

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**TEZE
DISERTAČNÍ
PRÁCE**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

VLIV PŘEDÚPRAV POVRCHU ZINKOVÝCH
POVRCHŮ NA PŘILNAVOST ORGANICKÝCH
POVLAKŮ

Ing. JAKUB SVOBODA

Doktorský studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojírenská technologie

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Teze disertace k získání akademického titulu "doktor", ve zkratce "Ph.D."

Praha

5/2024

Název anglicky: Effect of surface pretreatment of zinc surfaces
on the adhesion of organic coatings

Disertační práce byla vypracována v prezenční formě doktorského studia na Ústavu strojírenské technologie Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Disertant: Ing. Jakub Svoboda

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze
Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojní ČVUT v Praze
Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice

Oponenti:

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne v hod.

v zasedací místnosti č. 17 (v přízemí) Fakulty strojní ČVUT v Praze,
Technická 4, Praha 6

před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Strojírenská
technologie.

S disertací je možno se seznámit na oddělení vědy a výzkumu Fakulty
strojní ČVUT v Praze, Technická 4, Praha 6.

Prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.

předseda oborové rady oboru Strojírenská technologie

Fakulta strojní ČVUT v Praze

1. SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Předmětem disertační práce je rozšíření o nová a vhodnější řešení současných poznatků předúprav povrchu, zejména povlaků na bázi zinku.

V úvodu práce je shrnuta daná problematika v oblasti chemických předúprav materiálů, neboť správná a kvalitní předúprava povrchu je základem životnosti celého duplexního systému, tedy zinku a organického povlaku. Z praktických zkušeností a výzkumu je známo, že pokud se aplikuje organický povlak nátěrové hmoty na nedostatečně předupravený povrch pozinkované součásti nebo dokonce na povrch bez předúpravy, budeme se potýkat s řadou problémů, selhání protikorozi ochrany a adheze povlaku. Po určité době bude povlak vystavený agresivnímu koroznímu prostředí degradovat, dojde ke ztrátě přilnavosti, tedy ztrátě adheze mezi organickým povlakem a pozinkovaným materiálem.

Vzhledem k rozvoji žárového zinkování a duplexních systémů jsou úpravy povrchů, nová řešení a vazby těchto povlaků velmi aktuální problematikou výzkumu i praxe.

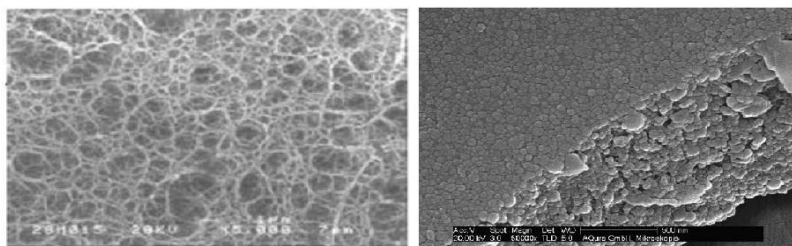
Chemické předúpravy jsou základním krokem vytvoření tzv. konverzních vrstev, zejména na ocelovém, hliníkovém a zinkovém podkladu. Díky předúpravám povrchu je možné dosáhnout zvýšení přilnavosti nátěrového systému a celkovou odolností proti korozi. Tradiční předúpravy povrchu před nanášením organických nátěrových hmot jsou nyní nahrazovány těmi šetrnějšími k životnímu prostředí. Významným zástupcem nových předúprav povrchu materiálu jsou zejména ty na bázi zirkonia a titanu, vylučované z roztoků s obsahem fluorozirkoničitanů, ale také povlaky z předhydrolyzovaných organosilikátů. Právě těmto předúpravám povrchu žárového zinku byla v práci věnována výzkumná činnost s ohledem na vytvoření optimálního technologického postupu pro vytvoření moderních předúprav a jejich ověření z pohledu fyzikálně – chemických vlastností.

Dle rešerše a rozborem současného stavu problematiky bylo cílem práce vytvořit optimální chemickou předúpravu žárově pozinkovaného materiálu s ohledem na maximální korozní odolnost a zvýšenou přilnavost organického povlaku. Pro zajištění dostatečné protikorozi odolnosti a přilnavosti následně aplikovaného organického povlaku je nutné zajistit dostatečnou předúpravu povrchu materiálu.

Současným trendem předúprav povrchu materiálu před aplikací dalších povlaků je především snaha o optimalizaci technologických parametrů lázní jednotlivých předúprav, které vedou k udržitelnosti celého provozu, snížení ekologické a ekonomické náročnosti procesu. Do současné problematiky bezesporu vstupuje tvorba jemnozrnných vrstev na bázi fluorozirkoničitanů a organosilikátů.

Cílem práce bylo též ověření těchto vrstev z pohledu protikorozní odolnosti a přilnavosti organického povlaku nátěrové hmoty. Zároveň bylo důležité vytvořit optimální technologický postup předúpravy povrchu, který bude splňovat náročné požadavky extrémních korozních prostředí.

Na obr. 1 je patrné propojení kovu konverzní vrstvy organosilanu s provázáním chemickými vazbami, které jsou daleko pevnější než vazby fyzikálními silami (Van der Waalsovy síly) [2].



Obr. 1: Snímek vrstvy: struktury vrstev sůl – gel technologií, měřítko 500 nm [2]

Další možností mohou být vrstvy na bázi Ti – Zr v tloušťkách do 50 nm a méně, vykazující srovnatelnou odolnost s běžnými chromáty a fosfáty [3].

Kapitola obsahuje popis nových předúprav povrchu materiálů, které jsou řešeny v disertační práci. Jedná se zejména o chemické předúpravy na bázi zirkonia a titanu, vylučovaných z roztoků s obsahem fluorozirkoničitanů a vrstvy z předhydrolyzovaných organosilikátů.

Konverzní vrstvy poskytují dostatečnou pórovitost a morfologii povrchu pro přilnavost organických povlaků. Existuje řada metod pro vytváření konverzních vrstev na bázi fosfátů, chromátů, modifikovaných typů železnatých fosfátů, Ti-Zr konverzních vrstev a dalších [1].

Každá z výše zmíněných chemických předúprav povrchu má svůj vliv na přilnavost organických povlaků, což je i předmětem práce.

Studie korozní odolnosti a přilnavosti s použitím alternativních chemických předúprav povrchu (Ti-Zr, Organosilany) a jejich vlivu na životní prostředí

Součástí rešeršní práce bylo mimo jiné zhodnocení současného stavu výzkumu v této oblasti od jiných autorů. Do teze disertační práce jsou zahrnuty klíčové články k dané problematice.

V článku „Corrosion resistance of zirconium-titanium conversion coatings on galvanized steel“ [80] autoři zkoumali korozní odolnost konverzních povlaků na bázi zirkonia a titanu na pozinkované oceli.

Výsledky ukázaly, že tyto povlaky výrazně zlepšují odolnost proti korozi, přičemž vzorky s těmito povlaky vykazovaly pouze 5% ztrátu hmotnosti po 500 hodinách v solné mlze, ve srovnání s 20% ztrátou hmotnosti u nepovlakovaných vzorků.

To naznačuje, že povlaky na bázi zirkonia a titanu poskytují lepší ochranu než tradiční metody, které nedosáhly takových výsledků.

Článek od autorů Jones, R., Smith, A., & Brown, T. (2018) „Comparative study of phosphating and chromating pretreatments for organic coatings adhesion on zinc surfaces“ [81] porovnává naopak fosfátové a chromátové předúpravy pro zlepšení přilnavosti organických povlaků na zinkových površích. Studie zjistila, že fosfátové předúpravy zvyšují přilnavost organických povlaků o 30 % ve srovnání s chromátovými předúpravami. Kromě toho vzorky s fosfátovou předúpravou vykazovaly zlepšení odolnosti proti korozi s průměrnou životností 1000 hodin v solné mlze oproti 700 hodinám u chromátovaných vzorků.

V článku „Environmental advantages of titanium-zirconium conversion coatings: A review“ [82] autoři zkoumali environmentální výhody konverzních povlaků na bázi titanu a zirkonia. Bylo zjištěno, že tyto povlaky mají nižší ekologický dopad než tradiční metody, jako je chromování. Povlaky na bázi titanu a zirkonia mají o 50 % nižší emise škodlivých látek a zároveň poskytují ochranu proti korozi, která je srovnatelná nebo lepší než u tradičních metod.

V další práci s názvem „Adhesion enhancement of organic coatings on zinc substrates using organosilane pretreatments“ [83] se autoři zabývali vlivem organosilanových předúprav na přilnavost organických povlaků na pozinkovaných površích. Výsledky ukázaly, že organosilanové předúpravy zvyšují přilnavost organických povlaků o 40 % ve srovnání se vzorky bez předúpravy. Navíc tyto předúpravy zlepšují odolnost proti korozi, přičemž vzorky s organosilanovými předúpravami vykazovaly životnost 1200 hodin v solné mlze oproti 800 hodinám u vzorků bez předúpravy.

Další článek „Challenges and environmental concerns of chromate-based coatings.“ [84] se zabývá opět výzvami a environmentálními obavami spojenými s chromátovými povlaky. Autoři uvádějí, že chromátové povlaky jsou spojeny s vysokou toxicitou a emisemi hexavalentního chrómu, což má negativní dopad na životní prostředí. Studie také zjistila, že přechod na alternativní metody, jako jsou povlaky na bázi titanu a zirkonia, může snížit emise škodlivých látek o více než 70 %.

Dále se autoři článku „Recent advances in organosilane pretreatment for corrosion protection of metal substrates“ [85] zabývají pokroky v oblasti organosilanových předúprav pro ochranu proti korozi kovových materiálů.

Studie ukazuje, že organosilanové předúpravy zlepšují odolnost proti korozi, přičemž vzorky s těmito předúpravami vykazovaly průměrnou životnost 1500 hodin v solné mlze, což je o 50% více než u vzorků bez předúprav. Dále autoři zdůrazňují, že organosilanové předúpravy jsou šetrnější k životnímu prostředí díky nižším emisím škodlivých látek.

V další práci se autoři Sathyanarayana, M.N., & Yaseen, M. zaměřili pohledu přilnavosti organických povlaků s použitím organosilanů. V článku „Role of promoters in improving adhesion of organic coatings to a substrate“ [86] autoři popsali, že organosilany výrazně zlepšují přilnavost organických povlaků k různým podkladovým materiálům. Například povlaky upravené s γ -aminopropyltriethoxysilanem (γ -APS) vykazovaly zvýšení přilnavosti z 3B na 5B dle ASTM D3359. Korozní odolnost se rovněž zlepšila, s poklesem hmotnostní ztráty z 15 % na méně než 5 % po 500 hodinách v solné mlze.

Článek „Adhesion Promoters and Primers“ [87] popisuje kapitolu, která shrnuje poznatky, že organosilany jako γ -APS a γ -glycidoxypropyltrimethoxysilan (γ -GPS) zvyšují přilnavost organických povlaků díky tvorbě silných kovalentních vazeb. Přilnavost epoxidových povlaků na hliníkových površích upravených γ -GPS vzrostla o 60 % ve srovnání s neupravenými povrchy. V testu ASTM D3359 dosáhly tyto povrchy hodnocení 5B.

Článek „Organosilanes as adhesion promoters for organic coatings“ [88] autora Walker P. popisuje, že použití organosilanů jako primerů zvyšuje přilnavost organických povlaků o 40 %. Povlaky upravené s γ -aminopropyltriethoxysilanem (γ -APS) vykazovaly zlepšení přilnavosti z hodnocení 2B na 4B dle ASTM D3359. Dále bylo zjištěno, že povlaky mají lepší odolnost proti vlhkosti a mechanickému namáhání.

Další výzkum v článku z roku 2018 „Advances in Automotive Conversion Coatings during Pretreatment of the Body Structure“ [89] autoři uvádí, že fosfátování zvyšuje přilnavost organických povlaků o 30 % ve srovnání s povrchy bez předúpravy, zatímco chromátování zvyšuje přilnavost o 40 %. Organosilany zvyšují přilnavost až o 50 % a poskytují lepší ochranu proti korozi než fosfátové a chromátové povlaky.

Dále autoři článku „Post Treatment of Hot Dip Galvanized Steel Sheet-Chromating, Phosphating and other Alternative Passivation Technologies“ [90] popisují, že fosfátování zlepšuje přilnavost organických povlaků z hodnocení 3B na 4B dle ASTM D3359, zatímco chromátování dosáhlo hodnocení 5B. Organosilanové předúpravy vedly k hodnocení 5B a poskytly nejlepší výsledky v testech přilnavosti a korozní odolnosti.

Tyto výzkumy a studie naznačují, že organosilany mohou poskytovat lepší korozní odolnost a přilnavost organických povlaků ve srovnání s fosfátováním a chromátováním, a to díky jejich schopnosti vytvářet silné chemické vazby mezi povlakem a podkladovým materiálem s danou předúpravou povrchu. Navíc organosilany mají nižší ekologický dopad, což je důležité pro moderní průmyslové aplikace.

2. CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Stav a předúprava povrchu materiálu jsou dva klíčové faktory pro výslednou kvalitu a životnost následně aplikovaných organických povlaků. Významným činitelem je přilnavost organické nátěrové hmoty, kterou výrazným způsobem ovlivňují mechanické nebo chemické předúpravy povrchu. Hlavním cílem práce byla především optimalizace technologických parametrů lázně chemické předúpravy povrchu žárového zinku, která vede k udržitelnosti celého provozu, snížení ekologické a ekonomické náročnosti. Jedná se tedy o dnešní možnou náhradu chemických předúprav pomocí chromátování a fosfátování, vzhledem k dnešním regulacím na poli nebezpečných látek v povrchových úpravách materiálu. Problémem dnešního chromátování je omezení v oblasti jeho použití, totéž platí i pro některé další kovy a chemické látky (olovo, rtuť, kadmium, CrVI+), jak je popsáno v evropské směrnici 2011/65/EU (nařízení vlády – rok 2016, č.391/2016 Sb.) [91].

Optimální technologický postup chemické předúpravy žárového zinku je zajištěn:

- Nastavením vhodných technologických parametrů lázni chemických předúprav – optimalizace technologických časů, koncentrací chemických prostředků a teploty v lázních,
- snadnou ekologickou likvidací a snížením energetické náročnosti procesu.

Hlavní cíl disertační práce:

Vytvoření optimálního technologického postupu chemické předúpravy žárově pozinkovaného materiálu s důrazem na zvýšení přilnavosti následně aplikovaných organických povlaků nátěrových systémů.

Dílčí cíle disertační práce:

- Ověření dosavadních a nových chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu přilnavosti organických povlaků.
- Ověření dosavadních a nových chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu korozní odolnosti celého duplexního systému.

- Ověření funkčních a ochranných vlastností vytvořených povlaků nátěrových hmot metodami běžně používanými v oboru povrchových úprav.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimentální část ve spolupráci s projektovými partnery Centra kompetence – Centrum výzkumu povrchových úprav (č.p. TE0200011) byly vybrány vhodné předúpravy povrchu pro zároveň pozinkovaný materiál a základní nátěrové systémy pro ověření přílnavosti a korozní odolnosti celého duplexního systému. Pro experimentální ověření stávajících a nových moderních předúprav byly vybrány produkty od výrobců SurTec ČR s.r.o., Atotech CZ a.s. a Pragochema spol. s r.o. Základní nátěrové systémy byly poskytnuty od společnosti Colorlak a.s. a Hempel CZ s.r.o. Experimentální část byla sestavena na základě publikovaných a prezentovaných výsledků dle citovaných zdrojů autora této práce [1A – 20A].

Výsledky experimentální části a stanovení optimálního technologického postupu zároveň pozinkovaných materiálů byly rozděleny do následujících kapitol:

- Kapitola 4.5. disertační práce shrnuje vyhodnocení experimentů a ověření přílnavosti vytvořených duplexních systémů. V této kapitole je detailně popsán vliv chemických předúprav povrchu a jedné mechanické na přílnavost aplikovaných organických povlaků na epoxidové nebo polyuretanové bázi [3A, 4A, 5A, 7A, 8A, 10A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].
- Kapitola 4.6 disertační práce shrnuje vliv chemických předúprav povrchu na přílnavost organických povlaků [13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].
- Kapitola 4.7. disertační práce shrnuje výsledky experimentů korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů. Cílem bylo stanovení korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů a zhodnocení tak protikorozní ochrany v agresivním korozním prostředí pomocí urychlených korozních zkoušek v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 a kondenzační komoře dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [1A, 2A, 3A, 4A, 6A, 9A, 11A].
- Kapitola 4.8. disertační práce popisuje navržený optimální technologického postup chemické předúpravy povrchu zinku s

ohledem na maximální přilnavost vybraných organických nátěrových systémů na epoxidové nebo polyuretanové bázi [20A].

Použité chemické předúpravy povrchu

Pro vytvoření chemické předúpravy povrchu žárového zinku byly vybrány chemické prostředky:

1. **Fosfátování** - Pragofos 1920
2. **Chromátování** - Novapass 201, SurTec 678
3. **Chemické předúpravy na bázi Ti – Zr**: Interlox 5705, Pragokor BP, SurTec 6096 V
4. **Chemické předúpravy na bázi organosilanů** - Coatosil MP 200, modifikace technologického postupu chemické předúpravy organosilany

V rámci porovnání jednotlivých předúprav pozinkovaného materiálu byla vybrána i mechanická předúprava povrchu:

5. **Mechanická předúprava žárově pozinkovaného materiálu** - lehké tryskání umělým korundem o zrnitosti F30

Mechanická předúprava povrchu lehkým tryskáním byla provedena pro porovnání výše uvedených chemických předúprav a mechanické předúpravy povrchu z pohledu přilnavosti následně aplikované organické nátěrové hmoty [8A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].

Před aplikací chemické předúpravy povrchu bylo provedeno důkladné alkalické odmaštění pozinkovaných materiálů pomocí prostředků Simple Green Crystal/koncentrovaný průmyslový čistič a odmašťovač použitelný pro vodou omyvatelné povrchy pro odstranění maziv, olejů atd. Je nehořlavý, bez VOC, netoxický, biologicky odbouratelný, bez vůně, bez oplachový, bezbarvý. Bylo použito ředění 1:30 s demineralizovanou vodou, což je běžné pro odmaštění lehce znečištěných povrchů. Další informace jsou uvedeny v příloze této práce. Dalším prostředkem pro chemickou předúpravu odmašťováním byl použit vybraný produkt STAR 75. Více informací o daných produktech a technologické listy jsou uvedeny v elektronické příloze na CD.

Před aplikací chemických předúprav a nátěrových systémů byly zkušební vzorky (150 x 100 x 3 mm) z konstrukční oceli (S235 JRG1) žárově pozinkovány ve společnosti ACO Industries k.s. - Příbrav.

Použité nátěrové systémy pro ověření přilnavosti

Pro experiment byly použity tři epoxidové základové hmoty na pozinkované podklady, tedy S2318 EPAX (Colorlak a.s.), Zinorex S2211 (Colorlak a.s.), Hempadur 15570 a Hempadur 15553 (Hempel a.s.) a polyuretanový NS AXAPUR (U2218). Tyto nátěrové hmoty byly připraveny dle technologického předpisu výrobce, viz. příloha 1 disertační práce.

Aplikace nátěrových systémů

Aplikace základních nátěrových systémů byla provedena pro experimentální účely pomocí nanášecího pravítka. Právítka pro nanášení nátěrových hmot mají různé geometrické tvary (šestihranná, čtyřhranná, krabicová, válečková). Tento způsob nanášení nátěrových hmot je vhodný pro rovnoměrnou tloušťku povlaku. Tloušťka mokrého filmu je vždy po vytvrzení nepatrně tenčí, než je šterbina pravítka, neboť tloušťka nátěrové hmoty závisí především na množství netěkavých látek.

Ověření fyzikálně-mechanických vlastností použitých nátěrových hmot

Pro ověření fyzikálně – mechanických vlastností byly stanoveny hlavní zkušební postupy, které jsou uvedeny v předchozích kapitolách. Jsou běžně prováděny:

1. Stanovení tloušťky organických povlaků dle ČSN EN ISO 2808 nedestruktivně elektromagnetickou metodou.
2. Stanovení přilnavosti nátěrů mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409.
3. Stanovení přilnavosti nátěrů odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624. Přilnavost odtrhem je prováděna pro stanovení soudržnosti vrstev nátěrového systému, resp. pro zjištění maximálního tahového napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezni lom), nebo nejslabší složky (kohézni lom) hodnocených nátěrových systémů.
4. Stanovení přilnavosti křížovým řezem dle a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2.

Ověření korozní odolnosti duplexních systémů, metody a degradace nátěrových systémů

Pro stanovení a vyhodnocení korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů byly použity urychlené korozní zkoušky v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 a kondenzační komoře dle normy ČSN EN ISO 6270-1.

V solné mlze byly vzorky vystaveny vlhkému prostředí, kde probíhalo rozprašování směsi chloridu sodného s demi vodou za teploty (35 ± 2) °C.

Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 9227.

V kondenzační komoře byly vzorky vystaveny vlhkému prostředí za teploty (38 ± 2) °C. Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 6270-1.

Pro stanovení jednotlivých defektů nátěrových systémů a expozici při urychlených korozních zkouškách bylo provedeno vyhodnocení dle následujících norem:

- ČSN EN ISO 4628-2 (673071):2016. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování. Praha: ÚNMZ, 2016.
- ČSN EN ISO 4628-8 (673071):2013. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu. Praha: ÚNMZ, 2013.
- ČSN EN ISO 17872 (673101):2020. Nátěrové hmoty – Směrnice k provedení řezů povlakem na kovových vzorcích pro korozní zkoušky. Praha: ÚNMZ, 2020.
- ČSN EN ISO 4628-3 (673071):2016. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění. Praha: ÚNMZ, 2016.

4. VÝSLEDKY

Pro vyhodnocení jednotlivých předúprav povrchu žárového zinku bylo zhotoveno 8 chemických a 1 mechanická předúprava povrchu pro porovnání. Pro ověření přilnavosti bylo použito 5 základních nátěrových systémů na epoxidové a polyuretanové bázi.

V rámci nového výzkumu, vývoje a přínosu pro praxi byl navržen nový optimalizovaný postup pro předúpravu povrchu žárového zinku. Dále bylo provedeno kompletní ověření fyzikálně-mechanických vlastností nátěrových systémů.

Podrobné výsledky jsou obsahem disertační práce: Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost organických povlaků. Do teze disertační práce jsou zahrnuty hlavní a klíčové výsledky a shrnutí.

Modifikace technologického postupu chemické předúpravy organosilany

Pro modifikaci technologického postupu aplikace chemické vrstvy byl vybrán chemický prostředek Coatosil MP 200 s nejlepšími výsledky odtrhových zkoušek. Cílem bylo zvýšit přilnavost a korozní odolnost celého duplexního systémů. Bezprostředně po vytvoření pasivačních vrstev byly aplikovány organické povlaky S2318 a H 15570 [20A].

Nejvyšších odtrhových napětí NS napříč všemi předúpravami povrchu bylo dosaženo se základním epoxidovým nátěrovým systémem S 2318 EPAX. Bylo tedy důležité vytvořit takové podmínky a úpravu technologického postupu, který povede k extrémní přilnavosti epoxidového základu.

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 1: modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn

Koncentrace [% obj.]	15
Teplota místnosti [°C]	22,5
pH	4,1
Doba působení [min]	5

Tab. 2: modifikovaný technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Coatosil MP 200

Operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas
Alkalické odmaštění	Star 75 PN	5 %	60	3 min.
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2 min.
Oplach pasivační	Coatosil MP 200	15 %	22,5	5 min.
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2 min.
Sušení	-	-	místnosti	180 sek.

Nově vytvořený technologický postup vedl ke zvýšení koncentrace produktu v lázni až o 5 %, ale naopak snížení technologického času pro vytvoření této vrstvy na povrchu, a to o 5 minut. Nově vytvořený postup pasivace [20A], jako chemické předúpravy povrchu je vhodný zejména pro následnou aplikaci základových epoxidových nátěrových systému, jak je popsáno v kapitole výsledků 4.5. disertační práce.

Výsledky zkoušek přilnavosti – modifikace technologického postupu_ Coatosil MP200

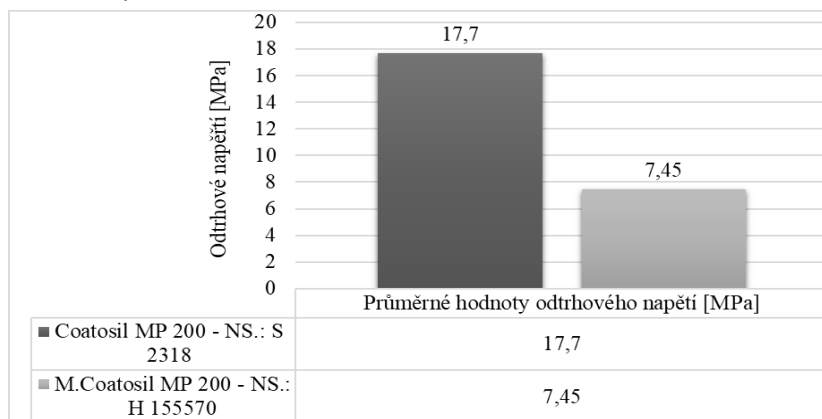
Tab. 3: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318

Modifikace postupu aplikace: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížová zkouška
1	1	16,7	100% B	0	0
	2	17,5	100% B		
	3	18,3	100% B		
2	1	17,8	70% B, 30% B/Y	0	0
	2	18,2	75% B, 25% B/Y		
	3	16,4	100% B		
3	1	18,1	100% B	0	0
	2	18,4	100% B		
	3	17,9	95% B, 5% B/Y		
Ø Hodnota		17,7			

Tab.4: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570

Modifikace postupu aplikace: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez	Mřížová zkouška
1	1	5,9	100% B	0	0
	2	6,7	100% B		
	3	12,3	100% B		
2	1	7,5	100% B	0	0
	2	6,5	100% B		
	3	7,2	5% A/B, 95% B		
3	1	8,2	100% B	0	0
	2	5,9	100% B		
	3	6,9	5% A/B, 70% B		
Ø Hodnota		7,45			

Graf 1: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Coatosil MP 200 - Modifikace: NS.: S 2318, Coatosil MP 200 - NS.: H 15570



Vyhodnocení výsledů přilnavosti po modifikaci technologického postupu

Technologický postup byl modifikován pro vytvoření vhodné jemnozrné struktury silanové vrstvy na žárově pozinkovaném materiálu a pro následné zvýšení vybraných základních epoxidových nátěrových systémů (S 2318

EPAX a H 15570). Tato změna spočívalo ve zvýšení koncentrace produktu v lázni z původních 10 % na 15 % a snížení technologického času pro vytvoření vrstvy silanu z původních 10 min. na 5 min [20A].

Modifikace technologického postupu chemické předúpravy Coatosil MP 200 vedla ke zvýšení adheze organického povlaku S 2318 k podkladu žárového zinku téměř o 1,8 MPa, téměř o 11 % více. Stejně tak došlo ke zvýšení adheze k podkladu v případě nátěrového systému H 15570 téměř o 2,3 MPa, téměř o 30 % více. Na zkušebních vzorcích byly provedeny odtrhové zkoušky přilnavosti dle ČSN ISO 4624, mřížková zkouška dle ČSN ISO 2409 a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2 (kap. 4.6, 4.7 disertační práce). Modifikace technologického postupu byla provedena dle rozsáhlých experimentů, publikovaných ve zdrojích literatury autora [1-20A].

Vyhodnocení výsledků přilnavosti vytvořených duplexních systémů

Pro vyhodnocení jednotlivých předúprav povrchu žárového zinku bylo zhotoveno 8 chemických a 1 mechanická předúprava povrchu pro porovnání. Pro ověření přilnavosti bylo použito 5 základních nátěrových systémů na epoxidové a polyuretanové bázi.

V rámci nového výzkumu, vývoje a přínosu pro praxi byl navržen nový optimalizovaný postup pro předúpravu povrchu žárového zinku.

1. Chemická předúprava povrchu fosfátováním

Pro vyhodnocení přilnavosti a chemické předúpravy fosfátováním byl použit chemický prostředek Pragofos 1920, který se běžně používá pro předúpravu pozinkovaných ocelí a hliníku před nanášením nátěrových systémů. Po vytvoření chemické předúpravy následovala aplikace systémů S 2318 a H 15570.

Celková přilnavost nátěrového systému po ověření zkoušek přilnavosti:

V případě nátěrového systém S 2318 bylo dosaženo odtrhového napětí v průměru 4,34 MPa s kohezním lomem převážně v nátěrovém systému (60 – 80% B), vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 0, křížový řez: klasifikace 0 [4A].

Dále byl aplikován nátěrový systém H 15570 a bylo dosaženo odtrhového napětí 5,10 MPa. Zde docházelo převážně k lomu mezi podkladem a vrstvou nátěrového systému (A/B), vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 0, křížový řez: klasifikace 0.

2. Chemická předúprava povrchu chromátováním

Použité chemické prostředky pro chromátování: Novapass 201, SurTec 678.

V případě SurTec 678 se jedná o trojmocnou pasivaci pro zinek a slitiny Zn/Ni a je to vysoce koncentrovaný produkt obsahující Cr (III) a soli kobaltu, který vytváří transparentní až modrý odstín na povrchu žárového zinku.

Výsledek přilnavosti odhalil, že ne každý nátěrový systém je vhodný pro danou chemickou předúpravu povrchu. Mohlo jít o nekvalitní produkt, případně o chemickou interakci mezi pasivací a nátěrovým systémem. Po aplikaci epoxidového nátěrového systému Zinorex (S2211) bylo dosaženo pouhých 0,34 MPa, vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 3, křížový řez: klasifikace 2. Zatímco při aplikaci nátěrového systému Axapur (U2218) bylo dosaženo mnohem vyšších odtrhových napětí, a to až 12,5 MPa [13A] a převážně kohezního lomu ve vrstvě nátěrového systému, vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 0, křížový řez: klasifikace 0.

Při chemické předúpravě pomocí produktu Novapass 201 bylo dosaženo v případě epoxidového nátěrového systému S2318 EPAX odtrhových napětí 13,9 MPa, vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 0, křížový řez: klasifikace 0 [13A].



Obr.2: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 678 a nátěrový systém U 2218, odtrhové napětí okolo 13 MPa

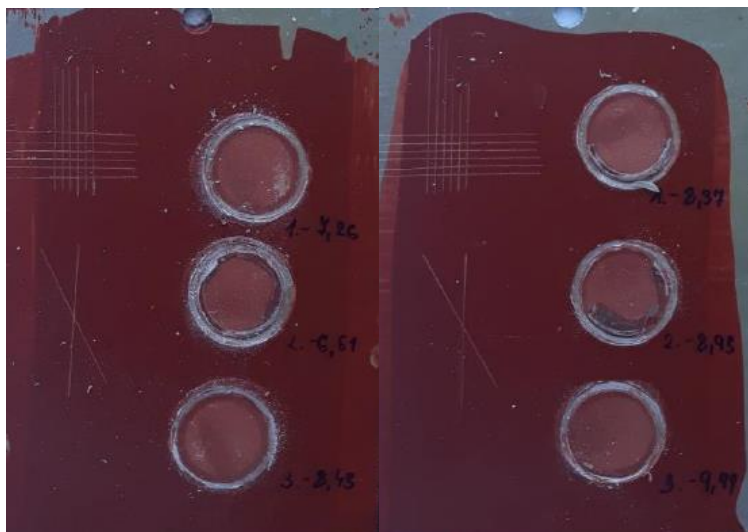
3. Chemická předúprava povrchu na bázi Ti-Zr

Použité chemické prostředky pro chromátování: Interlox 5705, Pragokor BP, SurTec 6096 V. V případě použití pasivace Interlox 5705 bylo dosaženo vysokých odtrhových napětí v kombinaci s polyuretanovým systémem Axapur U2218, a to téměř 15,7 MPa, stejně tak byly dosaženy vynikající výsledky z pohledu vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 1, křížový řez: klasifikace 1 [7A, 10A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].

V případě chemického prostředku Pragokor BP bylo dosaženo odtrhových napětí okolo 7,3 MPa, při použití nátěrového systému Axapur U2218, vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 5, křížový řez: klasifikace 1-5. Z pohledu charakteristiky lomu docházelo spíše k adheznímu lomu mezi podkladem a povlakem nátěrového systému.

Téměř totožných hodnot odtrhových napětí bylo dosaženo v případě produktu SurTec 6069 a nátěrového systému H 15570, a to okolo 8,3 MPa, přilnavost nátěrového systému byla však vyšší z pohledu charakteristiky

lomu, kdy docházelo spíše ke koheznímu lomu v povlaku nátěrového systému.



Obr.3: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 6069 a nátěrový systém H 15570, odtrhové napětí okolo 8 MPa

4. Chemická předúprava povrchu na bázi organosilanů

Pro ověření přilnavosti silanových vrstev a vybraných nátěrových systémů byl vybrán produkt Coatosil MP 200, je silanový oligomer s epoxidovou funkční skupinou, který může být zvažován pro použití jako promotor adheze nebo pojivo v polysulfidových, uretanových, epoxidových a akrylových tmelech, tmelech, lepidlech a nátěrech.

Pro základní aplikaci byl zvoleny tyto parametry lázně:

Tab. 5: Výsledky přilnavosti: parametry pasivační lázně při použití Coatosil MP200 pro Zn

Koncentrace [% obj.]	10
Teplota místnosti [°C]	23,2
pH	4,2
Doba působení [min]	10

Po provedení zkoušek přilnavosti bylo dosaženo v případě aplikace nátěrového systému S 2318 velice vysokých odtrhových napětí, to to téměř 16 MPa s charakteristikou lomu převážně v povlaku nátěrového systému, vyhodnocení mřížkové zkoušky: klasifikace 0, křížový řez: klasifikace 0 [13A].

Dle cílů disertační práce byl proveden výzkum v oblasti modifikace technologického postupu aplikace organosilanů. V rámci výzkumu bylo vyzkoušeno několik kombinací a změn technologických parametrů lázně, které vedly ke zvýšení přilnavosti. Pro modifikaci technologického postupu aplikace chemické vrstvy byl vybrán chemický prostředek Coatosil MP 200 s nejlepšími výsledky zkoušek přilnavosti. Cílem bylo zvýšit přilnavost a korozní odolnost celého duplexního systémů. Bezprostředně po vytvoření pasivačních vrstev byly aplikovány organické povlaky S2318 a H 15570.

Modifikace technologických parametrů lázně:

Tab. 6: Výsledky přilnavosti: modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn

Koncentrace [% obj.]	15
Teplota místnosti [°C]	22,5
pH	4,1
Doba působení [min]	5

Nejvyšších odtrhových napětí NS napříč všemi předúpravami povrchu bylo dosaženo se základním epoxidovým nátěrovým systémem S 2318 EPAX.

Po provedení odtrhových zkoušek bylo dosaženo odtrhových napětí téměř 18 MPa (S 2318) a docházelo pouze ke koheznímu lomu (100 % B) v povlaku nátěrového systému. Tento výsledek překonal výsledky přilnavosti v porovnání s chemickými předúpravami fosfátování, chromátování, Ti – Zr a dokonce bylo dosaženo téměř stejného odtrhového napětí, jako v případě mechanické předúpravy pomocí lehkého tryskání, kde se výrazně mění drsnost povrchu zinkované součásti [20A].



Obr.4: Vlevo a uprostřed: výsledky odtrhových zkoušek, chemický prostředek Coatosil MP200, dosaženo odtrhových napětí až 17 MPa, kohezní lom v nátěru (100%B), NS S 2318, vpravo: Modifikované parametry lázně – výsledky odtrhových zkoušek s odtrhovým napětím nad 18 MPa, kohezní lom v NS

5. Výsledné zhodnocení a porovnání zkoušek přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 – vybrané a zásadní výsledky pro chemickou předúpravu chromátováním, fosfátováním, báze Ti – Zr a organosilanů a kombinace NS

Tab.7: Závěrečné zhodnocení přilnavosti duplexních systému v kombinaci chemické a mechanické předúpravy povrchu a vybraného NS

Použitá chemická/mechanický předúprava povrchu/chemický prostředek/nátěrový systém	Odtrhové napětí [MPa]
Lehké tryskání - NS.: Axapur (U2218)	18,53
Fosfátování: Pragofos 1920 - NS.: S2318	4,34
Fosfátování: Pragofos 1920 - NS.: H15570	5,10
Chromátování: Surtec 678 - NS: U2218	12,46
Chromátování: Novapass 201 - NS.: S2318	13,90
Chromátování: Novapass 201 - NS.: H 15570	3,25
Chromátování: Interlox 5705 - NS.: U2218	15,63

Ti - Zr pasivace_Pragokor BP - NS.: U2218	7,37
Ti - Zr pasivace_SurTec 6096 - NS.: H 15570	8,36
Ti - Zr pasivace_SurTec 6096 - NS.: H 15553	7,36
Organosilany_Coatosil MP 200 - NS.: S 2318	15,92
Organosilany_Coatosil MP 200 - NS.: H 155570	5,18
Nově vytvořený technologický postup_ M.Coatosil MP 200 - NS.: S 2318	17,70
Nově vytvořený technologický postup_ M.Coatosil MP 200 - NS.: H 155570	7,45

Zeleně označené výsledky jsou ty s nejvyšším dosaženým odtrhovým napětím. V případě chemických předúprav povrchu bylo dosaženo nejvyšších hodnot při použití modifikované technologického postupu s organosilany v kombinaci s NS: S 2318 – epoxidová nátěrová hmota [3A, 4A, 5A, 7A, 8A, 10A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].

Výsledky experimentů korozní odolnosti duplexních systémů

Předmětem kapitoly disertační práce je shrnutí výsledků výzkumu korozní odolnosti jednotlivých vybraných duplexních systémů a stanovení korozní odolnosti dle současných norem a předpisů pro stanovení korozní odolnosti a klasifikaci případných defektů nátěrových systémů. Vybrané fotografie výsledků a technologické listy jsou umístěné v elektronické příloze na CD, přiložené k disertační práci. Způsoby testování jsou popsány podrobně disertační práci.

Hodnocení korozní odolnosti na vzorcích s vybranými chemickými předúpravami

Pro stanovení korozní odolnosti duplexních systémů byly použity zkušební vzorky z konstrukční oceli S235JR o rozměrech 150 x 100 x 3 mm., které byly následně žárově pozinkovány ponorem.



Obr. 5: Umístění zkušebních vzorků v solné komoře

Pro porovnání korozní odolnosti a následné adheze organického povlaku žárově pozinkovaného materiálu pomocí nových metod předúprav povrchu a stávajících, bylo zvoleno tyto aplikace a produkty:

1. Aplikace Ti-Zr – Pragokor BP
2. Chromátování – Novopass 201
3. Organosilany Coatosil MP 200
4. Modifikace organosilanů Coatosil MP 200

Technologické postupy aplikace chemických předúprav povrchu jsou popsány v kapitole 4.5 disertační práce.

Pro experiment byly použity dvě epoxidové základové hmoty na pozinkované podklady, tedy S2318 EPAX (Colorlak a.s.), Hempadur 15570 (Hempel a.s.).

Nátěrové hmoty byly vybrány na základě naměřených nejvyšších odtrhových napětí dle přechází kapitoly a dílčích cílů disertační práce. Tyto nátěrové hmoty byly připraveny dle technologického předpisu výrobce. Časové rozestupy kontrol korozní odolnosti a fotodokumentace zkušebních vzorků probíhaly po 24, 48, 72, 120, 168, 268, 360, 420, 500, 596 (572 pro solnou mlhu), 644, 720, 788, 864, 932, 1000 hodin.

Prvních 22 vzorků bylo hodnoceno po 360 hodinách, zbylých 32 vzorků po 864 a 1000 hodinách kdy byl experiment ukončen.

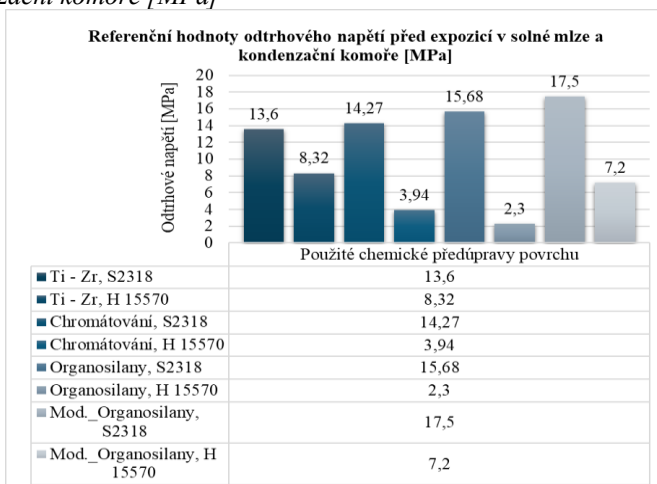
Tento interval byl zvolen z důvodu degradace některých systémů už po expozici 360 hodin, kdy byl odebrán jeden vzorek z každé série.

Na zkušebních vzorcích byla provedena také zkouška křížovým řezem a mřížková zkouška, stanovení stupně delaminace a podkorodování NS. Korozní odolnost duplexních systémů byla publikována ve zdrojích [1A, 2A, 3A, 4A, 9A, 11A, 20A].

Výsledky: Zkouška v kondenzační komoře dle ČSN EN ISO 6270-1 a solné mlze dle ČSN EN ISO 9227

Pro porovnání jednotlivých metod chemických předúprav povrchu byly provedeny zkoušky přílnavosti dle ČSN EN ISO 4624 před expozicí v solné a kondenzační komoře. Průměrné hodnoty odtrhových napětí v grafech 10 – 13 jsou vypočtené vždy z 5 hodnot výsledků odtrhových zkoušek na jednotlivých zkušebních vzorcích.

Graf 21: Referenční hodnoty odtrhového napětí před expozicí v solné mlze a kondenzační komoře [MPa]



Z grafu 2 je patrné, že nejvyšších hodnot odtrhových napětí bylo dosaženo v případě modifikovaného technologického postupu aplikace organosilanů. Bylo dosaženo téměř 18 MPa. Při použití nátěrového S2318 bylo dosaženo vyšších odtrhových napětí, než v případě nátěrového systému H 15570. Dále byly zkušební vzorky vystaveny urychleným korozním zkouškám v umělé atmosféře [1A, 2A, 3A, 11A].

Expozice v solné mlze po 360 hodinách

Vzorky byly exponovány v neutrální solné mlze po dobu 360 hodin. Při průběžné kontrole byly na vzorcích objeveny první defekty nátěrového systému, ale také první známky podkorodování. Ve většině případů došlo k selhání protikorozní ochrany.

Nejvyšších hodnot odtrhového napětí (po expozici 360 hodin v solné mlze) bylo dosaženo v případě chromátování a aplikace epoxidové nátěrové hmoty S2318. Nejvyšších hodnot odtrhového napětí pro oba nátěrové systémy bylo dosaženo v případě modifikovaného technologického postupu (14,5 MPa – S2318 a 12,3 MPa – H 15570). Klasifikace křížového řezu: 1, klasifikace mřížky: 1 [1A, 2A, 3A, 4A, 11A].

Expozice v kondenzační komoře po 360 hodinách

Vzorky byly exponovány v kondenzační komoře po dobu 360 hodin.

Nejvyšší odolnosti proti vlhkosti dosáhl systém na bázi modifikovaného technologického postupu organosilany [20A]. Po expozici 360 hodin v kondenzační komoře bylo naměřeno odtrhové napětí okolo 7,7 MPa v případě nátěrového systému S2318 a 6,9 MPa v případě nátěrového systému 15570.

Klasifikace křížového řezu: 1, klasifikace mřížky: 1. Zásadní je významná odolnost proti působení vlhkosti oproti jiným chemickým předúpravám povrchu zinkového materiálu [1A, 2A, 3A, 11A].

Expozice v solné mlze po 1000 hodinách

Po 1000 hodinách expozice v solné mlze byly testy urychlené degradace duplexních systémů ukončeny. Po 1000 hodinách expozice v solné mlze začal NS Hempadur 15570 selhávat, měl velmi nízká odtrhová napětí a velmi nízkou přilnavost povrchu pro chemické předúpravy Ti-Zr (Pragokor BP) a Ti-Zr (SurTec 6069). V obou případech nastalo stržení pomocí lepící pásky při mřížkové zkoušce a pomocí křížového řezu. U předúpravy pomocí organosilanů bylo dosaženo také poměrně vysokých hodnot odtrhového napětí u NS Hempadur 15570. Puchýřkování klasifikace: 1, delaminace (d): 0, podkorodování (c): 3,65. Je důležité poukázat na to, že se jedná o 1. vrstvý nátěrový systém a podmínka 1000 hodin expozice v neutrální solné mlze je z pohledu protikorozní ochrany velice náročná.

Zkouška sloužila zejména pro porovnání jednotlivých chemických předúprav povrchu a hledání extrémních případů korozní odolnosti. Naopak v kondenzační komoře si NS Hempadur z pohledu odolnosti proti vlhkosti ve většině případů vedl lépe než NS Colorlak, kde je zejména s provedenou modifikací technologického postupu na bázi organosilikátů [1A, 2A, 3A, 4A, 11A].

Tab. 8: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS S 2318

Coatosil MP 200 / NS S2318, 864 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]	
Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 [56] byl hodnocen stupeň delaminace a podkorodování nátěrového systému. Stupeň delaminace $d = 0$ a stupeň koroze $c = 3,65$, puchýřkování klasifikace: 0	

Tab. 8: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS H 15570

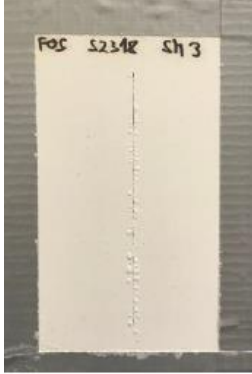
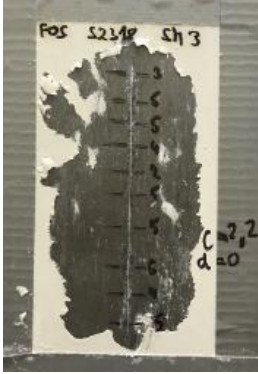
Coatosil MP 200 / NS H 15570, 864 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]	
Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 byl hodnocen stupeň delaminace a podkorodování nátěrového systému: $d = 0$, $c = 4,7$, puchýřkování: 0	

Expozice v kondenzační komoře po 1000 hodinách



Výsledky expozice v kondenzační komoře po 1000 hodinách ukázaly poměrně dobrou odolnost chemické předúpravy organosilany a vybraných nátěrových systémů proti vlhkosti. Nejvyšších hodnot odtrhového napětí bylo dosaženo v případě modifikovaného technologického postupu lázně na bázi organosilanů [11A, 20A].

Většina ostatních vytvořených duplexních systémů selhala již po 240 a 360 hodinách v solné mlze, ale i kondenzační komoře. Ukázkou degradace celého systému lze pozorovat v tabulce č. 46 a č. 47, kde je zobrazen výsledek vyhodnocení podkorodování a defektů nátěrových systémů s chemickou předúpravou fosfátováním již po 240 hodinách, jež bylo předmětem dalšího výzkumu v této oblasti [1A, 2A, 3A, 4A, 11A].

Tab.9: Pragofos 1920 / NS. S 2318, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227

Pragofos 1920 / NS. S 2318, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227	
	
Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 byl hodnocen stupeň delaminace a podkorodování nátěrového systému. Stupeň delaminace $d = 0$ a stupeň koroze $c = 2,2$, puchýřkování: 0	

Tab. 10: *Pragofos 1920 / NS. H 15570, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]*

Pragofos 1920 / NS. H 15570, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227	
	
Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 byl hodnocen stupeň delaminace a podkorodování nátěrového systému. Stupeň delaminace $d = 0$ a stupeň koroze $c = 0,77$, puchýřkování: 1	

5. NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU PŘEDÚPRAVY POVRCHU ŽÁROVÉHO ZINKU

V rámci disertační práce bylo ověřeno několik postupů chemických předúprav povrchu pozinkovaného materiálu. Po srovnání jednotlivých předúprav povrchu a ověření té nejúčinnější z pohledu přilnavosti organických povlaků byl modifikován technologický postup chemického prostředku Coatosil MP 200 na bázi organosilanů. Jedná se o nízkoteplotní aplikaci vrstvy na bázi organosilikátů, která splňuje současné ekologické a technologické požadavky v procesech povrchových úprav. Hlavním cílem bylo zvýšit přilnavost následně aplikované organické nátěrové hmoty a dílčím cílem bylo ověření korozní odolnosti celého duplexního systému [20A].

Nově vytvořený technologický postup předúpravy pozinkované oceli

Tab. 11: Technologický postup pasivace – modifikace [20A]

Název operace	Chemický prostředek	Koncentrace v lázni [%]	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Star 75 PN	5	60	3
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Pasivace	Coatosil MP 200	15	22,5	5
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2

Nově vytvořený technologického postupu vedl ke zvýšení koncentrace produktu v lázni až o 5 %, ale naopak snížení technologického času pro vytvoření vrstvy na povrchu, a to o 5 minut. Nově vytvořený postup pasivace, jako chemické předúpravy povrchu je vhodný zejména pro následnou aplikaci základových epoxidových nátěrových systému, jak je popsáno v kapitole výsledků 4.5. [20A].

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab.12: modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn [20A]

Koncentrace [% obj.]	10 - 15
Teplota místnosti [°C]	22,5
pH	4,1
Doba působení [min]	5

6. DISKUZE VÝSLEDKŮ

Kapitola shrnuje porovnání dosažených experimentálních výsledků s dostupnými výzkumy a zdroji od ostatních autorů.

Disertační práce byla zaměřená na vytvoření optimálního technologického postupu pro chemickou předúpravu organosilany s ohledem na maximální korozní odolnost a přilnavost organických povlaků. Na základě podrobné literární rešerše byla provedena analýza současných metod a technologií používaných v oblasti předúprav povrchu pozinkovaných materiálů. Ostatní autoři v této oblasti dospěli k různým závěrům, zejména pokud jde o efektivitu různých předúprav povrchu na zlepšení přilnavosti a korozní odolnosti.

Přehled literatury ukazuje, že většina studií se shoduje na významu správné předúpravy povrchu pro dosažení vysoké přilnavosti a korozní odolnosti.

Tradiční metody jako fosfátování a chromátování jsou stále široce používány, avšak nové alternativy založené na konverzních vrstvách na bázi titanu a zirkonia, stejně jako organosilany, získávají na významu díky jejich nižší ekologické zátěži a lepším fyzikálně-chemickým vlastnostem.

Disertační práce přináší inovativní přístup k předúpravě povrchů zinkových materiálů. Experimentální část se zaměřila na srovnání stávajících metod a nových alternativ, přičemž byl vyvinut nový technologický postup s optimalizací pro nízkoteplotní aplikace. Výsledky experimentů ukazují, že modifikovaný technologický postup využívající organosilany dosahuje vynikajících výsledků, které v některých případech překonávají tradiční metody.

Porovnáním s ostatními autory se ukázalo, že zatímco tradiční metody jsou účinné, nové přístupy mají potenciál výrazně zlepšit výkonnost a udržitelnost procesů. Konverzní vrstvy na bázi titanu a zirkonia poskytují srovnatelnou korozní odolnost jako chromáty, ale s výrazně menší ekologickou zátěží. Studie ostatních autorů také zdůrazňují důležitost optimalizace technologických parametrů lázní jednotlivých předúprav, což vede ke snížení ekologické a ekonomické náročnosti procesů.

Unikátnost disertační práce spočívá v systematickém přístupu k vývoji a ověření nových technologických postupů, které kombinují výhody nízkoteplotních aplikací a moderních chemických předúprav. Výsledky experimentů a jejich srovnání s literaturou potvrzují, že nově vyvinuté metody nejenže dosahují požadovaných fyzikálně-chemických vlastností, ale také přinášejí výhody z hlediska energetické účinnosti a ochrany životního prostředí.

Diskuze potvrzuje důležitost a aktuálnost výzkumu v oblasti chemických předúprav povrchů. Práce dospěla k závěru, že optimální chemická předúprava žárově pozinkovaného materiálu může výrazně zvýšit korozní odolnost a přilnavost organických povlaků. Splněné cíle disertační práce zahrnují nejen nově vytvořený technologický postup, ale i úspěšné ověření v experimentálních podmínkách, což potvrzuje jejich praktickou využitelnost a přínos pro průmyslové aplikace.

7. ZÁVĚR

V experimentální části disertační práce byly ověřeny všechny dosavadní a nové chemické předúpravy pozinkované oceli. Dále bylo provedeno kompletní porovnání stávajících a alternativních metod předúprav povrchu pozinkované oceli s cílem vytvoření nového technologického postupu, tedy optimalizovanými parametry pro nízkoteplotní aplikace předúpravy povrchu pozinkovaných materiálů s ohledem na energetické úspory, technologickou jednoduchost a náročnost na ochranu životního prostředí.

Nově navržený technologický postup chemické předúpravy pozinkovaných povrchů souvisel s optimalizací technologických parametrů (koncentrace a čas) lázně chemické pasivace povrchu, která vede k udržitelnosti celého provozu, snížení ekologické a ekonomické náročnosti celého procesu předúpravy povrchu. Navržený technologický postup chemické předúpravy povrchu vedl ke zvýšení přilnavosti základních epoxidových nátěrových systémů a zvýšení korozní odolnosti celého duplexního systému.

Současné výsledky výzkumu, vývoje a praktického ověření v disertační práci jsou aplikovatelné nejen v provozech povrchových úprav a chemických předúprav povrchu s následnou aplikací organických povlaků, ale také pro pokračování výzkumu a vývoje v této oblasti.

Nově vytvořený a ověřený technologický postup předúpravy pozinkovaných součástí byl aplikován jako ověřená technologie ve společnosti ACO Industries k.s. Pomocí této chemické předúpravy na bázi organosilanů s modifikovaným technologickým postupem se dosáhlo zvýšení přilnavosti organických povlaků.

8. SPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE

Hlavní cíl

Vytvoření optimálního technologického postupu chemické předúpravy žárově pozinkovaného materiálu s důrazem na zvýšení přilnavosti následně aplikovaných organických povlaků nátěrových systémů.

Byl vytvořen nový technologický postup pro chemickou předúpravu povrchu pozinkovaných materiálů s ohledem na maximalizaci přilnavosti následně aplikovaných nátěrových systémů a protikorozní odolnosti celého duplexního systému. Přilnavost vytvořených systémů byla hodnocena dle norem ČSN EN ISO 4624 [56], ČSN EN ISO 2409 [44] a ČSN EN ISO 16276-52 [64]. Zvýšení přilnavosti nastalo při optimalizaci technologického postupu chemické předúpravy na bázi silanového oligomeru s epoxidovou funkční skupinou, tedy při změně parametrů procesní lázně pasivace. Bylo dosaženo zvýšené přilnavosti základních epoxidových nátěrových systémů, a to až 18 MPa při optimálním charakteru lomu, kdy docházelo pouze ke koheznímu lomu v povlaku (B) a nedošlo k adheznímu lomu (A) mezi podkladovým materiálem a povlakem. Výsledek přilnavosti předčil běžně používané metody chemické předúpravy povrchu. Při modifikaci technologického postupu chemické předúpravy na bázi organosilanů bylo také dosaženo zvýšení korozní odolnosti celého duplexního systému s ohledem na přilnavost nátěrové hmoty. Optimální technologický postup chemické předúpravy zinku byl stanoven na základě rozsáhlého porovnání stávajících a nových alternativních metod předúprav [1A – 20A]. Optimalizace technologického postupu vedla ke zvýšení koncentrace chemického prostředku v lázni z 10 na 15 %, došlo však ke zkrácení technologického času tvorby pasivační vrstvy z 10 min. na 5 min. V případě teploty nedošlo ke změně v průběhu procesu, protože se jedná o nízkoteplotní aplikaci při dílenských teplotách. Modifikace lázně vedla ke zvýšení přilnavosti organického povlaku. Výsledky přilnavosti aplikace organosilanů překonaly přilnavosti v porovnání s běžnými chemickými předúpravami fosfátování, chromátování, Ti – Zr. Rozsáhlé porovnání jednotlivých předúprav povrchu zinku a výsledky přilnavosti nově vytvořeného postupu shrnuje tab. 43. Dosažené výsledky disertační práce nacházejí uplatnění pro další výzkum a vývoj v oblasti nových povrchových úprav. Pro praxi a provozy chemických předúprav povrchů jsou výsledky okamžitě uplatnitelné. Nově vytvořený a ověřený technologický postup předúpravy pozinkovaných součástí byl aplikován jako ověřená technologie ve společnosti ACO Industries k.s.

Cíl byl splněn

Dílčí cíle:

- **Ověření dosavadních a nových chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu přilnavosti organických povlaků.**

V rámci ověření dosavadních a alternativních chemických předúprav zinkových povrchů bylo vytvořeno a testováno 8 předúprav povrchu zinkového materiálu. 7 chemických a 1 mechanická předúprava povrchu. V rámci experimentu byly vytvořeny duplexní systémy pro užití v aplikacích pro náročná korozní prostředí. Pro ověření vlivu chemické a mechanické předúpravy na přilnavost organických povlaků byly vytvořeny tyto předúpravy: fosfátování, chromátování, báze Ti-Zr, báze organosilany a modifikace technologického postupu chemické předúpravy organosilany a mechanická předúprava lehkým tryskáním.

Vybrané chemické předúpravy a aplikované epoxidové/polyuretanové nátěrové hmoty byly zvoleny na základě rozboru problematiky a praktických zkušeností z provozů povrchových úprav. Jednotlivé duplexní systémy, tedy kombinace pozinkovaného materiálu, chemické nebo mechanické předúpravy povrchu a aplikovaného nátěrového systému, byly posuzovány z hlediska celkové přilnavosti, výsledného odtrhového napětí [MPa]/charakteristikou lomu a dalších normovaných zkoušek přilnavosti.

Výsledky vytvořených duplexních systémů a jejich přilnavosti jsou obsahem kapitol 4.5. a 4.6. V těchto kapitolách byl popsán kompletní postup pro tvorbu pasivačních vrstev na zinkových površích, včetně aplikace vybraných nátěrových systémů a výsledků přilnavosti. Výsledky ukazují na zvýšenou přilnavost organických povlaků při použití chemické předúpravy pomocí organosilanů, zejména při modifikaci technologického postupu pro jejich vytvoření na zinkovém povrchu. Výsledky přilnavosti jednotlivých vytvořených systémů shrnuje tab. 43 (kapitola 4.6.5.). Výsledky ověření dosavadních a nových chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu přilnavosti organických povlaků byly publikovány a jsou uvedeny ve zdrojích autora této práce [5A, 7A, 8A, 10A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A, 20A].

Cíl byl splněn

- **Ověření dosavadních a nových chemických předúprav žárově pozinkovaných povrchů z pohledu korozní odolnosti celého duplexního systému.**

V rámci experimentů byla ověřena i korozní odolnost vytvořených duplexních systémů, včetně nově vytvořeného technologického postupu na bázi silanového oligomeru s epoxidovou funkční skupinou, tedy vytvořeného systému po změně parametrů procesní lázně pasivace. Pro stanovení a vyhodnocení korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů byly použity urychlené korozní zkoušky solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227 a kondenzační komorou dle normy ČSN EN ISO 6270-1. Stanovení jednotlivých defektů a degradace nátěrových systémů bylo hodnoceno dle norem: ČSN EN ISO 4628-2 (673071):2016, ČSN EN ISO 4628-8 (673071):2013, ČSN EN ISO 17872 (673101):2020, ČSN EN ISO 4628-3 (673071):2016.

Z výsledků stanovení korozní odolnosti je patrné, že při chemické předúpravě povrchu na bázi organosilanů s modifikovaným technologickým postupem bylo po 1 000 hodinách expozice v kondenzační komoře dosaženo nejvyšších odtrhových napětích, a to až 6,2 MPa, kdežto v případě chemické předúpravy chromátováním pouze 1,04 MPa, báze Ti-Zr: 1,75 MPa. Zde je nutné tedy poukázat na vynikající odolnost nově vytvořeného systému proti působení vlhkosti. V případě expozice v solné mlze dané systémy odolávaly zhruba do 360 hodin expozice, následně bylo naměřeno téměř totožné odtrhové napětí v případě chemické předúpravy na bázi nově vytvořeného technologického postupu organosilany a chromátováním, přibližně 7 MPa. Po více jak 864 hodinách došlo ke ztrátě adheze u všech vytvořených systémů, což se projevilo výrazným puchýřkováním a výrazným podkorodováním nátěrového systému. Závěrem k dílčímu cíli lze říci, že chemická předúprava pomocí organosilanů (modifikovaný technologický postup) pomohla ke zvýšení korozní odolnosti celého duplexního systému a po provedených korozních zkouškách bylo dosaženo ve všech případech vyšších odtrhových napětí organického povlaku. Tento systém výrazně ovlivnil odolnost celého duplexního systému vůči zvýšené vlhkosti. Pro ověření dílčího cíle byly z důvodu obsáhlosti do disertační práce uvedeny pouze zásadní výsledky korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů. Tyto a další výsledky byly publikovány a jsou uvedeny ve zdrojích autora této práce [1A, 2A, 3A, 4A, 6A, 9A, 11A].

Cíl byl splněn

- **Ověření funkčních a ochranných vlastností vytvořených povlaků nátěrových hmot metodami používanými v oboru povrchových úprav.**

Vytvořené duplexní systémy byly testovány z pohledu přílnavosti organických nátěrových systémů a celkové jejich korozní odolnosti. Byly také vždy podrobeny celé řadě normalizovaných zkoušek z oboru povrchových úprav pro kompletní popis funkčnosti a charakteru s možností použití v reálných provozech povrchových úprav a aplikacích chemických předúprav zinkových povrchů. Metody vyhodnocení a jejich výsledky byly vždy popsány a vyhodnoceny dle příslušné technické normy a aplikovány v předním provozu žárové zinkovny ACO Industries k.s.

Cíl byl splněn

9. PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI

Hlavním přínosem disertační práce je praktické ověření a popis vlivu různých chemických předúprav povrchu materiálu žárového zinku na protikorozní ochranu materiálu a přílnavost následně aplikovaných organických povlaků.

Cílem bylo vytvořit optimální chemickou předúpravu povrchu materiálu, která splňuje technologické, ekonomické, energetické a environmentální aspekty dnešní doby.

Nově navržený technologický postup aplikace chemické předúpravy na bázi organosilanů, jeho otestování z pohledu protikorozní ochrany materiálu a adheze, má neocenitelnou využitelnost pro provozy povrchových úprav v České republice i zahraničí.

Výsledky jednotlivých testování chemických předúprav v disertační práci s ohledem na jejich aplikovatelnost jsou dále použitelné pro výzkum a vývoj v dané oblasti povrchových úprav.

Publikace související s tématem disertace

- [1A] SVOBODA, J. et al. Low-temperature chemical pre-treatment of the surface and their corrosion resistance with regard to energy and environmental requirements. In: Technological Forum 2022. 13th International technical conference Technological Forum 2022, Hotel Hluboký Dvůr, Hlubočky, 2022-06-30/2022-07-02. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2022. s. 227-233. ISBN 978-80-87583-36-4.
- [2A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Bezchromátové pasivace povrchu žárově pozinkovaných součástí. In: Transfer 2019. Skanzen Modrá, Velehrad, 2019-05-27/2019-05-28. Praha: VZLÚ - TURBOMOTOR s.r.o., 2019. s. 20-24. ISSN 1801-9315.
- [3A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Zvýšení přilnavosti a korozní odolnosti organických povlaků pomocí bezchromátových pasivací povrchu žárově pozinkovaných součástí. In: Sborník přednášek 25. konference žárového zinkování. 25. konference žárového zinkování, Clarion Congress Hotel České Budějovice, 2019-10-02/2019-10-04. Havlíčkův Brod: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2019. s. 48-58. ISBN 978-80-905298-8-5.
- [4A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Chemické předúpravy povrchu žárově pozinkovaných součástí a jejich vliv na přilnavost a korozní odolnost organických povlaků. In: Technologie čištění a předúpravy povrchu. Zámek Čejkovice, 2019-04-03/2019-04-04. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2019. s. 70-77. ISBN 978-80-87583-29-6.
- [5A] SVOBODA, J. a V. KREIBICH. Konverzní vrstvy a jejich detekce na povrchu základního materiálu. Občasník Povrcháři. 2019, 2019 6-7. ISSN 1802-9833.
- [6A] SVOBODA, J. et al. Corrosion Resistance of Alternative Chemical Pre-treatments of Hot-Dip Galvanized Zinc Surface. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering. Manufacturing 2019 - International Scientific-Technical Conference, Poznaň, 2019-05-19/2019-05-22. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2019. s. 572-581. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-030-16943-5. DOI 10.1007/978-3-030-16943-5_49.
- [7A] SVOBODA, J. et al. New chrome – free passivations of hot – dip galvanized surface. In: TECHNOLOGICAL FORUM 2019. Veselý Kopec, 2019-06-18/2019-06-20. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2019. s. 160-164. ISBN 978-80-87583-30-2.
- [8A] SVOBODA, J. a J. KUDLÁČEK. Suitable pre-treatment of hot-dip zinc to increase the adhesion of organic coatings. Manufacturing Technology: Journal for Science, Research and Production. 2018, 2018(1), 135-139. ISSN 1213-2489. DOI 10.21062/ujep/66.2018/a/1213-2489/MT/18/1/135.

- [9A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Korozní odolnost nátěrových systémů v kombinaci smoderními chemickými předúpravami. *Občasník Povrcháři*. 2018, 2018(7), 15-18. ISSN 1802-9833.
- [10A] SVOBODA, J. et al. Pre-treatment of hot-dip galvanized material using Ti-Zr technology and organosilanes. In: *IN-TECH 2018 International Conference on Innovative Technologies, Zagreb, Proceedings*. IN-TECH2018, Zagreb, 2018-09-05/2018-09-07. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2018.s. 209-212. ISSN 0184-9069.
- [11A] SVOBODA, J. et al. Korozní odolnost moderních chemických předúprav povrchu. In: *Sborník XI.Konference pigmenty a pojiva. XI. Konference pigmenty a pojiva, Kongres hotel JEZERKA, Seč, 2018-11-05/2018-11-06*. Pardubice: CHEMAGAZÍN s. r. o, 2018. s. 105-112. ISBN 978-80-906269-3-5.
- [12A] SVOBODA, J. et al. Testing conversion coatings and detecting of their presence on the base material. In: *KUDLÁČEK, J. et al., eds. Technological forum 2018 Book of Proceeding. Technologické fórum 2018, Váňův statek - Dubovice, 2018-06-26/2018-06-28*. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2018. s. 185-188. ISBN 978-80-87583-26-5.
- [13A] SVOBODA, J. et al. The use of organosilanes for the pre-treatment of the surface of hot galvanized materials. In: *KUDLÁČEK, J. et al., eds. Technological forum 2018 Book of Proceeding. Technologické fórum 2018, Váňův statek - Dubovice, 2018-06-26/2018-06-28*. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2018. s. 181-184. ISBN 978-80-87583-26-5.
- [14A] SVOBODA, J. et al. Comparison of chemical and mechanical pre-treatments and their influence on the adhesion of organic coatings. In: *International Conference on Innovative Technologies 2017. International Conference on Innovative Technologies, IN-TECH 2017, Ljubljana, 2017-09-11/2017-09-13*. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2017. s. 251-254. ISSN 0184-9069.
- [15A] SVOBODA, J. et al. Alternative Methods of Chemical Pre-Treatment on Hot-Dip Galvanization Surface for Adhesion Organic Coatings. In: *Advances in Manufacturing. MANUFACTURING 2017, Poznaň, 2017-10-24/2017-10-26*. Cham: Springer International Publishing, 2018. s. 687-695. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-319-68618-9. DOI 10.1007/978-3-319-68619-6_66.
- [16A] SVOBODA, J. et al. Comparison of chemical and mechanical pretreatments and their influence on the adhesion of organic coatings. In: *KUDLÁČEK, J. et al., eds. Technological forum 2017 Book of proceedings. Technological forum 2017, Špindlerův mlýn, 2017-06-27/2017-06-29*. Jaroměř: Kudláček Jan, Ing., 2017.s. 198-203. ISBN 978-80-87583-22-7.

- [17A] SVOBODA, J. et al. Mechanické předúpravy zinkových povrchů a porovnání nátěrových hmot pro duplexní systém. In: Sborník X. KONFERENCE PIGMENTY A POJIVA. X. KONFERENCE PIGMENTY A POJIVA, Seč-Pardubice, 2017-11-06/2017-11-07. Pardubice: CHEMAGAZÍN s. r. o, 2017. s. 144-148. ISBN 978-80-906269-2-8.
- [18A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Způsoby chemické předúpravy povrchů a povlaků žárového zinku pro přilnavost nátěrových systémů. Občasník Povrcháři. 2016,(6), 5-8. ISSN 1802-9833.
- [19A] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KUKLÍK. Proposal method of chemical pre-treatment on hot-dipgalvanization surface for adhesion organic coatings. In: ZLATAN, C. a J. KUDLÁČEK, eds. IN-TECH 2016-International Conference on Innovative Technologies. International Conference on Innovative Technologies, Praha, 2016-09-06/2016-09-08. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2016. s. 327-330. ISSN 1849-0662.
- [20A] SVOBODA, J., KREIBICH V. a KUDLÁČEK J. Optimalizace parametrů procesu chemické předúpravy povrchu pozinkovaných součástí pro zvýšení přilnavosti organických povlaků. 19. Mezinárodní odborný seminář "Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav", Brno, 2023-11-29/2021-11-30. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2023. s. 122-128. ISBN 978-80-87583-42-5.

Seznam použité literatury v tezích

- [1]

Anotace

Instituce:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	12133 Ústav strojírenské technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Téma disertační práce:	Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost organických povlaků
Rok:	2024
Autor:	Ing. Jakub Svoboda
Školitelé:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc. Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Abstrakt:

Disertační práce shrnuje základní stav problematiky na téma: Vliv předúprav povrchu zinku na přilnavost organických povlaků. Především popis nových trendů a aplikací v oblasti předúpravy povrchu zinkem.

V práci jsou následně stanoveny cíle disertační práce z předchozí rešerše současného stavu zkoumané problematiky a výhody aplikace nových alternativních možností předúprav povrchu žárově pozinkovaných součástí, metody řešení, ověření těchto předúprav a závěr s dalším postupem vývoje a výzkumu předúprav s aplikací do průmyslu.

Experimentální část disertační práce se zaměřuje na kompletní porovnání stávajících a alternativních metod předúprav povrchu materiálu s cílem nového ověřeného technologického postupu pro nízkoteplotní aplikace předúpravy povrchu žárově pozinkovaných materiálů s ohledem na energetické úspory, technologickou jednoduchost a náročnost na ochranu životního prostředí.

Klíčová slova: Předúpravy povrchu, fosfátování, chromátování, alternativní předúpravy povrchu, chemické předúpravy povrchu, mechanické předúpravy povrchu, pasivace, konverzní vrstvy.

Rozsah práce:

Počet stran: 136
Počet obrázků: 38
Počet tabulek: 49
Počet grafů: 13
Počet příloh: 1 – elektronicky na CD

Summary

Annotation

University: CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Department: 12133 Department of Manufacturing Technology

Head of the department: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Theme of thesis: Effect of surface pretreatment of zinc surfaces on the adhesion of organic coatings

Year: 2024

Author: Ing. Jakub Svoboda

Supervisor: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Abstract:

The doctoral thesis summarizes the basic state of the issue on the topic: The effect of zinc surface pretreatment on the adhesion of organic coatings. The work also describes new trends and applications in the field of surface pretreatment not only of hot-dip galvanized materials. The doctoral thesis then describes its goals and advantages of applying new alternative surface pretreatment options for hot-dip galvanized parts, solution methods,

verification of these pretreatments, and a conclusion with the further development and research of these pretreatments with application to industry.

The experimental part of the dissertation focuses on a complete comparison existing and alternative methods of pretreatment of the material surface with the goal of developing a new product and a proven technological procedure for low-temperature applications of pre-treatment of the surface of hot-dip galvanized materials with regard to energy savings, technological simplicity and low environmental requirements.

Key words: Surface pretreatments, phosphating, chromating, alternative surface pretreatments, chemical surface pretreatments, mechanical surface pretreatments, passivation, conversion layers.

Volume of thesis:

Number of pages:	136
Number of pictures:	38
Number of tables:	49
Number of graphs:	13
Number of attachments:	1 - CD