertační práce jsou přínosem pro další rozvoj vědy a techniky oboru Strojírenská technologie. Protože je zřejmé, že hodnocená práce splňuje požadavky na obsah i podobu disertační práce, doporučuji Ing. Janu Svobodovi po úspěšné obhajobě předložené práce udělit titul Ph. D.

V Pardubicích, 22.7. 2024

.....
prof. Ing. Andrea Kalendová, Dr.