

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**DISERTAČNÍ
PRÁCE**

2023

**JAKUB
SVOBODA**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie



DISERTAČNÍ PRÁCE

Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost
organických povlaků

Autor: Ing. Jakub Svoboda

Studijní program: Strojní inženýrství

Studijní obor: Strojírenská technologie

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Školitel specialista: Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma *Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přilnavost organických povlaků* vypracoval samostatně pod vedením školitele doc. Ing. Viktora Kreibicha, CSc. a školitele specialisty Ing. Jana Kudláčka, Ph.D.

Použité literární zdroje a další podklady pro vypracování práce jsou uvedeny v příložených seznamech.

Disertační práce byla částečně řešena v rámci projektu Centra kompetence – Centrum výzkumu povrchových úprav (č.p. TE0200011) a v rámci projektu (SGS16/217/OHK2/3T/12).

V Trutnově dne 28. 5. 2024

.....

Ing. Jakub Svoboda

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval mému školiteli panu doc. Ing. Viktoru Kreibichovi, CSc. a školiteli specialistovi Ing. Janu Kudláčkovi, Ph.D. za vedení mé disertační práce. Děkuji také celému Ústavu strojírenské technologie FS ČVUT a celé Fakultě strojní za umožnění pracovat na disertační práci, včetně poskytnutí vybavení a zázemí pro výzkum a vývoj. Poděkování patří také všem společnostem (Pragochema spol. s r.o., Surtec ČR s.r.o., Atotech CZ a.s., ACO Příbryslav k.s., Colorlak a.s., Hempel CZ s.r.o. a dalším) a samozřejmě jejich zástupcům, kteří se mnou spolupracovali na disertační práci z pohledu poskytnutí chemických prostředků, cenných rad a zkušeností z oboru chemických předúprav povrchu materiálů.

V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině za podporu a trpělivost během studia.

Anotace

Vysoká škola:	České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí ústavu:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Název disertační práce:	Vliv předúprav povrchu zinkových povrchů na přílnavost organických povlaků
Akademický rok:	2022/2023
Autor:	Ing. Jakub Svoboda
Školitel:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Školitel specialista:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Klíčová slova:	Předúpravy povrchu, fosfátování, chromátování, alternativní předúpravy povrchu, chemické předúpravy povrchu, mechanické předúpravy povrchu, pasivace, konverzní vrstvy.
Počet stran:	137
Počet obrázků:	38
Počet tabulek:	49
Počet grafů:	14
Počet příloh:	1 – CD elektronicky

Annotation

University:	Czech Technical University in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Department of Manufacturing Technology
Study program:	Mechanical engineering
Field of study:	Manufacturing Technology
Head of department:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Title of doctoral thesis:	Effect of surface pretreatment of zinc surfaces on the adhesion of organic coatings
Academic year:	2022/2023
Author:	Ing. Jakub Svoboda
Professor:	doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
Associate Professor:	Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
Keywords:	Surface pretreatments, phosphating, chromating, alternative surface pretreatments, chemical surface pretreatments, mechanical surface pretreatments, passivation, conversion layers.
Number of pages:	137
Number of images:	38
Number of tables:	49
Number of graphs:	14
Number of attachments:	1 - CD

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 žárově zinkovaných povrchů ponorem.

V práci jsou následně stanoveny cíle disertační práce na základě 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 vhodnou pro průmyslové využití.

Experimentální část disertační práce se zaměřuje na kompletní porovnání stávajících a alternativních metod předúprav povrchu materiálu s cílem využití 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.

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 pretreatment of the surface of hot-dip galvanized materials with regard to energy savings, technological simplicity and low environmental requirements.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zn – zinek

ZrO₂ – oxid zirkoničitý

TiO₂ – oxid titaničitý

°C – Celsiův stupeň (jednotka teploty)

g – gram (jednotka hmotnosti),

1 g = 0,001 kg

mg – miligram (jednotka hmotnosti),

1 mg = 0,000001 kg

m – metr (jednotka délky)

mm – milimetr (jednotka délky),

1 mm = 0,001 m

nm – nanometr (jednotka délky),

1 nm = 0,000 001 m

dm – decimetr (jednotka délky),

1 dm = 0,01 m

Pa – Pascal (jednotka tlaku), 100 000 Pa =

100 kPa = 1 bar

l – litr (jednotka objemu), 1 l = 1 000 ml

min – minuta (jednotka času)

μm – mikrometr (jednotka délky)

pH – potenciál vodíku (potential of hydrogen), též vodíkový exponent

ot.min⁻¹ – otáčky za minutu

W – Watt (jednotka výkonu)

V – Volt (jednotka elektrického napětí)

A – Ampér (jednotka elektrického proudu)

NS. – nátěrový systém

Fe₂O₃ – oxidická vrstva – hematit

Fe₃O₄ – oxidická vrstva – magnetit

FeO – oxidická vrstva – wüstit

Ra – střední arit. úchylka profilu [μm]

Rz – největší výška nerovnosti profilu určená z 10 bodů [μm]

Rp_{0,2} – smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace pod zatížením

HCl – kyselina chlorovodíková

HF – kyselina fluorovodíková

Cr⁶⁺ – šestmocný iont chromu

Cr³⁺ – trojmocný iont chromu

Ni – chemická značka prvku – nikl

Ca – chemická značka prvku - vápník

Mo – chemická značka prvku – molybden

Cu – chemická značka prvku – měď

Mn – chemická značka prvku – mangan

Ti – chemická značka prvku – titan

Zr – chemická značka prvku - zirkon

Al – chemická značka prvku – hliník

C – chemická značka prvku – uhlík

Si – chemická značka prvku – křemík

P – chemická značka prvku – fosfor

N – chemická značka prvku – dusík

O₂ – chemická sloučenina – kyslík

CO₂ – chemická sloučenina – oxid uhličitý

SO₂ – chemická sloučenina – oxid siřičitý

H₂ – chemická značka prvku – vodík

H₂O – chemická značka slouč. – voda

H₂SO₄ – chemická značka slouč. – kyselina sírová

FeSO₄ – chemická značka slouč. – síran železnatý

H₃PO₄ – chemická značka slouč. – kyselina fosforečná

FeCl₂ – chemická značka slouč. – chlorid železnatý

Obsah

1. ÚVOD	13
2. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU PROBLEMATIKY	15
2.1. PŘEDÚPRAVY POVRCHU	15
2.1.1. <i>Mechanické předúpravy povrchu</i>	15
2.1.1.1 Broušení a leštění	16
2.1.1.2 Kartáčování	17
2.1.1.3 Omílání	17
2.1.1.4 Tryskání	19
2.1.2. <i>Chemické předúpravy povrchu</i>	21
2.1.2.1. Odmašťování	22
2.1.2.2. Odmašťování v alkalických roztocích	22
2.1.2.3. Moření	23
2.1.2.4. Elektrolytické odmašťování	25
2.1.2.5. Odrezování	26
2.2. DUPLEXNÍ SYSTÉMY	27
2.2.1. <i>Životnost duplexního systému</i>	28
2.2.2. <i>Aktuální problémy vytváření povlaků typu Duplex</i>	29
2.3. PŘILNAVOST NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ	30
2.3.1. <i>Adhezní a kohezní síly</i>	31
2.3.2. <i>Absorpční teorie</i>	31
2.3.3. <i>Smáčivost povrchu</i>	32
2.3.4. <i>Fyzikálně – chemické vlastnosti nátěrových systémů a jejich ověření</i>	33
2.4. SOUČASNÉ CHEMICKÉ PŘEDÚPRAVY POVRCHU ŽÁROVĚ POZINKOVANÝCH MATERIÁLŮ	34
2.4.1. <i>Chromátování</i>	34
2.4.1.1. Alkalické chromátovací lázně	35
2.4.1.2. Kyselé chromátovací lázně	35
2.4.2. <i>Chromátování zinku</i>	35
2.4.3. <i>Fosfátování povrchu</i>	36
2.4.3.1. Fosfátování povrchu pod organické povlaky	38
2.4.4. <i>Modifikace univerzálního typu železnatého fosfátu</i>	39
2.5. ALTERNATIVNÍ PŘEDÚPRAVY POVRCHU ŽÁROVĚ POZINKOVANÝCH MATERIÁLŮ	40
2.5.1. <i>Konverzní vrstvy na bázi oxidu Zr a Ti</i>	41
2.5.1.2. Korozní odolnost Ti – Zr vrstev	44
2.5.2. <i>Konverzní vrstvy na bázi organosilanů</i>	47
2.5.2.1. Vazební možnosti hydrolyzovaných organosilanů	48
2.5.2.2. Aplikační možnosti	50

2.5.3	Studie korozní odolnosti a přilnavosti s použitím alternativních chemických předúprav povrchu (Ti-Zr, Organosilany) a jejich vlivu na životní prostředí	53
3.	CÍLE PRÁCE	57
4.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	58
4.1.	POUŽITÉ CHEMICKÉ PŘEDÚPRAVY POVRCHU	59
4.2.	POUŽITÉ NÁTĚROVÉ SYSTÉMY PRO OVĚŘENÍ PŘILNAVOSTI	60
	Akrylátová polomatná jednovrstvá barva na ocel a pozinkovaný materiál Zinorex (S2211)	61
	Polyuretanová polomatná dvousložková jednovrstvá barva AXAPUR (U2218)	61
4.2.1.	<i>Aplikace nátěrových systémů</i>	<i>62</i>
4.3.	OVĚŘENÍ FYZIKÁLNĚ – MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ POUŽITÝCH NÁTĚROVÝCH HMOT	62
4.4.	OVĚŘENÍ KOROZNÍ ODOLNOSTI DUPLEXNÍCH SYSTÉMŮ, METODY A DEGRADACE NÁTĚROVÝCH SYSTÉMŮ	63
4.5.	VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ A OVĚŘENÍ PŘILNAVOSTI DUPLEXNÍCH SYSTÉMŮ	64
4.5.1.	<i>Fosfátování – Pragofos 1920</i>	<i>64</i>
4.5.1.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – fosfátování Pragofos 1920	65
4.5.2.	<i>Chromátování – SurTec 678</i>	<i>66</i>
4.5.2.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – chromátování Surtec 678	67
4.5.3.	<i>Chromátování – Novapass 201</i>	<i>69</i>
4.5.3.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – chromátování Novapass 201	70
4.5.4.	<i>Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: Interlox 5705</i>	<i>71</i>
4.5.4.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Interlox 5705 (Ti)	72
4.5.5.	<i>Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: Pragokor BP</i>	<i>74</i>
4.5.5.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Pragokor PB	75
4.5.6.	<i>Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: SurTec 6096 V</i>	<i>76</i>
4.5.6.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace SurTec 6096	77
4.5.7.	<i>Chemická předúprava pomocí organosilanů: Coatosil MP 200</i>	<i>78</i>
4.5.7.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Coatosil MP200	79
4.5.8.	<i>Modifikace technologického postupu chemické předúpravy organosilany</i>	<i>81</i>
4.5.8.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti – modifikace technologického postupu_ Coatosil MP200	82
4.5.9.	<i>Mechanická předúprava žárově pozinkovaného materiálu – lehké tryskání</i>	<i>84</i>
4.5.9.1.	Výsledky zkoušek přilnavosti - mechanická předúprava povrchu pomocí lehkého tryskání (sweepování)	85
4.6.	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PŘILNAVOSTI VYTVOŘENÝCH DUPLEXNÍCH SYSTÉMŮ	87
4.6.1.	<i>Chemická předúprava povrchu fosfátováním</i>	<i>87</i>
4.6.2.	<i>Chemická předúprava povrchu chromátováním</i>	<i>88</i>
4.6.3.	<i>Chemická předúprava povrchu na bázi Ti-Zr</i>	<i>89</i>
4.6.4.	<i>Chemická předúprava povrchu na bázi organosilanů</i>	<i>90</i>

4.6.5.	<i>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</i>	92
4.7.	VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ KOROZNÍ ODOLNOSTI DUPLEXNÍCH SYSTÉMŮ	94
4.7.1.	<i>Hodnocení korozní odolnosti na vzorcích s vybranými chemickými předúpravami</i>	95
4.7.2.	<i>Výsledky: Zkouška v kondenzační komoře dle ČSN EN ISO 6270-1 a solné mlze dle ČSN EN ISO 9227</i>	96
4.7.2.1.	Expozice v solné mlze po 360 hodinách	97
4.7.2.2.	Expozice v kondenzační komoře po 360 hodinách	98
4.7.2.3.	Expozice v solné mlze po 1000 hodinách	99
4.7.2.4.	Expozice v kondenzační komoře po 1000 hodinách	101
4.8.	NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU PŘEDÚPRAVY POVRCHU ŽÁROVÉHO ZINKU	103
4.8.1.	<i>Nově vytvořený technologický postup předúpravy pozinkované oceli</i>	103
4.8.2.	<i>Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci</i>	103
5.	DISKUZE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	104
6.	ZÁVĚR	106
6.	SPLNĚNÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE	107
7.	PŘÍNOSY PRO VĚDU A PRAXI	111
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	112
9.1	PUBLIKACE AUTORA SOUVISEJÍCÍ S DISERTAČNÍ PRACÍ	123
9.2	PUBLIKACE AUTORA PŘÍMO NESOUVISEJÍCÍ S DISERTAČNÍ PRACÍ	126
10.	SEZNAM OBRÁZKŮ	131
11.	SEZNAM TABULEK	134
12.	SEZNAM GRAFŮ	136
13.	SEZNAM PŘÍLOH	137

1. Úvod v

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 aplikaci tzv. duplexních systémů jsou úpravy povrchů, nová řešení a vazby těchto povlaků velmi aktuální problematikou výzkumu i praxe.

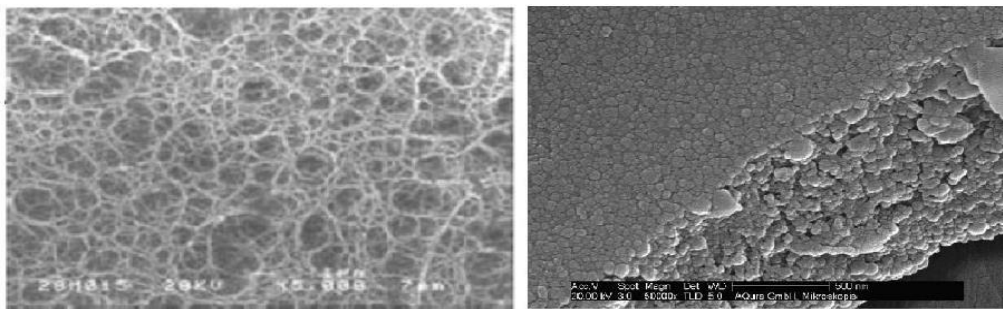
Chemické předúpravy jsou základním krokem vytvoření tzv. konverzních vrstev, zejména na ocelovém, hliníkovém a zinkovém podkladu. Díky předúpravám povrchu je možné dosáhnout zvýšení přilnavosti nátěrového systému a celkovou odolností proti korozi. Tradiční předúpravy povrchu před nanášením organických 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 rozboru 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.

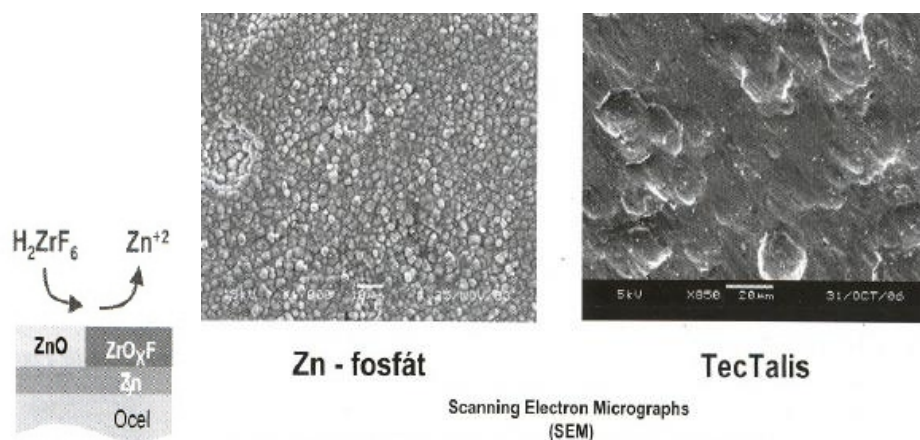
Cílem práce bylo též ověření těchto vrstev z pohledu protikorozní odolnosti a přilnavosti organického povlaku nátěrové hmoty. Zároveň bylo důležité vytvořit optimální technologický postup předúpravy povrchu, který bude splňovat náročné požadavky extrémních korozních prostředí.

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 sol – 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].



Obr. 2: Ukázka při tvorbě vrstvy (Ti – Zr. produkt TecTalis), vpravo: snímek SEM - vzhled vrstvy TecTalis (Ti – Zr) a Zn – fosfát [2]

2. Přehled současného stavu problematiky

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 výzkumu v této práci.

2.1. Předúpravy povrchu

Před provedením povrchových úprav materiálu je nezbytná vhodná a kvalitní předúprava povrchu pro zajištění i celkové životnosti povrchové úpravy. Předúpravy povrchu materiálu se rozdělují na dvě základní skupiny:

- a) Mechanické předúpravy povrchu
- b) Chemické předúpravy povrchu

Plní se tedy dva základní požadavky na předběžné úpravy:

- zajištění požadované čistoty povrchu.
- Příprava určité požadované mikrostruktury (mikrogeometrie a kvality povrchu),

Předúpravy povrchu mají významný vliv na celkovou životnost protikorozi ochrany materiálu pro úpravu ocelových konstrukcí a dalších materiálů v různých průmyslových odvětvích.

2.1.1. Mechanické předúpravy povrchu

Mechanické předúpravy povrchu vytváří určitou jakost a kvalitu povrchu hodnocenou drsností a jeho čistotou. Účelem mechanických úprav je zejména:

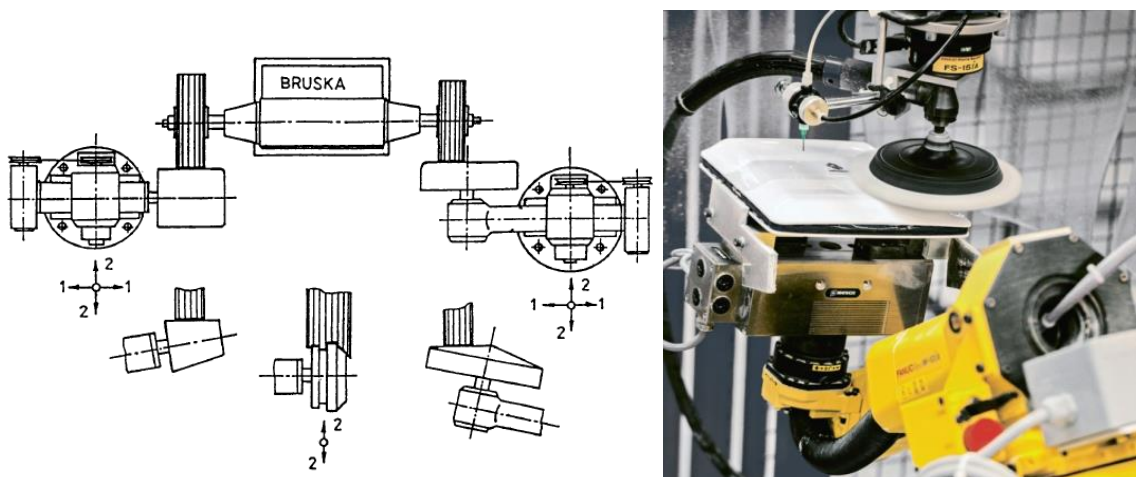
- a) očištění povrchu pro vyhovující přilnavost
- b) odstranění nečistot z povrchu
- b) vytvoření podmínek pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení
- d) vytvoření povrchu odpovídající vzhledovým požadavkům
- e) zlepšení mechanických vlastností

2.1.1.1 Broušení a leštění

Broušení a leštění má jiný charakter úpravy povrchu, než je tomu při technologii obrábění broušením. Zde se jedná především o odstranění nerovností, a tím dosažení sjednocení povrchu.

Broušení a leštění se volí pouze tam, kde je potřeba kvalitní jakost povrchu, neboť je nákladnější oproti ostatním metodám mechanických úprav. Při těchto metodách je povrch v jednotlivých operacích opracován postupně jemnějšími brusnými prostředky.

Hlavním účelem broušení je postupný úběr hrubých nerovností na povrchu materiálu (rýhy, švy odlitků aj.). Hrubé broušení se provádí za sucha brusivem o zrnitosti 24 až 100. Při jemném broušení za sucha nástroji o zrnitosti 120 až 140 se brusné kotouče promazávají z důvodu snížení tření. Zrnitost brusiva poslední operace musí splňovat požadavky následující technologie.



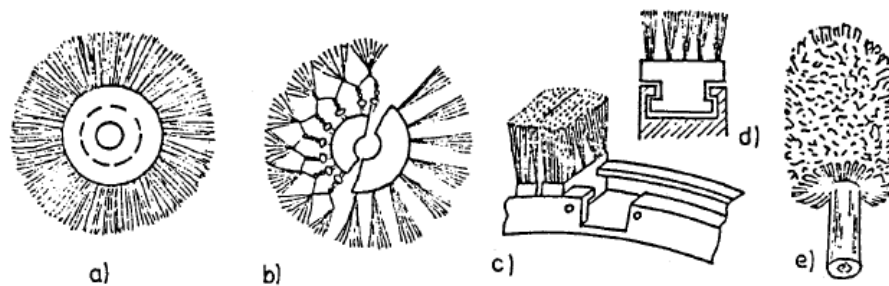
Obr. 3: Ukázka strojů a přípravků pro broušení a leštění [5], ukázka moderního robotického broušení – robot FANUC. [66]

Leštění souvisí s úběrem materiálu, při němž dochází k nižšímu úběru a navíc dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Jedná se o odstraňování nejjemnějších stop po předchozích operacích a dosahuje se drsnosti až Ra 0,1. Leštění se provádí jak u základního materiálu, tak u následných povrchových úprav, zejména u galvanických povlaků. Na výsledný lesk má vliv leštící nástroj, ale i jeho rychlost a použitá leštící pasta. Kromě tukové komponenty, pasty obsahují i abrazivní látky jako leštící zeleň (oxid chromitý), leštící červeň (oxid železitý), umělý korund (oxid hlinitý), vídeňské vápno (oxid vápenatý) atd. [5].

2.1.1.2 Kartáčování

Kartáčování se provádí pro odstranění hrubých nečistot (rzi, volných korozních produktů, starých nátěrů ad.). Operace se používá především k čištění kartáči z rovného nebo zvlněného ocelového drátu. Alternativně se používají měkké a pružné kartáče z přírodních a umělých vláken, na nichž výborně lpí brusné pasty. Elasticita těchto kartáčů je výhodou pro použití u členitých výrobků.

Pro úpravu neželezných kovů se používají dráty z odlišných vhodných materiálů, např. mosazi, fosforového bronzu atd.



Obr. 4: Druhy kartáčů – a) vláknový, b) drátěný s polévatými svazkami, c) s dlouhými svazkami, d) s vyměnitelnými svazkami, e) drátěná štětka [5]

2.1.1.3 Omílání

Omílání je způsob mechanické předúpravy spočívající v úběru materiálu a jeho vyhlazování v důsledku vzájemného působení omílaných výrobků a omílacích prostředků.

Technologie omílání je vhodná pro zpracování velkých sérií a tvarově náročných součástek (např. bižuterie, špendlíky ad.).

Výhodou technologie je:

- Odstranění namáhavého ručního broušení a leštění
- Snížení výrobních nákladů
- Zvýšení výrobnosti
- Snížení zmetkovitosti
- Zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti

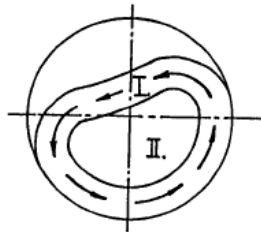
Tato technologie má však i některé nevýhody:

- Nerovnoměrný úběr z povrchu předmětu (největší úběr na hranách)
- Možnost poškození členitých výrobků

Omílání se používá pro vyhlazování povrchů, jako brusná a leštící operace, k zaoblování hran, k odstranění ostřin nebo okují i k povrchovému zpevňování. Při přidání chemických prostředků do zařízení lze odrezovat, odmašťovat, pokovovat atd.

Při omílání se v bubnu vytváří dvě oblasti:

1. Nosná vrstva, která má tvar prstence, sleduje stoupání stěny bubnu a v určitém okamžiku se odtrhuje od stěny a klouže jako aktivní vrstva, nebo padá a převaluje směs předmětů a brusiva.
2. Jádro, jež označuje druhá část, se převaluje jen mírně. Rozhraní mezi oběma vrstvami není odděleno.



Obr. 5: Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu při omílání [5]

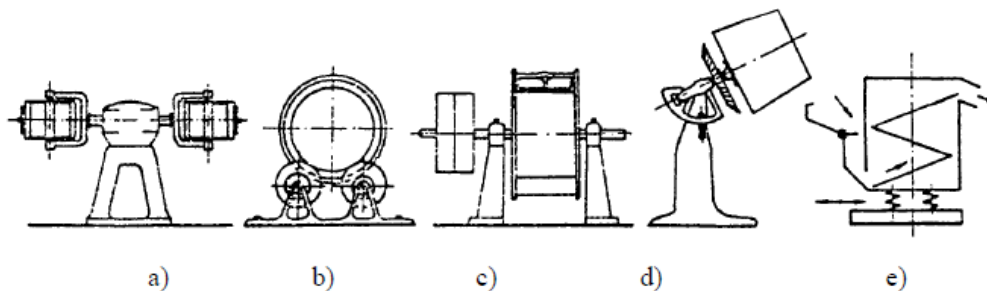
V aktivní vrstvě probíhá 90 % omílání. Velikost aktivní vrstvy závisí na naplnění bubnu (optimálně 40 – 60 %: předmět setrvá $\frac{3}{4}$ otáčky). Výsledek omílání ovlivňují tyto parametry:

- Průměr bubnu a jeho otáčky
- Doba omílání
- Tvar a velikost součástí
- Druh a velikost omílacích těles
- Poměr množství omílacích těles a součástí
- Druh a množství omílací kapaliny
- Plnění bubnu

Optimální otáčky bubnu se stanoví ze vzorce:

$$n = \frac{k}{\sqrt{D}} \quad (1)$$

n – otáčky [$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$], D – průměr bubnu [mm], k – 28,1 pro lehké předměty, 15,9 pro těžké předměty [32].



Obr. 6: Různé způsoby omílání – a) odstředivé, b, c, d) rotační, e) vibrační [5]

2.1.1.4 Tryskání

Význam mechanické předúpravy tryskáním spočívá v otryskávání povrchu od korozních produktů, ulpělých a neulpělých nečistot. Při tryskání se materiálu dodá patřičná drsnost, čistota povrchu a jeho zpevnění. Při tryskání dopadají abrazivní částice na povrch materiálu vysokou kinetickou rychlostí. Výkon tryskání je závislý na těchto faktorech:

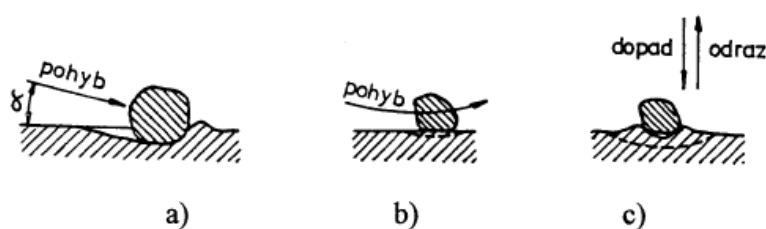
- Druh otryskávaného materiálu
- Velikost zrn abrazivních prostředků
- Tlak
- Úhel a vzdálenost při tryskání
- Velikost trysky

Nejčastěji se používají tyto tryskací prostředky:

- 1) Litinová drť a broky – výroba granulátu litiny, dobrý úběr a trvanlivost vyšší zhruba 60x než křemičitý písek, oproti křemičitému písku je však dražší, ale hospodárnější. Jsou dodržovány základní hygienické požadavky
- 2) Křemičitý písek – tento druh tryskacího prostředku je levný, má však malý úběr materiálu. Zdravotní riziko pro pracovníky je veliké (nebezpečí silikózy), tryskací prostředek se používá do tlaku 0,3 MPa.
- 3) Sekaný drát – nejpevnější, patentový drát má pevnost až 160 MPa, neštěpí se.
- 4) Umělé a speciální materiály – skleněné kuličky (balotina), drť z pecek plodů a plastických hmot atd.
- 5) Brusiva – (karbidy křemíku, korund ad.).
- 6) Suchý led

Při tryskání neželezných kovů je zapotřebí vzít do úvahy „zasekávání“ zrn tryskacího prostředku do povrchových vrstev materiálu. Proto se při tryskání z korozivzdorných kovů a neželezných kovů používají tryskací prostředky nezanechávající na povrchu zbytky materiálu (nerezový drát, hliníkový granulát aj.).

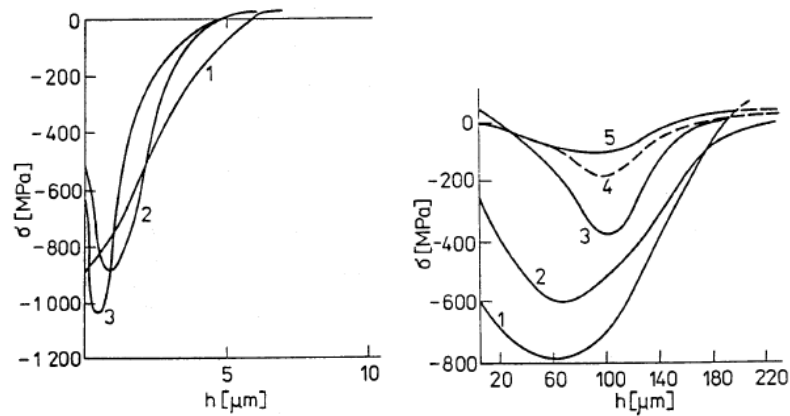
Jak je výše zmíněno, výsledek tryskání závisí na mnoha parametrech, především na typu materiálu, který má být použit k tryskání (hmotnost, tvrdost, velikost a tvar). Také závisí na rychlosti tryskání a hustotě dopadajících částic za určitý čas, úhlu dopadu a době tryskání. Po dopadu částic se přemění zhruba 90 % kinetické energie na teplo a odvede se z povrchu součásti, což popisuje následující obrázek:



Obr. 7: Dopad částice na povrch materiálu – a) šikmý dopad, b) rovnoběžný dopad s povrchem, c) kolmo k povrchu [5]

Další způsob mechanické předúpravy materiálu je hydrofinašování, jež spočívá v otryskávání materiálu brusivem s vodou, které jsou urychlovány vzduchem ze směšovací pistole. Otryskávání materiálu je vhodné pro předúpravu povrchu pod nátěry, smalty, žárové nástřiky kovů nebo keramické materiály. Otryskávání však lze použít i pro konečnou operaci s cílem zpevnění povrchu materiálu. V tomto případě je tryskací prostředek kulovitý, má stejnou velikost, hmotnost a určitou tvrdost. S rostoucí velikostí tryskacího prostředku roste hloubka ovlivněné vrstvy. Účinek dopadajícího kulovitého tryskacího prostředku je analogický zkoušce tvrdosti podle Brinella. Průměrný odpor materiálu proti dopadu kuličky σ_p je v rozsahu $2 - 3 R_{p0,2}$. Při klasických podmínkách tryskání bývá poměr vtisku d a $\varnothing D$ v rozmezí $0,1 - 2$. Podobně lze vypočítat i hloubku vrstvy ovlivněné plastickou deformací h_p . Tato hloubka bývá u oceli přibližně $1,5 d$ (průměr vtisku). Z průběhu křivky deformace lze odvodit a vypočítat pnutí v povrchových vrstvách. Rozdíly v tlakových pnutích jsou výsledkem plastické deformace v povrchové vrstvě tryskaného materiálu i hlubších vrstev vlivem Hertzových tlaků.

Je-li vyšší část energie spotřebována na plastickou deformaci povrchové vrstvy, není vliv Hertzových tlaků tak významný a naopak. Následující obrázek znázorňuje rozložení pnutí v ocelích s různou tvrdostí.



Obr. 8: Vlevo: Rozložení napětí v ocelích různé tvrdosti po tryskání (1 – HV<300, 2 – HV 350-600, 3 – HV>600), vpravo: Vliv teploty na změnu pnutí slitiny TiAl6V4 (1 – stav po tryskání, 2 – 350°C/30', 3 – 500°C/1 hodina, 4 – 500°C/30 hodin, 5 – 600°C/1 hodina [5])

2.1.2. Chemické předúpravy povrchu

Chemické předúpravy povrchu materiálů mají významný vliv pro odstranění nečistot z jejich povrchů před aplikací následných povrchových úprav. Může se jednat o odstranění organických nebo anorganických nečistot v závislosti na typu odmaštění. Do chemických předúprav materiálu se řadí především odmašťování, moření, odrezování a chemické leštění.

Nečistoty na povrchu lze dělit do následujících skupin:

1. Ulpělé nečistoty – tyto nečistoty jsou vázány pouze fyzikální absorpcí nebo adhezními silami k povrchu materiálu [4], mohou to být zbytky mastných látek, emulzí, olejů atp., nerozpustné anorganické nečistoty (brusiva, grafit, prach z ovzduší atp.), kovové nečistoty (třísky materiálu apod.)
2. Vlastní nečistoty – nečistoty vázané ke kovu svou chemisorpcí a jsou s kovem spojeny určitou chemickou vazbou, jedná se zejména o korozní produkty (okuje, rez atp.), tyto nečistoty se odstraňují mořením [5].

2.1.2.1. Odmašťování

Odmašťování materiálu je vhodné pro odstranění všech ulpělých nečistot z povrchu materiálu, které jsou vázány fyzikální absorpcí nebo adhezními silami. Tyto nečistoty lze odstranit snadněji než u chemicky vázaných nečistot k povrchu materiálu. Úkolem odmašťovacích prostředků je odstranění nečistot z povrchu materiálu, jejich převedení do roztoku nebo emulze a zabránění zpětnému vyloučení na povrchu materiálu.

Procesy odmašťování dělíme podle použitého prostředku:

- a) V alkalických roztocích
- b) V organických roztocích
- c) V kyselých roztocích
- d) V neutrálních roztocích
- e) Elektrolytické odmaštění
- f) Odmaštění ultrazvukem

2.1.2.2. Odmašťování v alkalických roztocích

Velice častý je alkalický odmašťovací proces, který je vhodný zejména pro čištění kovových materiálů. Účinnost alkalického odmašťovacího prostředku spočívá v koloidních chemických pochodech, tedy v emulgaci a dispergaci nečistot různého druhu, dále ve zmýdelnění některých mastnot a zabránění v opětovném ulpění nečistot na kovovém povrchu materiálu. V alkalických odmašťovacích prostředcích je obsažen především louh nebo soda, fosforečnany, uhličitany, křemičitany, povrchově aktivní látky či emulgátory. Zavedením tenzidů, tedy povrchově aktivních látek, znamenalo obrát ve vývoji odmašťovacích prostředků. Tyto povrchově aktivní látky zvýšily kvalitu procesu, popřípadě urychlení i jeho snížení pracovní teploty. Zavedení tenzidů umožňuje odmašťovat ve slabě alkalických roztocích až neutrálních [4]. Dle pH lze určit charakter prostředí:

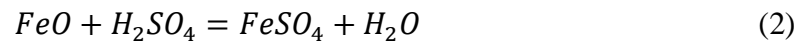
- pH = 7: neutrální prostředí
- pH > 7: alkalické prostředí

Alkalické odmašťovací prostředky se aplikují na kovový povrch ponorem nebo postřikem, zpravidla při teplotě 50 – 85 °C za použití alkalického roztoku s pH v rozmezí 11 – 12. [7]. Nedodržení teploty odmašťovací lázně a doby odmašťování vede ke snížení účinnosti samotného odmašťování. [3]

2.1.2.3. Moření

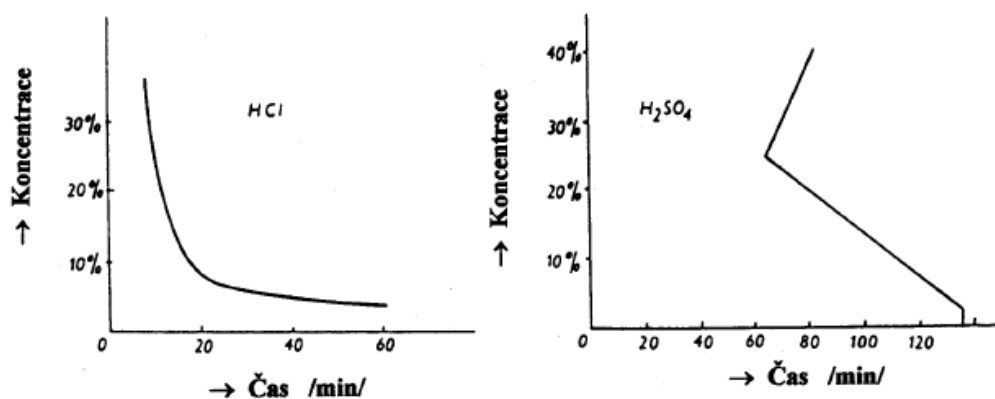
Moření znamená odstranění korozních produktů z povrchu kovu pomocí elektrochemického nebo chemického způsobu. K moření se nejčastěji používají kyseliny a kyselé soli, méně alkalická činidla.

Moření je nejčastěji používáno na oceli a litině, ale i pro účely odstranění oxidické vrstvy na lehkých kovech. V případě litin a ocelí jde zejména o odstranění okují vzniklých tvářením za tepla. K odstranění okují z výrobku, jež byly žihány nebo válcovány i jako předběžné operace před fosfátováním, se nejčastěji používá moření v kyselině sírové H_2SO_4 . Kyselina sírová vniká trhlinkami a póry do vrstvy okují a rozpouští převážně oxid železnatý FeO a kovový povrch:

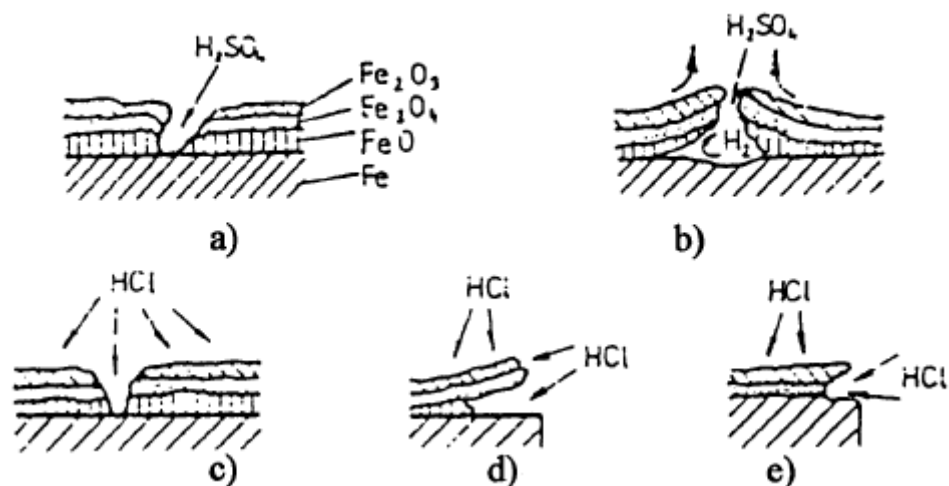


Rozpuštěním spodní vrstvy okují se ostatní oxidy z povrchových vrstev odpadávají, a to za současného působení vodíku.

Nejdůležitější vliv na účinnost moření má teplota a koncentrace lázně. Maximální rychlosti moření dosahuje kyselina sírová při koncentraci 25 %. Pro dosažení ekonomických časů moření je nutno použít vyšší teploty procesu. Lázně pro moření se používají o koncentraci 10 – 20 % a teplotách 40 – 70 °C, čas moření se obvykle pohybuje mezi 10 – 20 minutami. Při provozu ztrácí mořící lázeň svoji účinnost.

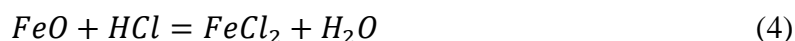


Obr. 9: Vliv koncentrace lázně HCl a H_2SO_4 na rychlost moření [5]



Obr. 10: Princip moření v kyselinách HCl a H₂SO₄ [5]

Kyselina chlorovodíková (HCl) rozpouští oxidy železa většinou na chlorid železnatý:



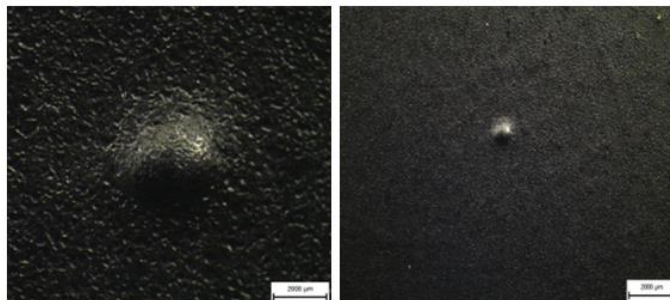
Malé množství odpadá čistě mechanicky, působením vodíku. Kovový povrch je méně napadán kyselinou chlorovodíkovou než kyselinou sírovou.

Kyselina chlorovodíková rozpouští okuje převážně chemicky, kdežto v kyselině sírové zůstává jejich velká část rozpuštěna jako kal, proto je spotřeba kyseliny chlorovodíkové mnohem větší. Kyselina chlorovodíková se používá zejména pro vyšší rychlost moření a díky tomu, že je ocel méně povrchově napadána. Kyselina chlorovodíková se používá v koncentraci 10 – 20%. Moření v této kyselině se používá zejména před smaltováním, cínováním a galvanickými pochody.

Při moření se vyvíjí atomární vodík, jenž se pohlcuje ocelí a způsobuje zhoršení přilnavosti dalších povlaků (např. organických nátěrových hmot), neboť se v důsledku atomárního vodíku se vytváří v povlaku póry či kráterky, jimiž časem může prostupovat od povrchu agresivní korozní prostředí (chloridy, vlhkost atd.).

Vodík následně rekombinuje a v důsledku zvětšování svého objemu se vytváří pórovitost organického povlaku, protože dochází k uvolňování. Velký podíl vodíku se z oceli uvolňuje až po několika dnech.

Například při vypalování práškových plastů dochází k jejímu slinutí a tím se vytvoří neprostupná vrstva pro průchod vodíku do atmosféry.



Obr. 11: Důsledky atomárního vodíku na žárově pozinkovaném vzorku ponorem ve spojení s organickým nátěrovým systémem (vlastní snímky této práce)

Vodíková křehkost vznikající při moření, jež přispívá ke snížení přilnavosti a zhoršení mechanických vlastností povlaků závisí na těchto faktorech:

1. Druhu kyseliny
2. Teplotě
3. Stavů povrchu
4. Čistotě oceli

Odstranění vodíku a vodíkové křehkosti se provádí žiháním, vhodnější je však snížit rychlost napadení kovu kyselinou a tím vnikání vodíku do kovu při moření, bez výrazného snižování odstraňování oxidů.

Pro snížení vnikání vodíku do oceli při moření se používají inhibitory, což jsou vysokomolekulární organické povrchově aktivní látky. Inhibitory vytvářejí na povrchu oceli tenký ochranný povlak bránící vnikání vodíku do kovu. Účinnost inhibitorů (koncentrace 1-3g na 1 litr lázně) se vyjadřuje tzv. inhibičním koeficientem, který vyjadřuje poměr rychlosti rozpuštění oceli v lázni s přídavkem inhibitoru a bez něho, dosahuje až 99,9% [5].

2.1.2.4. Elektrolytické odmašťování

Pro způsob odmašťování se používají alkalické odmašťovací přípravky za použití stejnosměrného elektrického proudu.

Díky působení proudu se zvyšuje výrazně účinek odmašťování, takže je možné z povrchu odstranit i ulpělé nečistoty. Toto odmašťování se používá pro dosažení co nejčistšího povrchu, a to zejména před galvanickým pokovením. Základní proces elektrolytického odmaštění spočívá v tom, že se odmašťovaný materiál zapojí v alkalickém roztoku jako katoda a použije se co nejvyššího stejnosměrného proudu.

Vlivem elektrolýzy se na odmašťovaném materiálu vytváří alkalická vrstva o vysoké aktivitě a nastane silný výboj vodíku. Vodík je silně reaktivní a redukuje tenké vrstvy oxidů nebo sulfidů, zároveň dochází k odtržení ulpělých filmů z povrchu materiálu.

Elektrolytické odmašťování je založeno na mechanickém působení unikajících bublinek plynu na elektrodě. Protože plyny unikají na obou elektrodách, může dojít k vyčištění předmětu jak v katodickém, tak anodickém cyklu. Pracovní teplota odmašťování je nejčastěji nastavena až na 80 °C, proudová hustota 10 A.dm⁻², napětí 7-9 V, násada 6-10 kg/100 l [4].

2.1.2.5. Odrezování

Chemickou předúpravu odrezováním lze provádět natíráním, postříkem nebo ponorem do lázně. Technologie spočívá v odstraňování korozních produktů (hydratované oxidy, nejsou přítomny okuje). Rez je možné odstranit kyselinami, hlavně roztoky kyseliny fosforečné H₃PO₄. V mnoha případech se používají odrezovače, které mimo kyseliny fosforečné obsahují smáčedla, inhibitory koroze a odmašťovadla. Známe dva způsoby chemického odrezování:

a) Odstraňování rzi minerální kyselinou, která obsahuje inhibitory a látky usnadňující penetraci (oplachové odrezovače),

b) Převedení korozní vrstvy na komplexy s vysokou adhezí k povrchu kovu, tvořící anodickou ochranu kovu (bezoplachové odrezovače) [5].

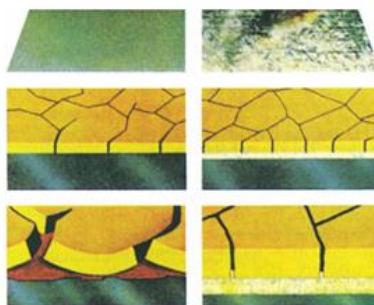
2.2. Duplexní systémy

Duplexní systémy jsou založené na dvojité ochraně materiálu proti korozi, tato ochrana je založená na skladbě kovové vrstvy a povlaku z organické nátěrové hmoty. Jedná se o ochranu oceli ve vysokém stupni klasifikace korozního prostředí (C5, C5-X). Vrstva zinku brání oxidaci železa, zatímco přídavný nátěrový systém brání proti pronikání vlhkosti a obecnému poškození pozinkovaného povrchu [34].



Obr. 12: Jedna z prvních švédských konstrukcí s duplexním povlakem – Maják Pater Noster (v roce 1868 byl žárově pozinkován a následně byl aplikován nátěrový systém) [8]

V předchozích letech se doporučovalo, aby se zinkový povlak nechal exponovat jeden až dva roky ve vnějším prostředí a poté se opatřil nátěrovým systémem. Toto pravidlo se změnilo v 50. letech minulého století, kdy bylo ovzduší relativně čisté, zejména v severských státech. Korozní produkty, jež se na oceli vytvářely, byly tvořeny zejména zásaditými uhličitany zinečnatými. Nátěr se tedy nanášel na inertní vrstvu uhličitánů a v současné době je metoda méně jistá. Nezávisle na druhu nátěrové hmoty je výsledkem tvorba defektů (puchýře, ztráta přilnavosti mezi vrstvami atd.).



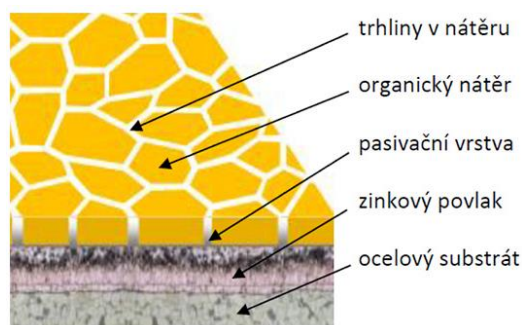
Obr. 13: Vlevo: mikrotrhliny v nátěrovém systému vytvářejí na oceli předpoklady pro podkorodování a odlupování nátěrového systému.

Vpravo: Mikrotrhliny se zaplní produkty zinku, jež mají menší objem než rez na oceli, a nezpůsobí ztrátu přilnavosti mezi systémy.[8]

Životnost organických hmot závisí především na propustnosti a odolnosti proti degradaci daného nátěrového systému (dále jen NS). NS je všeobecně směs nátěrové hmoty, tužidla, ředidla a případně dalších aditiv. S rostoucí dobou expozice organické nátěrové hmoty v atmosférických podmínkách se stává vnější ochrana stále propustnější a začíná degradovat.

Degradace organické nátěrové hmoty vyvolává řadu změn a defektů v této vrstvě, těmito defekty jsou myšleny nejčastěji póry, které se postupem času rozšiřují a agresivní korozní prostředí proniká až k základnímu materiálu a napadá ho.

Korozní produkty vznikající na hranici povlak – základní materiál postupně zvětšují svůj objem a dochází ke ztrátě přilnavosti mezi základním materiálem a povlakem, tedy ztrátě adheze.



Obr. 14: Synergický účinek obou povlaků, postupná degradace organického nátěru nemá za následek podkorodování, neboť je ocel chráněna zinkem na základním materiálu [9]

2.2.1. Životnost duplexního systému

Životnost duplexního systému je mnohem delší než samotná povrchová úprava žárového zinku či organické nátěrové hmoty. Životnost duplexního systému je možné stanovit podle vzorce:

$$L_t = K \cdot (L_{Zn} + L_f) \quad (5)$$

Popis:

L_t – životnost duplexního systému v letech

L_{Zn} – vypočítaná životnost zinkového povlaku pro dané prostředí provedeného na oceli

L_f – je vypočítaná životnost organického povlaku pro dané prostředí provedená na oceli

K – synergický faktor pro dané prostředí, za který se dosazuje:

K = (1,5) – jestliže systém je vystaven prostředí C5 nebo trvale ponořen do mořské vody

K = (1,6 – 2,0) – vystavení systému v prostředí C3 až C4 nebo po dobu ovlhčení menší než cca. 60%

K = (2,1 – 2,3) – vystavení systému v prostředí C2

Předpokladem pro zvýšenou životnost duplexního systému je stálá a konstantní přilnavost organické nátěrové hmoty k povrchu zinku. Nejdůležitějším předpokladem pro zvýšení životnosti je pečlivá předúprava zinkového povrchu a správné zvolení nátěrového systému.

Nátěrový systém na zinek je náročnější než na ostatní materiály, nepatrné množství nečistot způsobí degradaci systému a vznik defektů, které jsou pro zvýšení životnosti kritické [10].

2.2.2. Aktuální problémy vytváření povlaků typu Duplex

Zinkový povlak jako podklad pod nátěr má řadu ochranných vlastností a ekonomické výhody. Avšak zinkové povlaky přináší řadu obtíží spojené se získáním správné kvality nátěrového povlaku na pozinkovaném povrchu, což se projevuje ztrátou přilnavosti (puchýřkování, podkorodování povlaku nebo snížení tloušťky nátěrového systému). Tyto problémy jsou způsobeny z většiny případů nevhodnou přípravou podkladu pod nátěr nebo nesprávným výběrem nátěrové hmoty. Přilnavost povlaku nátěrového systému k pozinkovanému povlaku je závislá na materiálu pro zinkování a parametrech procesu zinkování.

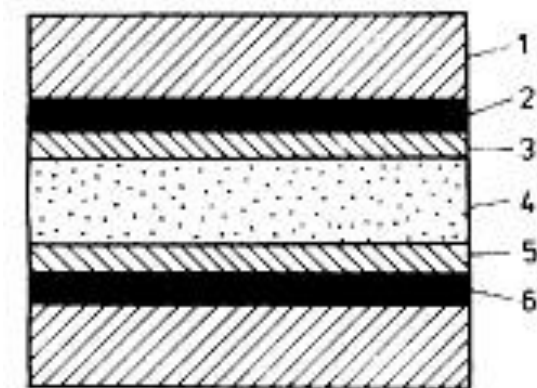
Oxid i hydroxid zinečnatý reagují s CO_2 ze vzduchu a vznikají uhličitany zinečnaté. Tvoří kompaktní a hrubý povrch, ke kterému mají povlaky dobrou přilnavost. S postupem času a působením atmosférických nečistot (SO_2 a chloridy) mohou na povrchu zinku vznikat ve vodě rozpustné sírany a chloridy zinečnaté, které oslabují přilnavost povlaků nátěrových systémů. [11, 12]

2.3. Přílnavost nátěrových systémů

Povrch materiálu hraje klíčovou roli na výslednou kvalitu a životnost následně aplikované povrchové úpravy. Významným činitelem je přílnavost organické nátěrové hmoty, resp. adheze k podkladovému materiálu. Tato kapitola popisuje základní principy, které ovlivňují nejzásadněji přílnavost organických povlaku k povrchu základního materiálu.

Adheze a adhezní vlastnosti jsou popisovány několika teoriemi. Každá z níže popsaných teorií platí vždy na konkrétním případě aplikace. Nejčastěji je adheze definována jako soudržnost dvou spojovaných ploch a materiálů – dva odlišné povrchy (tělesa) jsou v těsném kontaktu. Při spojení dvou materiálů, např. žárově pozinkovaného materiálu a organické nátěrové hmoty se vytvoří rozhraní složené z několika mikro vrstev (obr.15):

- 1. vrstva – adherent (nátěrová hmota)
- 2. a 6. vrstva – adhezní zóna
- 3. vrstva – přechodová adhezní zóna
- 4. vrstva – kohezní zóna
- 5. vrstva – přechodová kohezní zóna

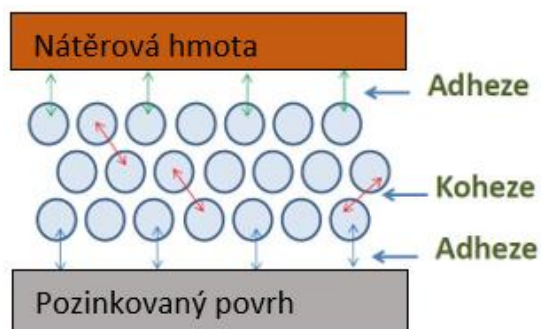


Obr. 15: Schéma mikrovrstev spoje [15]

Dva materiály jsou u sebe drženy mechanickým ukotvením, působením fyzikálních sil, elektrostatickou přitažlivostí nebo také chemickým působením. Adheze celého systému je také ovlivněna vlastnostmi povrchu stykových ploch a jejich velikostí. Celková pevnost spoje závisí na adhezních, kohezních silách a smáčivosti povrchu [13, 14].

2.3.1. Adhezní a kohezní síly

Adheze, resp. přilnavost se využívá při spojení dvou a více různých materiálů. Tyto materiály je možné spojit buď mechanicky nebo pomocí přitažlivých sil. V případě adhezních spojení se uplatňují především přitažlivé síly chemické a fyzikální.



Obr. 16: Schéma vrstev – působení adhezních a kohezních sil ve spoji [16]

Výsledná účinnost fyzikálních sil je závislá na velikosti a vzdálenosti atomu nebo molekul. Fyzikální síly působí řádově ve vzdálenosti od setin μm až do několika desetin μm .

Chemické síly mají podobný charakter jako síly fyzikální. Tyto síly jsou několikanásobně silnější než síly fyzikální, ale jejich dosah je menší než u sil fyzikálních, řádově pár setin μm . Vyskytují se u chemických reakcí jako vazebné síly v chemických vazbách.

Mechanismy spojů pomocí adhezních a kohezních sil jsou složité a existuje několik teorií. Často se jedná o kombinaci těchto mechanismů [16, 17].

2.3.2. Absorpční teorie

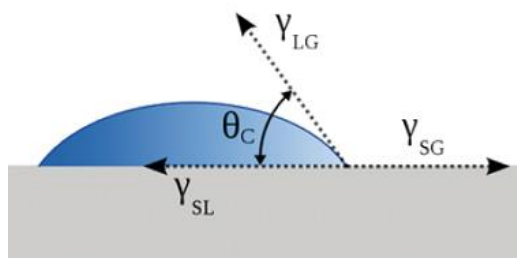
Absorpční teorie je založena na jevu smáčení, absorpce a adheze. V těchto spojkách se považují za nejsilnější fyzikální síly, a to především díky jejich četnosti. Absorpční teorie adheze se dělí na dva stavy. V prvním stavu je snaha adhezivum přiblížit adherentu na takovou vzdálenost, aby se molekuly mohly vzájemně interagovat van der Waalsovými silami. Druhé stádium se vyznačuje dostatečným přiblížením molekul adheziva a adherentu za interakce van der Waalsovými silami. Aby se tyto interakční síly vytvořily, nesmí být molekuly adheziva od adherentu vzdáleny více než 0,5 nm. Pro dodržení této vzdálenosti je nutné, aby byl povrch adherentu pro adhezivum dobře smáčivý [18].

2.3.3. Smáčivost povrchu

Smáčivost povrchu je schopnost kapaliny zajistit schopnost kontaktu s pevným povrchem, vyplývající z mezimolekulární interakce.

Povrch je pro kapalinu smáčivý v případě, že jeho povrchová energie je větší než energie kapaliny. To je důležité proto, aby ten z dvojice materiálů, který má být při tvoření spoje dobře smáčivý, také spolehlivě vyplnil veškeré nerovnosti a póry druhého materiálu, tím vytvořil dobrý spoj nejen z pohledu soudržných sil, ale i mechanického spojení materiálů bez vzduchových bublinek, které by snižovaly pevnost spoje.

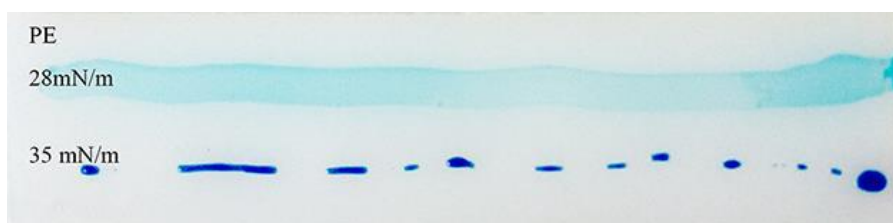
Povrchová energie se měří několika metodami. Jedna z možností je popsána v normě ČSN EN 828 Lepidla – Smáčivost – Stanovení měřením kontaktního úhlu a volné povrchové energie pevného povrchu. Při provádění metody jsou na měřený povrch naneseny kapky několika tekutin o známé povrchové energii. Pomocí zařízení, které ve zvětšeném měřítku promítne tvar kapky, se změří kontaktní úhel mezi kapkou a povrchem na obou stranách kapky. Z několika různých kapalin a jejich polarit se díky měření pro každou z nich vyhodnotí kontaktní úhel, vypočte se velikost povrchového napětí, které je svou hodnotou číselně shodné s velikostí povrchové energie, liší se však v jednotkách [16].



Obr. 17: Princip měření kontaktního úhlu [19]

Další možností je použití speciálních inkoustů o známém povrchovém napětí. Inkoust se aplikuje štětečkem na měřený povrch. Nevýhodou inkoustů oproti měření pomocí kontaktního úhlu je, že lze povrchovou energii měřit pouze na intervaly, podle odstupňování inkoustů.

Metoda je tak spíše orientační a neposkytuje přesnou hodnotu povrchového napětí.



Obr. 18: Kontrola povrchového napětí polyethylenu [16]

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.

2.3.4. Fyzikálně – chemické vlastnosti nátěrových systémů a jejich ověření

Kapitola obsahuje základní zkušební postupy pro ověření a určení fyzikálně – mechanických vlastností jednotlivých nátěrových systémů:

1. Stanovení tloušťky organických povlaků dle ČSN EN ISO 2808 nedestruktivně elektromagnetickou metodou [43].
2. Stanovení přilnavosti nátěrů mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 [44].
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 (adhezní lom), nebo nejslabší složky (kohézní lom) hodnocených nátěrových systémů [56].
4. Stanovení přilnavost křížovým řezem dle a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2 [64].

2.4. Současné chemické předúpravy povrchu žárově pozinkovaných materiálů

Pozinkované plechy jsou obvykle chráněny před korozním prostředím konverzními povlaky (fosfát, chromát ad.) a dále jsou opatřeny organickými povlaky, které zajišťují bariérovou ochranu proti korozi. Konverzní vrstvy se na povrchu materiálu vytváří zejména pro vyšší korozní odolnost a pro zvýšení přilnavosti organických povlaků. Existuje řada metod pro vytváření konverzních vrstev na bázi fosfátů, chromátů, modifikovaných typů železnatých fosfátů, Ti-Zr konverzních vrstev atd. Každá z výše zmíněných chemických předúprav povrchu má svůj rozdílný vliv na přilnavost organických povlaků, což je i předmětem této práce.

2.4.1. Chromátování

Dříve jeden z nejrozšířenějších způsobů pasivace, používá se pro zvýšení korozní odolnosti [68] a přilnavosti organických nátěrových hmot zejména u neželezných kovů, a také zinkových, hliníkových a kadmiových povlaků. 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.).

Tato omezení a legislativní tlaky vedou k hledání alternativ v této oblasti, jako popisuje studie, která mapuje pokroky v oblasti bezchromátových konverzních povlaků. Diskutuje různé chemické složení, metody aplikace a výkonnostní charakteristiky těchto povlaků. Studie se také zaměřuje na environmentální přínosy [71].

Další vliv na lidské zdraví při použití této chemické předúpravy povrchu zkoumají autoři článku „Environmental impact of chromate and phosphate surface treatments“ [74] se zabývali porovnáním vlivu chromátových a fosfátových povrchových úprav na životní prostředí. Výsledky ukázaly, že chromátové úpravy, ačkoli jsou účinné proti korozi, představují značná zdravotní a ekologická rizika kvůli toxicitě šestimocného chromu. Fosfátové úpravy byly identifikovány jako méně škodlivé alternativy, přestože mohou mít určité kompromisy v účinnosti ochrany proti korozi.

Chromátové vrstvy zajišťují zvýšenou korozní odolnost zinkových povlaků zejména díky pasivačnímu účinku chromových sloučenin přítomných v povlaku [6]. Chromátovací lázně mohou být alkalického nebo kyselého typu.

Zinkování a následná úprava zinkového povrchu chromátováním byla dříve velice rozšířená, ale dnes je snaha nahrazovat tyto konverzní vrstvy novými alternativními chemickými předúpravami.

2.4.1.1. Alkalické chromátovací lázně

Dnes již méně používané, mimo chromové soli obsahují alkálie nebo zásadité soli, případně křemičitany pro utěsnění pasivační vrstvy.

Kov reaguje s chromany za vzniku hydroxidu kovu, hydroxidu chromitého, soli a vodíku. Z nerozpustných hydroxidů se dále vytváří nerozpustný chromátový povlak.

2.4.1.2. Kyselé chromátovací lázně

Hlavní složkou těchto lázní je kyselina chromová, komplexotvorné látky pro vázání kovových iontů a urychlovače. Lázně pracují v kyselé oblasti o kyselosti pH 1 až 2,5. Tyto lázně jsou stálé a velice odolné v provozu. Šestimocný iont chromu (Cr^{6+}) se při reakci s kovovým povrchem v kyselé lázni redukuje na trojmocný iont chromu (Cr^{3+}), při této reakci vzrůstá pH a vytváří se vrstva, která je složená ze směsi chromu a základního kovu. Kvalitu lázně ovlivňuje nejen složení lázně, ale i pracovní podmínky, při kterých je chromátová vrstva vytvářena [5]. Dnes už je použití šestimocného chromu nemožné, vzhledem k jeho nebezpečnosti [91].

2.4.2. Chromátování zinku

Chromátové vrstvy na zinkových povlácích lze vylučovat od tenkých čirých, přes modré, žluté, zelené, až hnědé a černé. Postup chromátování zinkových povlaků se podobá chromátování hliníku. Chromátují se často galvanické zinkové povlaky, ale i žárově pokovované.

Chromátové povlaky lze rozdělit dle tloušťky a jejich barevnosti:

- Lesklé nebo namodralé chromátové vrstvy – tyto povlaky mají tloušťku pod 0,1 μm
- Žluté nebo duhově zbarvené chromátové vrstvy – tloušťky 0,1 až 2 μm
- Zelené chromátové vrstvy – tloušťky 1 až 5 μm
- Černé chromátové vrstvy – tloušťky 0,1 až 1 μm



Obr. 19: Použití chromátování při různých aplikacích [20]

2.4.3. Fosfátování povrchu

Fosfátování je v současné době nejrozšířenější povrchovou předúpravou oceli a hliníku, při které vznikají na povrchu terciální fosforečnany zinku, železa, vápníku a manganu – dle použití. Další schopností fosfátových vrstev je vázání některých organických látek na jejich povrch. Jedná se zejména o vazelíny, impregnační oleje, ale hlavně organické nátěrové hmoty.

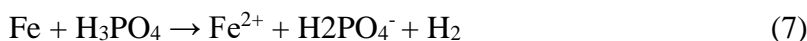
Nejvíce se fosfátové vrstvy používají právě jako předúprava povrchu před aplikací organických nátěrových hmot. Fosfátové vrstvy se používají také k vytvoření izolačních vlastností na povrchu transformátorových plechů a k snížení tření pohybujících se součástí [6]. Další studie ukazují vliv fosfátových povlaků na korozní odolnost ocelových podkladů. Experimenty ukazují, že fosfátové vrstvy významně zvyšují korozní odolnost a přilnavost povlaků na oceli [67].

Důležité pro samostatné fosfátování je výběr fosfatizačních prostředků, protože na něm závisí tloušťka, struktura a drsnost fosfátového povlaku. Převážně se vyrábí fosfatizační přípravky na bázi zinku, jen zčásti na bázi železa, manganu a vápníku.

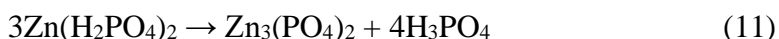
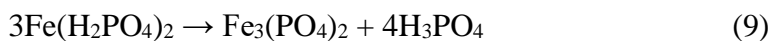
Zinečnaté fosfátové povlaky o váze $150 - 300 \text{ mg.dm}^{-2}$ jsou vhodné pro ochranu proti korozi, povlaky $30 - 200 \text{ mg.dm}^{-2}$ pro usnadnění tváření za studena a povlaky $10 - 60 \text{ mg.dm}^{-2}$ pro úpravu povrchu před nanášením nátěrových hmot [6].

Zinečnato – vápenaté fosfátové povlaky jsou díky svému jemnozrnnému charakteru vhodné jako podklad před aplikací nátěrových systémů. Manganové fosfátové povlaky jsou dobré pro záběh strojních součástí, ale lze je použít i jako ochranu proti korozi [6].

Podstatou procesu fosfátování je přeměna rozpustného dihydrogen-fosforečnanu (hlavní složka fosfatizační lázně) na nerozpustný hydrogenufosforečnan a fosforečnan příslušného kovu, ten vzniká díky reakci kovového povrchu s fosfatizačním roztokem. Nejprve proběhne reakce, při které se volná kyselina rozpouští na kov za současného vzniku vodíku:



Na styčné ploše kov – fosfátovací lázeň nastává úbytek volné kyseliny (zvýšení pH) v lázni a tím se poruší hydrolytická rovnováha fosfátovací lázně, dojde k disproportionaci hydrogenufosforečnanu na nerozpustný normální fosforečnan a volnou kyselinu fosforečnou.



Vzniklá volná kyselina obnoví rovnováhu v lázni, vzniklý normální terciální fosforečnan zinečnatý krystalizuje na povrchu oceli a vytváří ochrannou vrstvu. Fosfátové prostředky jsou obvykle nanášeny postříkem nebo ponorem dle počtu, velikosti a tvaru dílů určených k fosfátování. Kontinuálně zpracovávané pásy jsou fosfátovány procesem navalování a sušení, fosfatizační roztok je nanášen na pás a bez oplachu je povlak vysušen.

Podle způsobu aplikace mohou vznikat ve složení a morfologii fosfátových povlaků. Jak je výše řečeno, povlaky jsou složeny podle druhu upravovaného kovu a použité fosfatizační lázně z nerozpustných fosforečnanů, např. zinku, manganu, vápníku:

- Fosfilit $[\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se při fosfátování oceli v lázni na bázi dihydrogenfosforečnanu zinečnatého.
- Hopeit $[\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se při fosfátování zinku v lázni obsahujících dihydrogenfosforečnan zinečnatý.
- Scholzit $[\text{Zn}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se na oceli a zinku v lázních, které obsahují dihydrogenfosforečnan zinečnatý a dusičnan vápenatý
- Železnatý huréalit $[(\text{MnFe})_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se při fosfátování oceli v lázních obsahující dihydrogenfosforečnan manganatý.

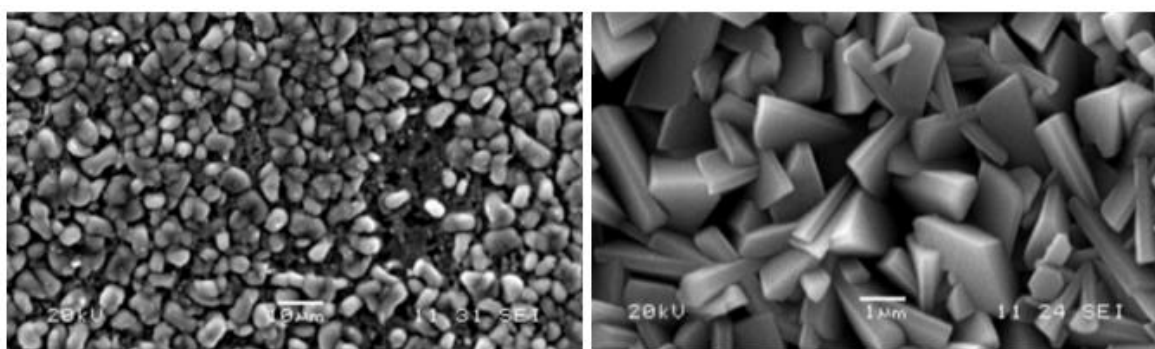
- Manganatý huréalit $[\text{Mn}_5\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se při fosfátování zinku v lázni na bázi dihydrogenfosforečnanu manganatého.
- Vivianit $[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$, tvoří se při fosfátování oceli v lázni na bázi dihydrogenfosforečnanu amonného nebo dihydrogenfosforečnanu alkalického kovu [1, 21].

K urychlení vlastního procesu se používají tzv. urychlovače, ty obsahuje většina moderních fosfatizačních lázní. Mezi urychlovače patří dusičnany, dusitany, chlornany ad., zajišťující stabilitu lázně a mají dobrý vliv na snížení pracovní teploty samotného procesu fosfátování. U moderních lázní při ponorovém způsobu bude proces probíhat za teplot 50 – 60 °C při času 5 až 10 minut, což je výrazné ušetření času a energie [5].

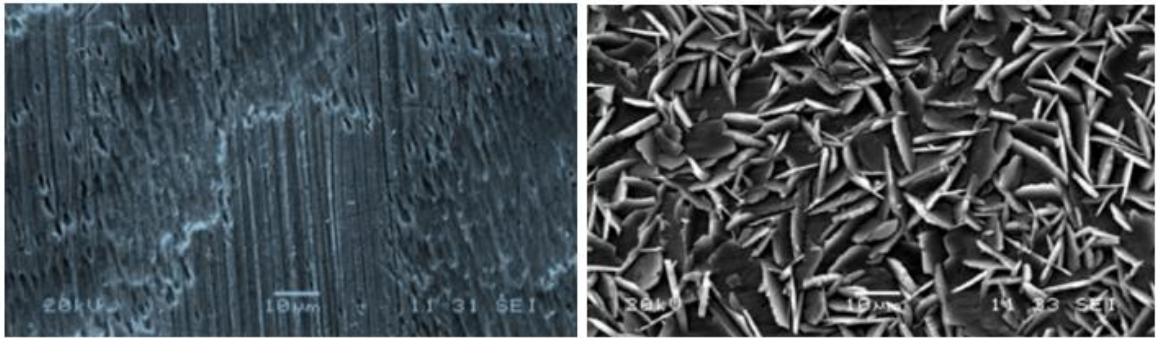
2.4.3.1. Fosfátování povrchu pod organické povlaky

Fosfátování se využívá zejména pod organické nátěrové hmoty pro zvýšení korozní odolnosti celého systému tím, že fosfátová vrstva brání podkorodování nátěrového systému a zvyšuje přilnavost k podkladovému materiálu. Pro zvýšení přilnavosti je zapotřebí jemnozrnných vrstev o hmotnostní koncentraci 10 až 60 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-2}$, neboť při tlustých fosfátových vrstvách dochází k uvolňování jednotlivých krystalů. Mimo použití urychlovačů do fosfátových lázní se používá aktivační oplach před fosfátováním.

Jedná se o velmi zředěné roztoky fosforečnanů s přídavkem tzv. aktivovaného Ti-fosfátu, někdy i slabého roztoku kyseliny šťavelové. Aktivační oplach je důležitý pro tvorbu krystalizačních center, na kterých začíná růst vlastní fosfátová vrstva.



Obr. 20: Vlevo: SEM snímek krystalů Scholzitu zinečnato – vápenatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystalů huréalitu manganatého fosfátu [22].



Obr. 21: Vlevo: SEM snímek amorfního železnatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystalů hopeitu zinečnatého fosfátu [22].

2.4.4. Modifikace univerzálního typu železnatého fosfátu

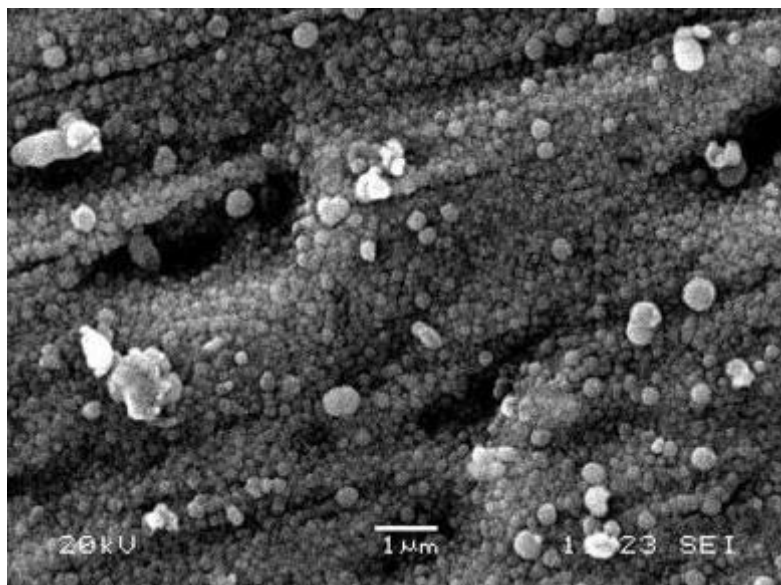
Železnaté fosfátování se používá zejména pro úpravu před povlakováním práškovými plasty. Tento druh fosfátování se používá pro mezioperační pasivaci povrchů železa.

Použití kombinace železnatého fosfátování a následné pasivace či utěsnění, zvyšuje korozní odolnost protikorozní ochrany. Velké použití železnatého fosfátování způsobilo vznik řady koncentrátů pro nasazení pracovní lázně.

Používají se práškové a kapalně koncentráty, což jsou přípravky pro operaci současného odmašťování a fosfátování s obsahem povrchově aktivních látek nebo s přípravky bez organických tenzidů.

V současnosti existují nejrůznější typy lázní, jako jednosložkové, kapalně, univerzální přípravky sdružené operace železnatého odmaštění a železnatého fosfátování. Tyto lázně nejčastěji obsahují anorganické složky dihydrogenfosforečnanů alkalických kovů a urychlovače, které jsou nejčastěji na bázi molybdenů, organickými povrchově aktivními látkami, jež zajišťují odmaštění.

V lázni se vytváří amorfni vrstvička fosforečnanu železnatého (vivianitu). Jedná se o velmi kompaktní a tenkou vrstvu, jejíž hmotnost je od 0,2 – 0,5 g.m⁻². Vrstva je zbarvena od šedé až modrofialové barvy do zlatých odstínů povlaku. Vytvořená vrstva napomáhá uvolňování mastnot z upravovaného povrchu. Odmašťují se povrchy zamaštěné konzervačními nebo tvářecími oleji 1 – 2 g.m⁻² [23].



Obr. 22: Projevující se náznak krystalické struktury povlaku. Krystaly jsou uspořádány do kulových útvarů o velikosti okolo 0,2 μm [23].

V dalších pracích se autoři zabývali tím, jak různé povrchové úpravy ovlivňují odolnost zinkových povlaků proti korozi. Cílem bylo zjistit, které metody povrchových úprav jsou nejúčinnější. Použili různé experimentální techniky, včetně elektrochemických testů a analýzy povrchu, aby zhodnotili korozní odolnost.

Zjistili, že některé povrchové úpravy, jako chromátování nebo fosfátování, významně zvyšují ochranu zinkových povlaků proti korozi. Tyto úpravy vytvářejí ochrannou vrstvu, která brání pronikání korozivních látek, což prodlužuje životnost materiálu. Studie také ukazuje, jak důležité je vybrat správnou povrchovou úpravu pro konkrétní aplikace, aby byla zajištěna co nejlepší ochrana proti korozi [73].

2.5. Alternativní předúpravy povrchu žárově pozinkovaných materiálů

V této části práce byl řešen výzkum a vývoj nových progresivních předúprav povrchu s obsahem fluorzirkoničitanů a vrstvy z přehydrolyzovaných organosilikátů.

Tyto konverzní vrstvy poskytují určitou pórovitost a morfologii povrchu pro přilnavost organických povlaků. Každá z výše zmíněných chemických předúprav povrchu má svůj vliv na přilnavost organických povlaků.

V současné době je zájem odborné veřejnosti směřován na nízkoteplotní aplikace, při kterých je umožněno vytvořit odpovídající protikorozi ochranu, ale zároveň i zvýšit přilnavost organických povlaků. Nesporným benefitem je i šetrnost k životnímu prostředí, snížení energetické náročnosti celého procesu a další procesní hlediska.

Výzkum a vývoj v této oblasti je v oboru povrchových předúprav materiálů nesmírně důležitý. I vzhledem k ekonomické a ekologické udržitelnosti běžného provozu povrchových úprav.

2.5.1. Konverzní vrstvy na bázi oxidu Zr a Ti

Předúpravy povrchu na bázi titanu či zirkonia se během uplynulého desetiletí staly velice populárními alternativami k často používané chemické předúpravě, tedy chromátování a fosfátování.

Chemické prostředky se typicky skládají z fosforečnanu manganatého, hexafluoridu titanu (zirkonia) a organického polymeru v mírně kyselém vodném roztoku. Předúpravy na bázi Ti/Zr nebyly doposud tak zkoumány, jako rozsáhlá chemická předúprava na bázi chromu a fosfátu [24].

Před aplikací konverzní vrstvy na pozinkované oceli se kovový povrch běžně odmašťuje alkalickým roztokem, aby se odstranily veškeré organické a některé anorganické nečistoty. Povrchové nečistoty vlivem nesprávného odmaštění materiálu snižují reaktivitu povrchu s pasivační zirkoničitou lázní.

Pasivační roztoky lze aplikovat pomocí ponoru či postřiku. Při kontaktu pasivačního roztoku s povrchem pozinkované oceli dochází nejprve k mírné oxidaci povrchu.

Díky anodické reakci vznikají ionty zinku (Zn^{2+}) a elektrony (e^-). Odpovídající katodové reakce vedou k tvorbě vodíku a redukci kyslíku, což naopak vytváří ionty OH. Tvorba hydroxidových iontů zvyšuje lokálně pH a vede k precipitaci rozpuštěných kovových iontů (hydroxidů a fosfátů). Rozpuštění povrchu kyselým roztokem fluoridu a následnou tvorbou stabilního pasivujícího filmu lze považovat za vhodný způsob tvorby jakékoliv konverzní vrstvy. Kovové hydroxidy podporují ochranu proti korozi. Bylo prokázáno, že vrstva $Zn(OH)_2$ vykazuje lepší ochranné vlastnosti než ZnO vrstva, kvůli nízké elektrické vodivosti [25]. Může také docházet ke kondenzaci vzniklých hydroxidů, což vede k tvorbě amorfni a polymerní sítě, podobně jako siloxanová (Si-O-Si) síť.

Polymer obsažený v pasivačním roztoku je navržen tak, aby vytvořil film na povrchu konverzní vrstvy, čímž se zvyšuje adheze organického povlaku.

Hlavním problémem je likvidace odpadu fosfátovacích lázní, které mají provozní teploty od 30 do 99 °C. Ve fosfátovacích lázních se tvoří velké množství kalu, což vyžaduje častou údržbu k udržení provozu lázně.

Dále může být problém s kyselinou chromovou, která se používá jako další těsnící krok pro snížení poréznosti konverzní vrstvy a zvýšení odolnosti proti korozi. V důsledku rostoucích tlaků ekologů s konverzními vrstvami se vyvíjí nové alternativy, které jsou šetrnější k životnímu prostředí a zachovávají dobrou korozní odolnost, zejména ty na bázi Zr nebo Zr a Ti.

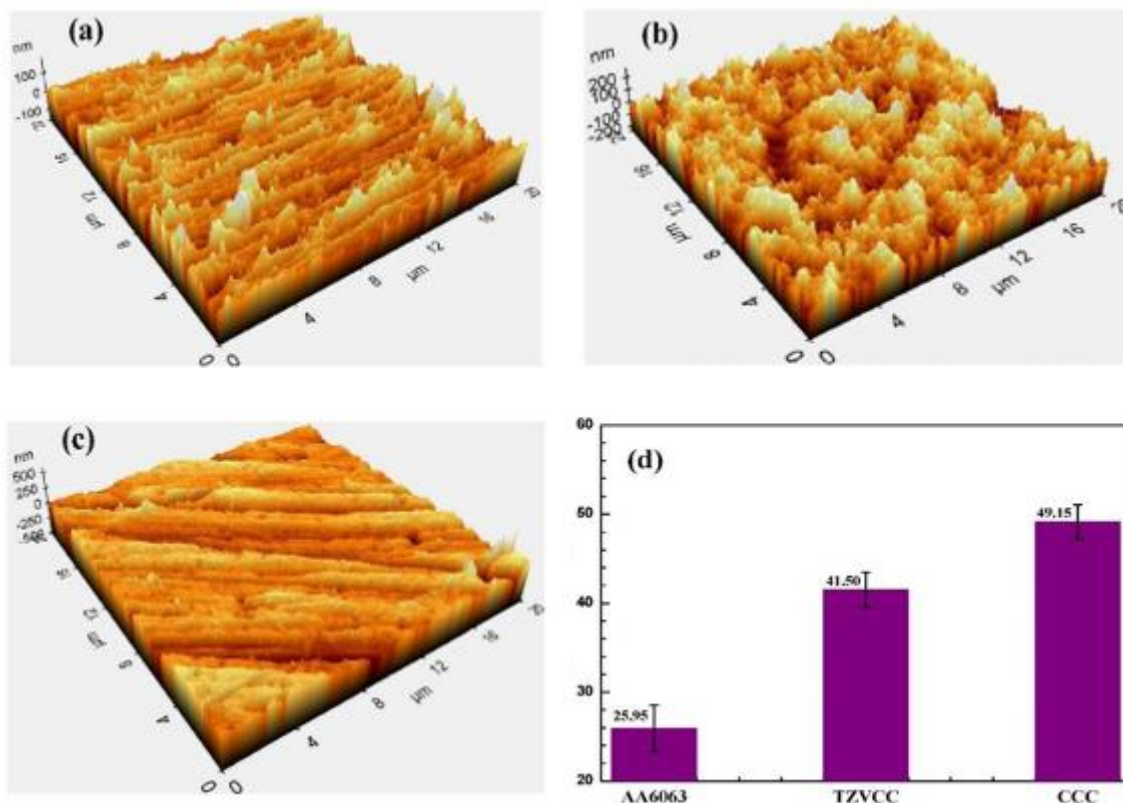
Jedná se zejména o použití oxidu zirkoničitého na povrchu pomocí metody sol – gel nebo ponořením v kyselině hexafluorzirkoničité (H_2ZrF_6). Bylo zjištěno, že povlaky ZrO_2 o tloušťce 18 až 30 nm poskytují vyšší ochranu proti korozi oproti klasickým fosfátům na nízkouhlíkových ocelích. Zirkonium absorbovaný v povrchových vrstvách se nejčastěji vyskytuje jako oxid zirkoničitý (ZrO_2). Bylo zjištěno, že oxid zirkoničitý ve vrstvách do 50 nm nebo méně, vykazuje srovnatelnou odolnost s běžnými chromáty a fosfáty. Vliv koncentrace fluoridu v lázni a jeho pH je také velmi důležité pro vlastnosti povlaku. Zirkonium se vyskytuje v povlaku v různých formách, hlavně tedy jako oxid zirkoničitý (ZrO_2), kdežto titan se vyskytuje jen ve formě (TiO_2).

Takto vzniklé konverzní vrstvy jsou ve srovnání s nátěrovými hmotami velmi tenké. Ve srovnání s konverzními vrstvami obsahujícími Cr, většina vrstev bez Cr nemá dostatečnou antikorozi schopnost.

Chromáty mohou migrovat na poškozená místa, jestliže je konverzní vrstva odhalena kvůli vysokému oxidačnímu potenciálu šestimocného chromu (snížení Cr^{6+} na Cr^{3+}). Redukce chromu účinně snižuje rychlost koroze kovu. Konverzní vrstvy bez Cr chrání povrch hlavně díky tvorbě bariér, které brání přístupu iontů a kyslíku ke kovu, a také zvýšená adheze nátěrové hmoty ke kovu.

V práci autora Wen Zhu a kolektivu z School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology [25] se věnují porovnání hliníkových vzorků, které byly chromátovány a vzorků s konverzní Ti/Zr/V vrstvou. Na obr. 23 jsou snímky povrchu těchto vzorků.

Můžete si všimnout, že jak po chromátování tak i u povrchu s konverzní Ti/Zr/V vrstvou dojde k výraznému nárůstu drsnosti, což umožní zvýšení adheze dále aplikovaných nátěrových hmot či laků.



Obr. 23: (a) AFM (Atomic Force Microscopy) snímek povrchu s Ti/Zr/V konverzní vrstvou (TZVCC), (b) AFM snímek po chromátování (CCC), (c) povrch bez chemické předúpravy (AA6063), (d) graf s jednotlivými drsnostmi [26]

Bylo zjištěno, že oxid zirkoničitý ve vrstvách do 50 nm nebo méně, vykazuje srovnatelnou odolnost s běžnými chromáty a fosfáty [26]. Vliv koncentrace fluoridu v lázni a jeho pH je také velmi důležitý pro vlastnosti povlaku.

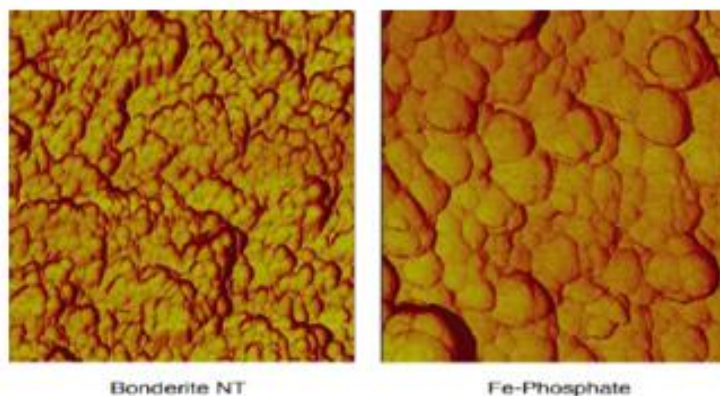
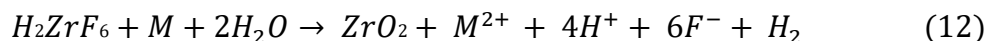
Zirkonium se vyskytuje v povlaku v různých formách, hlavně tedy jako oxid zirkoničitý (ZrO_2), kdežto titan se vyskytuje jen ve formě (TiO_2) – oxid titaničitý.

Jeden z používaných produktů na trhu je výrobek TecTalis[®], který je běžně komerčně dostupný, je založen na kyselině hexafluorzirkoničité (H_2ZrF_6). Tento produkt lze nanášet postříkem či ponorem při pokojové teplotě, nevyžaduje utěsnění pomocí kyseliny chromové a může být použit na celou řadu kovových povrchů (ocel, hliník, zinek). Lázeň je založena na zředěné H_2ZrF_6 ($Zr < 200 \text{ mg.l}^{-1}$) s malým množstvím Si a Cu pro lepší dlouhodobou výkonnost lázně [27].

- **TecTalis (Ti, Zr) reakce při tvorbě vrstvy:**

pH = 3,8 – 4,8, T = 10 – 50 °C, Čas = 30 – 180 s, reakce:

M = základní materiál Fe, Zn, Al, Mg



Obr. 24: Vlevo: SEM Snímek a ukázka povrchové morfologie jemnozrnné vrstvy Bonderite NT1 (prostředek na bázi Ti-Zr) oproti železnatému fosfátování vpravo [27].

2.5.1.2. Korozní odolnost Ti – Zr vrstev

Kovové materiály jsou jedním z nejčastěji používaných materiálů v průmyslu, proto musí být kladen důraz na jejich ochranu. Za účelem ochrany jsou nejčastěji používány anorganické a organické povlaky.

V neposlední řadě, nesmí být opomenutá vysoká odolnost proti opotřebení a korozi v agresivním korozním prostředí se zvýšenou teplotou. Z tohoto důvodu se používají oxidické povlaky, jako například oxid zirkonia, titanu, křemíku, hliníku. Tyto oxidy výrazně přispívají ke zlepšení povrchových vlastností materiálu.

Je dokázáno, že zvýšení korozní odolnosti je možné s aplikací TiO₂/NiO nanokompozitních vrstev na materiálu z korozivzdorné oceli, nanášených pomocí metody sol-gel. Korozní odolnost byla zkoumána v 3,5 % NaCl a 1 % HCl. Výsledky ukazují, že výše zmíněné povlaky poskytují dobrou ochranu proti korozi [26].

Nicméně, použití předúpravy na bázi chromanů, je do budoucna nepřijatelné z důvodu jejich toxicity pro životní prostředí a lidský organismus. Eliminace toxických chemikálií je považováno za prioritu v rámci Evropské unie.

Dále se ekologickými aspekty této předúpravy povrchu zabývají autoři článku „Assessment of environmentally friendly surface pretreatments for zinc coatings“ [76]. Článek hodnotí ekologicky šetrné předúpravy zinkových povrchů, včetně použití organosilanů a konverzních vrstev na bázi zirkonia a titanu. Výsledky ukazují, že tyto metody poskytují vysokou korozní odolnost a přilnavost, aniž by negativně ovlivňovaly životní prostředí.

V dalším výzkumu autoři použili čtyři alternativní pasivace a pro porovnání byla zvolena pasivace pomocí šestimocného chromu. Jako alternativní metody byly použity tři předúpravy na bázi Ti, Zr a jedna na bázi molybdenu, jež byla vyvinuta autory [28].

Práce autorů ukázala, že korozní odolnost součástí, ošetřených pomocí alternativních pasivací je srovnatelná s pasivací pomocí šestimocného chromu. Lázeň na bázi molybdenu, vyvinuta autory, prokázala výrazné antikorozní chování oproti běžným, komerčně používaným pasivacím [28].

Další vývoj byl zaměřen na nové alternativní metody na bázi Zr/Ti/Mn/Mo, jež byly vyvinuty za účelem zlepšení korozní odolnosti hliníkových slitin AA2024, AA7075 a T3-T6 pro letecké aplikace.

V příspěvku autoři zkoumali vliv těchto předúprav na korozní odolnost, která je ověřována ve zrychlené korozní zkoušce v solné mlze (NSS). K poskytnutí informací o morfologii povrchu byla využita skenovací elektronová mikroskopie (SEM), energeticky disperzní spektroskopie (EDS) a mikroskopie atomárních sil (AFM).

Při zkoušce solnou mlhou povlaky na bázi Zr/Ti/Mn/Mo poskytovaly výrazně vyšší korozní odolnost oproti vzorkům bez pasivace povrchu. Korozní odolnost materiálů s použitím pasivace se zdá vyšší u slitiny AA7075-T6, oproti AA2024 a T6-T3. Bylo zjištěno, že ukládání oxidů Zr bylo nejvýraznější v blízkosti intermetalických fází u slitiny AA7075-T6.

To znamená nerovnoměrné pokrytí povrchu slitiny konverzním povlakem a tím sníženou protikorozní ochranu oproti chromátování, proto se často provádí doplňková ochrana [29].

Vizuální porovnání vzorků po 168 hodinách expozice v solné mlze ukazují následující obrázky č. 26 a č. 27. Testy ukazují podobné korozní chování u obou sledovaných slitin, avšak u slitiny AA7075-T6 je nižší počet korozních důlků [29].



Obr. 25: Konverzní vrstva na slitině AA2024-T3 po 168 hodinách v solné mlze a) postup 1, b) postup 2, c) postup 3, d) postup 4, e) konverzní vrstva chromanu (Alodine 1200S), f) slitina bez konverzní vrstvy [29]



Obr. 26: Konverzní vrstva na slitině AA7075-T6 po 168 hodinách expozice v solné mlze a) postup 1, b) postup 2, c) postup 3, d) postup 4, e) konverzní vrstva chromanu (Alodine 1200S), f) slitina bez konverzní vrstvy [29]

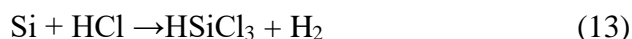
Další studie porovnává konverzní povlaky na bázi zirkonia a titanu s tradičními fosfátovými a chromátovými povlaky. Experimenty ukazují, že tyto alternativní povlaky poskytují srovnatelnou nebo vyšší korozní odolnost a přilnavost. Tato studie zahrnuje také analýzu jejich ekologických výhod a ekonomických aspektů aplikace [69].

2.5.2. Konverzní vrstvy na bázi organosilanů

Regulace v aplikaci toxických látek v oblasti povrchových úprav mají za následek hledání nových alternativních technologií, které splňují ekologická a hygienická pravidla. Vhodnou alternativou by mohly být do budoucna organosilikáty.

Vývoj a aplikace organosilikátů v posledních letech vysoce vzrostl. S rostoucím zájmem o ně rostla i jejich produkce [30], to má za následek pokles ceny na akceptovatelnou úroveň.

Monomerní sloučeninou pro přípravu organosilanů jsou silany. Chemický vzorec silanu je SiH_4 . Silan se vyrábí metalurgicky z čistého křemíku pomocí dvoustupňového procesu. V prvním kroku reaguje křemík ve formě prášku s chlorovodíkem za teploty asi $300\text{ }^\circ\text{C}$ podle rovnice [31]:



V druhém kroku dochází k disproportionaci trichlorsilanu na silan a tetrachlorid křemíku [31]:



V oboru povrchových úprav se zejména vyskytují organosilany s alkoxy skupinami, (methoxy ($\text{CH}_3\text{-O-}$), ethoxy ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-}$), případně propoxy ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{-O-}$)).

Využívají vazby mezi oxidickými vrstvami na kovech a hydroxylovými skupinami, které vznikají při hydrolyze uvolněním metanu, etanolu či propanolu nebo vazby siloxanové mezi částicemi organosilanu a volných hydrolyzovaných molekul. Často obsahují i jiné organické funkční skupiny.

Používané organosilany mohou být tříděny do několika skupin podle jejich struktury:

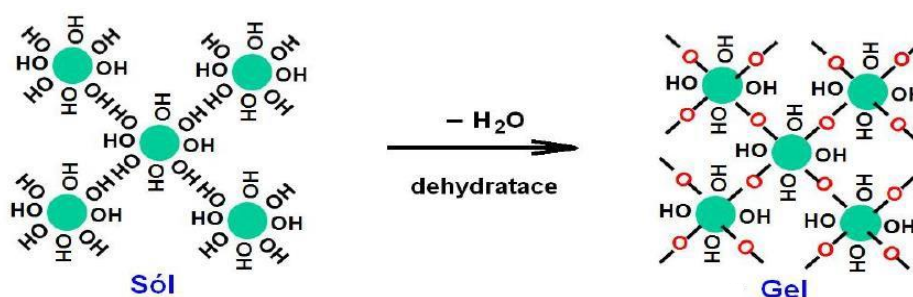
- Tetraalkoxylovaný silan SiX_4 (TEOS) - používaný zejména pro zineksilikátové nátěrové hmoty, kde X jsou alkoxy skupiny schopné hydrolyzy.
- Alkyltrialkoxy silany $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{SiX}_3$ - používané pro hydrofobní úpravy.

- Alkyltrialkoxysilany s organofunkční chemickou skupinou $Y(CH_2)_nSiX_3$, mající široké možnosti aplikací, kde Y je organofunkční skupina (amino, epoxy, merkapto, polysulfid), schopná reakce jak s kovy tak i s polymery.
- Bis silany $X_3Si(CH_2)_nSiX_3$ - používané pro pasivace povrchu, bez přilnavosti k nátěru, snadno síťují pro vysoký počet hydrolyzovaných hydroxylových skupin.
- Bis silany s organofunkční skupinou $X_3Si(CH_2)_nY(CH_2)_mSiX_3$ - přilnavost a kompatibilitu pigmentu a plniv plastu a pryží.

2.5.2.1. Vazební možnosti hydrolyzovaných organosilanů

Základní chemické vazby hydrolyzovaných organosilanů vznikají tvorbou vodíkových můstků mezi silanolovými–hydroxylovými skupinami. Vodíkové můstky se vytvářejí po dehydrataci siloxanové vazby. Vznik vodíkových vazeb je hlavní příčinou při vzniku vrstev na pevných podkladových materiálech sál-gel technologií a u pravidelných uspořádaných samo organizujících se struktur.

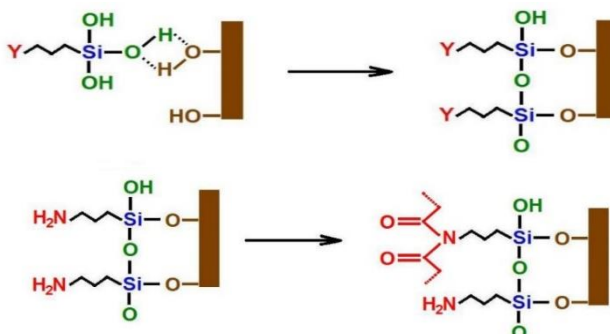
Konverzní lázně, ale i upravený povrch obsahují mnoho volných hydroxylových skupin. Na hydroxidy kovu se v hydrolyzovaných organosilanů vážou silanovou vazbou křemičité částice a vzniká dobře lepící gel na povrchu kovu. Také hydratované sloučeniny křemíku v lázních vytváří sál, vážou se na hydroxidy kovu nejprve slabým vodíkovým můstkem, který vytváří gelovou vrstvu na povrchu kovu. Tepelným zpracováním vrstva dehydratuje a vytvoří se pevná vazba mezi oxidem kovu a křemíkem [2, 31].



Obr. 27: Tvorba vrstvy sál – gel [2].

Technologie sál-gel umožňuje pevnými chemickými vazbami připojit organosilan k povrchu kovu. Také umožňuje zvolit organosilan s vhodnými funkčními skupinami pro vytvoření pevných chemických vazeb s organickými polymery. Vhodné jsou zejména ty, které jsou schopné zapojit se do vytvrzujících polymerizačních reakcí organických předpolymerů.

Jedná se o aminoskupiny s ethoxyovou skupinou pro epoxidy a polyuretany, polysulfidický řetězec pro pryže apod. První stupeň pevné vazby ke kovům je patrný z obr. 28.



Obr. 28: Vznik pevné vazby organosilanu s vhodnou funkční skupinou k povrchu kovu s konverzní vrstvou [2].

Dále se upravený kov propojí s organickou hmotou. Vhodné organické funkční skupiny na povrchu kovu vytváří chemické vazby. V řetězci propojení kovu – konverzní vrstvy – organosilanu – nátěrové hmoty je provázáno chemickými vazbami, které jsou daleko pevnější než vazby fyzikálními silami (Van der Waalsovy síly). Tento fakt způsobuje vysokou přilnavost nátěrových hmot a dobrou odolnost proti podkorodování.

Aplikace sol-gel se mnohdy aplikuje pomocí ponoru a odstředování, dále je technologií možné aplikovat pomocí postřiku, nebo elektrodepozice.

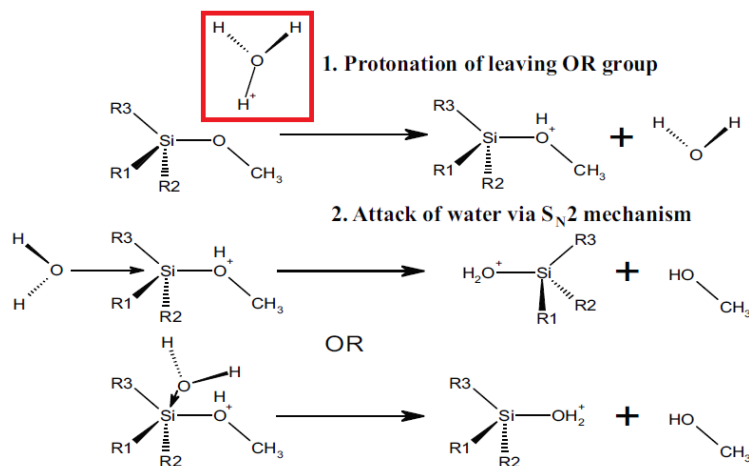
Aplikace odstředováním je rychlejší oproti aplikaci ponorem a je mnohem rychlejší pro proces nanášení. Dále je nutné díly vysušit, což je mnohem rychlejší, zatímco při aplikaci ponorem bývá rychlost z pravidla pomalejší.

Aplikace ponorem vede k lepšímu vyrovnání molekul polymeru, což je základem k hustšímu a méně drsnému povlaku než v případě aplikací pomocí odstředování. Pro obě aplikace však platí inverzní vztah mezi tloušťkou filmu a jeho hustotou, tj. tenké filmy jsou hustší než filmy s větší tloušťkou. Složení aplikované vrstvy je následně podstatné pro vlastnosti výsledného povlaku [34,35].

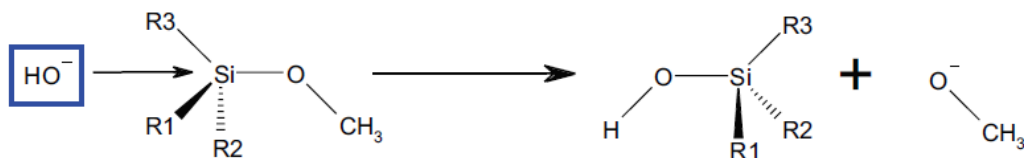
Sol-gel metoda představuje řadu výhod, včetně snadné aplikace na rozměrné, tvarově složité substráty a zajištění homogenity povlaku. Pomocí této vrstvy je možné dosáhnout povlaků s různými specifickými vlastnostmi jako jsou například vodivé povlaky, pasivační povlaky, apod. [34].

Při chemické reakci organosilanů je podstatné, aby silanová molekula podstoupila hydrolytickou a kondenzační reakci, což je možné dosáhnout díky vazbě Si-H, která je reaktivní. Hydrolytická reakce může být katalyzována pomocí kyseliny, nebo báze.

Bází katalyzovaná hydrolyza zahrnuje útok na Si-O hydroxylovým iontem [33].



Obr. 29: Hydrolytická reakce pomocí kyseliny [33].



Obr. 30: Hydrolytická reakce pomocí báze [33]

2.5.2.2. Aplikační možnosti

Organosilany mají široké spektrum využití. Důležitým faktorem, který ovlivňuje jejich využití, jsou vlastnosti daného organosilanu a materiálu, se kterým má přicházet do kontaktu. V bodech níže jsou popsány některé jejich aplikační možnosti.

Adhezní činidlo

Organosilany slouží jako základní složka před nanášením nátěrových hmot, inkoustů, tmelů či lepidel. Díky jejich aplikaci dochází k zvýšení adheze mezi základním materiálem a aplikovanou látkou. Toho se docíluje migrací organosilanu v mezifázové oblasti.

Náhrada chrómu

Organosilany mohou nahrazovat v oblasti povrchových úpravách nebezpečné těžké organické látky a soli chromu.

V roce 1980 byl vytvořen nátěrový přípravek, který obsahoval akrylový kopolymer, epoxidovou pryskyřici, také trialkoxysilan atd. Přípravek vykazoval velmi dobrou korozní odolnost s nižším toxickým dopadem. Díky bádání a prohlubování znalostí v této oblasti byli vytvořeny organofunkční silikonové pryskyřice [36].

Promotér adheze

Požadavek na vysokou adhezi polymeru ke kovům a nekovovým částicím je kladen v řadě technologií povrchových úprav. Hlavně potom u adheze nátěrových hmot k povrchům kovovým.

Z vazebných možností organosilanu vyplývá, že mohou být nahrazeny fyzikální způsoby adheze různorodých materiálu chemickými vazbami, které jsou mnohonásobně pevnější a přináší nové kvalitativní vlastnosti v užitých materiálech [31].



Obr. 31: Rozdíl v adhezi částice pigmentu nátěrové hmoty bez úpravy a upraveného silany [2].

Systémy na bázi vody

Další využití našly organosilany v nátěrových hmotách na bázi vody. Tyto roztoky s obsahem silanu okolo 10 % vykazují dobrý lesk a snížené křídování. Nicméně mají menší přilnavost a pevnost podkladu spolu s nižší stálostí povlaku, která způsobuje brzkou degradaci povrchové úpravy.

Interakce silanu s křemičitým plnivem

Organosilany se také používají jako plniva látek v mnoha materiálech, které obsahují ve své struktuře křemík. Dokáží reagovat s dalšími nanoplnidly a zlepšit tak interakce v daném materiálu. Výsledný produkt poté získá lepší vlastnosti [31].

V práci „The corrosion performance of organosilane based pre-treatments for coatings on galvanised steel“ od M.F.Montemor [32] a ostatních bylo prováděno porovnávání korozní odolnosti 5% roztoku organosilanu aplikovaného po dobu 30 s na žárově pozinkovaný plech následnou aplikací běžného polyesterového nátěru s průmyslovým chromátováním žárově pokoveného plechu a následnou aplikací stejné hmoty.

Výsledky elektrochemické impedance ukázaly, že předúpravy obsahující aminosilan poskytují nejlepší korozní odolnost, srovnatelnou s účinkem pozorovaným při ošetření povrchu chromátem. Rozdíl v chování různých předúprav byl spíše spojen se stupněm povrchového pokrytí silanem než s jeho obsahem na povrchu [32].

Konverzní vrstvy na bázi organosilanů nabízejí vynikající přilnavost ke kovu i následnému nátěru prostřednictvím silné kovalentní vazby a trojrozměrné sítě –Si–O–Si– vazeb, která pomáhá zpomalit pronikání agresivního korozního prostředí skrz organický povlak [37]. Rovněž byly hodnoceny výkonnostní vlastnosti nových silanů ředitelných vodou a ve většině případů se jejich výkonnost vyrovnala nebo překonala jejich tradiční silanové protějšky [38].

V posledních letech se organicko – anorganickým kompozitním materiálům v oblasti povrchových úprav věnuje velká pozornost, zejména v oblasti nátěrů, lepidel, fyzikálních a chemických vlastností, mechanickým vlastnostem, hydrofobních vlastností, tepelnou stabilitou a v mnoha dalších parametrech [39]. Značný zájem o výzkum a vývoj v této oblasti budí také chemická předúprava hliníkových slitin [40, 41, 42] a dalších materiálů z lehkých kovů, které se používají například pro polovodičový průmysl apod.

Další studie se zaměřují na použití organosilanových povlaků pro zlepšení korozní odolnosti kovových substrátů. Výsledky ukazují, že organosilany výrazně zvyšují přilnavost a korozní odolnost povlaků. Studie zahrnují podrobnou analýzu chemických vazeb jako v úvodu kapitoly a interakcí mezi organosilany a kovovými povrchy [70].

Autoři článku "Comparative study of different pretreatment methods on zinc surfaces" ve Journal of Coatings Technology and Research [72] se zabývali srovnáním různých metod předúpravy povrchů zinku s cílem zlepšit adhezi a odolnost následných organických povlaků. Studie zkoumala účinnost mechanického broušení, chemického leptání a použití konverzních povlaků.

Autoři článku "Comparative study of different pretreatment methods on zinc surfaces" dospěli k závěrům:

- Chemické leptání a konverzní povlaky výrazně zlepšují adhezi a životnost nátěrů ve srovnání s mechanickým broušením.
- Chemické metody vytvářejí mikroporézní struktury na povrchu zinku, což zvyšuje povrchovou plochu a zlepšuje mechanické zakotvení nátěrů.
- Ekologické dopady různých metod byly také hodnoceny, přičemž některé chemické metody mají negativní vliv na životní prostředí.
- Celkově studie poskytuje užitečné informace pro výběr optimální metody předúprav pro zajištění dlouhodobé ochrany zinkových povrchů [72]

Studie autorů článku "Development of hybrid sol-gel coatings for corrosion protection" [78] se zaměřuje na vývoj hybridních sol-gel povlaků navržených k ochraně proti korozi. Autoři zkoumají možnosti kombinace organických a anorganických složek v sol-gel matrici, což vede k vytvoření povlaků s vynikajícími ochrannými vlastnostmi. Hybridní sol-gel povlaky nabízejí ekologickou alternativu k tradičním chromátovým a fosfátovým povlakům, které jsou toxické a škodlivé pro životní prostředí. Výsledky studie ukazují, že tyto nové povlaky vykazují vysokou účinnost v prevenci koroze kovových povrchů díky synergickému efektu použitých složek. Stejně tak další skupina autorů diskutuje nové materiály a technologie, které zlepšují korozní odolnost a přilnavost povlaků, včetně hybridních a nanostrukturovaných povlaků [79].

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

Součástí rešeršní práce bylo také zhodnocení současného stavu výzkumu v této oblasti od jiných autorů.

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.

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 %.

Autoři článku „Recent advances in organosilane pretreatment for corrosion protection of metal substrates“ [85] se 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.

Autoři Sathyanarayana, M.N., & Yaseen, M. se zaměřili na pohled 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.

3. Cíle 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, $\text{Cr}^{\text{VI}+}$), 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 lázní chemických předúprav – optimalizace technologických časů, koncentrací chemických prostředků a teploty v lázních,
- snadnou ekologickou likvidací a snížením energetické náročnosti procesu.

Hlavní cíl:

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

Dílčí cíle:

- 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.

4. 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 žárově pozinkovaný materiál a základní nátěrové systémy pro ověření přilnavosti 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 žárově pozinkovaných materiálů byly rozděleny do následujících kapitol:

- Kapitola 4.5. shrnuje vyhodnocení experimentů a ověření přilnavosti vytvořených duplexních systémů. V této kapitole je detailně popsán vliv chemických předúprav povrchu a jedné mechanické na přilnavost 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 shrnuje vliv chemických předúprav povrchu na přilnavost organických povlaků [13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].
- Kapitola 4.7. 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. popisuje navržený optimální technologického postupu chemické předúpravy povrchu zinku s ohledem na maximální přilnavost vybraných organických nátěrových systémů na epoxidové nebo polyuretanové bázi [20A].

4.1. Použité chemické předúpravy povrchu

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

a) Fosfátování

- Pragofos 1920

b) Chromátování

- Novapass 201
- SurTec 678

c) Chemické předúpravy na bázi Ti – Zr:

- Interlox 5705
- Pragokor BP
- SurTec 6096 V

d) Chemické předúpravy na bázi organosilanů:

- Coatosil MP 200
- Nová modifikace technologického postupu chemické předúpravy organosilany

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

e) 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. Jedná se o 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. V rámci výzkumu bylo použito ředění 1:30 s demineralizovanou vodou, což je běžné pro odmaštění lehce znečištěných povrchů. 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. - Příbyslav.

Tab. 1: Technologický postup odmaštění pomocí Simple Green

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Simple Green	1:30	60	3
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2

4.2. Použité nátěrové systémy pro ověření přilnavosti

Pro experiment byly použity epoxidové základové hmoty na pozinkované podklady. Jednalo se o 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 této práce.

Základní epoxidová antikorozi dvousložková barva S 2318 EPAX

Nátěrová hmota S 2318 EPAX, je určena k základním antikorozi nátěrům kovových podkladů jako ocel, hliník, zoxidovaný zinek apod. pro venkovní i vnitřní prostředí. S 2318 vytvrzená tužidlem S 7308 je charakteristická velmi rychlým zasycháním a možností zasychání při teplotách blízkých 0 °C. Nátěrová hmota je složená z disperze pigmentů bez sloučenin olova a chromů v roztoku epoxidové pryskyřice v organických rozpouštědlech s přísadou aditiv, antikorozi složkou, zinkofosfátem a organických inhibitorů koroze. Mezi vhodné způsoby aplikace nátěrové hmoty patří stříkání, nanášení štětcem či válečkem. Doporučené ředidlo je S 6300 a tužidlo S 7302, S 7307 či S 7308. Doporučený poměr tužení je obsahem technologického listu nátěrové hmoty. Zpracovatelnost natužené hmoty je dle pokynů výrobce při 20 °C nejméně 5 hodin [57].

Základní antikorozi dvousložková barva HEMPADUR 15570

Jedná se o dvousložkovou, polyamidovým akrylátem a tvrzenou epoxidovou nátěrovou hmotu. Tato nátěrová hmota je schopná se vytvrdit do pevného a vysoce korozi odolného stavu až do teplot -10 °C, přičemž teplota samotné nátěrové hmoty by měla být 15 °C.

Využití základní nátěrové hmoty lze nalézt v údržbě a opravách, jako základní nebo vrchní nátěr pro těžká korozní prostředí. Jako vrchní nátěr se používá jen v systémech, kde není kladen velký důraz na vzhled nátěru.

Doporučená metoda aplikace je bezvzduché či vzduchové stříkání nebo aplikace štětcem. Doporučené ředidlo je 08450 a tužidlo 95570. Zpracovatelnost natužené hmoty je dle pokynů výrobce při 20 °C nejméně 2 hodiny [58].

Základní antikorozní dvousložková barva HEMPADUR 15553

Jedná se o dvousložkovou polyamidovým akrylátem, tvrzenou epoxidovou nátěrovou hmotu. Nátěrová hmota je schopná se vytvrdit do pevného a vysoce korozně odolného stavu až do teplot -10 °C, přičemž teplota samotné nátěrové hmoty by měla být 15°C. Využití základní nátěrové hmoty lze nalézt v údržbě a opravách, jako základní nebo vrchní nátěr pro těžká korozní prostředí. Jako vrchní nátěr se používá jen v systémech, kde není kladen velký důraz na vzhled nátěru [59].

Akrylátová polomatná jednovrstvá barva na ocel a pozinkovaný materiál Zinorex (S2211)

Složením se jedná o disperzi pigmentů a plniv v roztoku syntetických pryskyřic v organických rozpouštědlech s přidavkem aditiv a antikorozní složkou (zinkfosfát a organické inhibitory koroze). Barva S2211 neobsahuje sloučeniny těžkých kovů.

ZINOREX S2211 se používá k rychleschnoucím základním i vrchním nátěrům výrobků z oceli, včetně čerstvě pozinkovaných materiálů, hliníku, mědi a lehkých kovů. Tloušťka jedné vrstvy, podle způsobu aplikace, je 50-80 µm. Barvu lze použít taky jako kvalitní antikorozní základní nátěr např. pod polyuretanové a akrylátové vrchní barvy.

ZINOREX má široké použití pro průmyslové nátěry obytných a přepravních kontejnerů, palet, obložení, konstrukcí a hal, sloupů osvětlení, krytů strojů a zařízení, ale i pro nátěry střech, okapů a parapetů, venkovních kovových konstrukcí, plotů, vrat apod. [60].

Polyuretanová polomatná dvousložková jednovrstvá barva AXAPUR (U2218)

Složením se jedná o disperzi pigmentů a plniv v roztoku syntetických pryskyřic v organických rozpouštědlech s přidavkem aditiv a antikorozní složkou (zinkfosfát a organické inhibitory koroze). Barva U2218 neobsahuje sloučeniny těžkých kovů.

Barva U2218 se používá k základním i vrchním nátěrům výrobků z oceli, pozinkované oceli včetně čerstvých zinkovaných materiálů, hliníku, titan-zinku a lehkých kovů. Tloušťka jedné vrstvy, podle způsobu aplikace, je 40-80 μm .

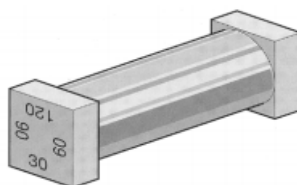
Široké použití od nátěrů obytných a přepravních kontejnerů, palet, obložení a konstrukcí hal, sloupů osvětlení, krytů strojů a zařízení až po okapy, střechy a parapety.

U2218 je charakteristická svou vysokou odolností (mechanickou i chemickou) a mimořádnou stálostí při vystavení povětrnostním vlivům, rychlým zasycháním a širokým záběrem použití [61].

4.2.1. Aplikace nátěrových systémů

Aplikace základních nátěrových systémů byla provedena pro experimentální účely pomocí nanášecího pravítka. Pravítka pro nanášení nátěrových hmot mají různé geometrické tvary (šestihranná, čtyřhranná, krabicová, válečková). Tento způsob nanášení nátěrových hmot je vhodný pro rovnoměrnou tloušťku povlaku. Nanášecí pravítka jsou vhodná pro nanášení zejména na tvrdé, ploché a rovné povrchy [48].

Tloušťka mokrého filmu je vždy po vytvrzení nepatrně tenčí, než je štěrbina pravítka, neboť tloušťka nátěrové hmoty závisí především na množství netěkavých látek.



Obr. 32: Čtyřhranné pravítka pro nanášení nátěrových hmot [62].

4.3. 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 [43].
2. Stanovení přílnavosti nátěrů mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 [44].
3. Stanovení přílnavosti nátěrů odtrhovou zkouškou dle ČSN EN ISO 4624. Přílnavost odtrhem je prováděna pro stanovení soudržnosti vrstev nátěrového systému, resp. pro

zjištění maximálního tahového napětí, které se musí vynaložit k roztržení nejslabší mezifáze (adhezní lom), nebo nejslabší složky (kohézní lom) hodnocených nátěrových systémů [56].

4. Stanovení přilnavosti křížovým řezem dle a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2 [64], uvedení v kapitole 4.5.

4.4. 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 [48] a kondenzační komoře dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [49].

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 [48].

V kondenzační komoře byly vzorky vystaveny vlhkému prostředí za teploty (38 ± 2) °C. Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [49].

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 [50].
- 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 [51].
- ČSN EN ISO 17872 (673101):2020. Nátěrové hmoty – Směrnice k provedení řezů povlakem na kovových vzorcích pro korozní zkoušky. Praha: ÚNMZ, 2020 [52].
- 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 [53], uvedení v kapitole 4.7.

4.5. Výsledky experimentů a ověření přilnavosti duplexních systémů

Kapitola je zaměřena na výsledky jednotlivých předúprav povlaku žárového zinku a zvolených parametrů. Tyto předúpravy byly následně zkoumány pro určení jejich vlivu na přilnavost organického nátěrového systému. Celkem bylo ověřeno 8. variant chemických předúprav a 1. varianta mechanické předúpravy povrchu. Na tyto předúpravy bylo aplikováno celkem 5 nátěrových systémů od různých výrobců pro ověření přilnavosti a stanovení optimálního technologického postupu chemické předúpravy povrchu žárového zinku.

4.5.1. Fosfátování – Pragofos 1920

Pragofos 1920 je určen pro fosfátování povrchu oceli, žárově zinkované oceli a hliníku před kataforetickým lakováním nebo jiným nanášením nátěrových hmot, včetně práškových plastů. Používá se také pro předúpravu povrchu oceli a u všech druhů výrobků, u kterých jsou kladeny vyšší nároky na funkční dobu životnosti ve ztížených klimatických podmínkách. Pragofos 1920 je více kationtový fosfatizační proces, který vytváří vrstvu zinečnatého fosfátu bez použití dusitanového urychlovače. Vytváří se husté, jemnozrné a krystalické vrstvy zinečnatého fosfátu se zvýšenou korozní odolností [4A]. Standardní postup byl navržen ve společnosti Pragochema spol. s r.o.

Tab. 2: Technologický postup fosfátování Pragofos 1920

Technologický postup fosfátování Pragofos 1920				
Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Odmaštění	PRAGOLOD 57 N	60 g na 10 l	60	5
Oplach 2°	Demineralizovaná v.	-	místnosti	2
Aktivační oplach	PRAGOFOS 1927	18 g na 9 l	místnosti	1
Fosfátování	PRAGOFOS 1921 PRAGOFOS 1922 PRAGOFOS 1924 PRAGOFOS 1502	312 g na 8 l 180 g na 8 l 32 g na 8 l 16 g na 8 l	50	5
Oplach 2°	Demineralizovaná v.	-	místnosti	2

Tab. 3: Technologický postup odmašťování Pragolod 57 N

Technologický postup odmašťování Pragolod 57 N				
Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Odmaštění	PRAGOLOD 57 N	60 g na 10 l	60	5
Oplach 2°	Demi voda	-	místnosti	2

Tab. 4: Tloušťka NS. S2318, H15570 – chemická předúprava fosf. Pragofos 1920

Chemická předúprava: Fosfátování Pragofos 1920	
NS	Ø Tloušťka NS [µm]
S 2318	90,465
H 15570	106,62

4.5.1.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – fosfátování Pragofos 1920

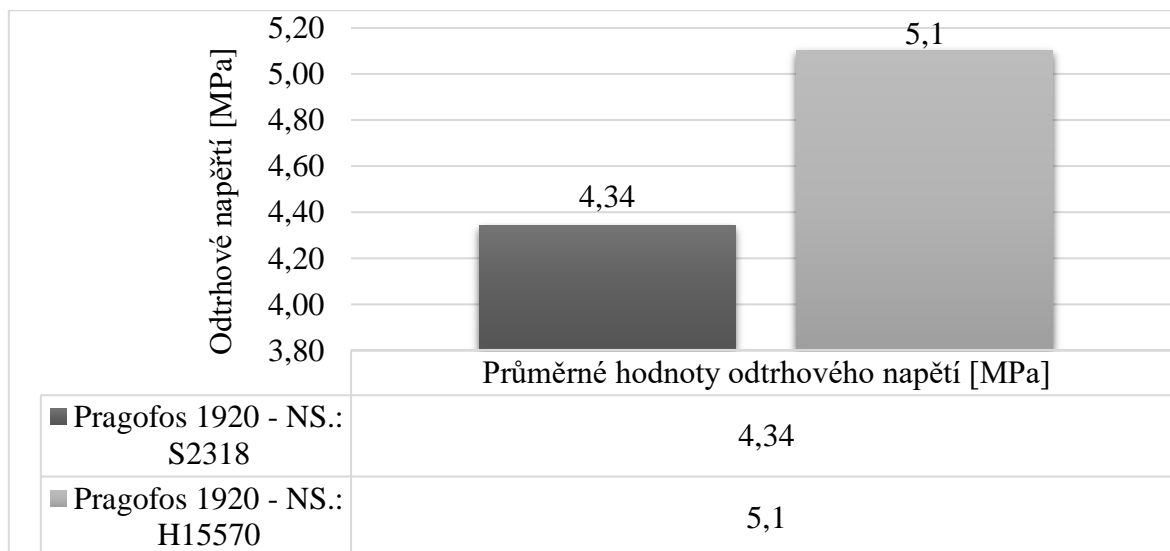
Tab. 5: Pragofos 1920 - NS.: S2318

Pragofos 1920 - NS.: S 2318					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa] [56]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	4,66	10 % A/B, 50 % B, 40 % Y	0	0
	2	4,85	50 % B, 50 % Y		
	3	4,42	60 % B, 40 % Y		
2	1	3,61	30 % B, 70 % Y	0	0
	2	4,48	70 % B, 30 % Y		
	3	4,02	80 % B, 20 % Y		
Ø Hodnota [MPa]		4,34	$\sigma = 0,45 \text{ MPa}, \text{ CV} = 10,43 \%$		

Tab. 6: Pragofos 1920 - NS.: H 15570

Pragofos 1920 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa] [56]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	6,08	80 % A/B, 20 % Y	0	0
	2	4,93	60 % A/B, 40 % Y		
	3	4,08	60 % A/B, 40 % Y		
2	1	3,60	35 % A/B, 65 % Y	0	0
	2	6,69	80 % B, 20 % Y		
	3	5,13	60 % A/B, 20 % B, 20 % Y		
Ø Hodnota [MPa]		5,10	$\sigma = 1,17 \text{ MPa}, \text{ CV} = 22,95 \%$		

Graf 1: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Pragofos 1920 – NS.: S2318, H15570



4.5.2. Chromátování – SurTec 678

Trojmocná pasivace pro zinek a slitiny Zn/Ni, je to vysoce koncentrovaný produkt, obsahuje Cr (III) a soli kobaltu, vytváří transparentní až modře duhující odstín [15A, 16A, 17A, 18A, 19A].

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 7: Parametry pasivační lázně při použití SurTec 678

Koncentrace [% obj.]	3,5
Teplota místnosti [°C]	24,7
pH	2,2
Doba působení [s]	80

Tab. 8: Technologický postup chromátování SurTec678

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas[min]
Alkalické odmaštění	Simple Green	1:30	60	3
Oplach kaskádový	Demi voda	-	místnosti	2
Aktivace povrchu	HNO ₃	2 %	místnosti	2
Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Trojmocná pasivace	SurTec 678	3,5 %	24,7	80 s.
Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Sušení	-	-	70	15

Pro tuto dílčí část výzkumu a ověření chemické předúpravy chromátováním byla zvolena opět základní epoxidová hmota Zinorex (S 2211), ale i polyuretanová nátěrová hmota Axapur (U2218), od každého nátěrového systému byly ověřovány 3 zkušební vzorky [15A, 16A, 17A, 18A, 19A].



Obr. 33: Vytvořená lázeň pro odmašťování pomocí prostředku Simple Green
(koncentrace 1:30)

Tab. 9: Parametry alkalického odmaštění, produkt: Simple Green

Koncentrace [% obj.]	1:30
Teplota [°C]	25,5
pH	9,8
Doba působení [s]	180

4.5.2.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – chromátování Surtec 678

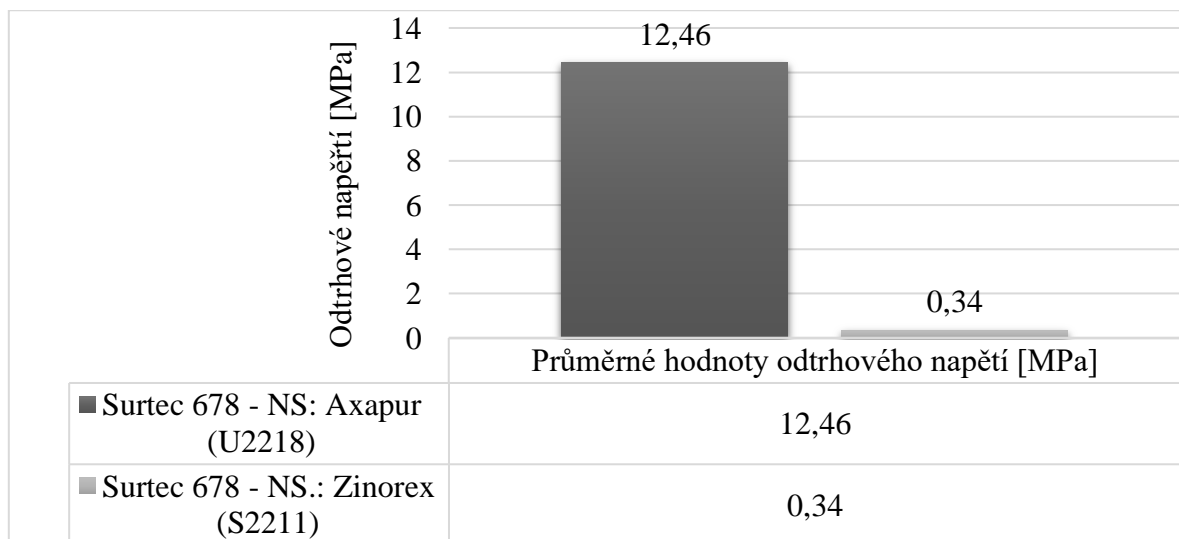
Tab. 10: Surtec 678 - NS.: Zinorex (S2211)

Surtec 678 - NS.: Zinorex (S2211)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	Ručně	100% B	2	3
	2	0,16	100% B		
	3	0	100% B		
2	1	0,57	5% A/B, 95% B	2	2
	2	0,48	100% B		
	3	*	100% B		
3	1	0,18	100% B	2	3
	2	0,54	100% B		
	3	0,47	100% B		
Ø Hodnota [MPa]		0,34	$\sigma = 0,22 \text{ MPa}, \text{ CV} = 65,54 \%$		

Tab. 11: Surtec 678 - NS: Axapur (U2218)

Surtec 678 - NS: Axapur (U2218)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	11,68	5% A/B, 95% B	0	0
	2	12,43	5% A/B, 95% B		
	3	12,99	100% B		
2	1	9,47	5% Y, 95% B	0	0
	2	11,72	100% B		
	3	12,84	5% Y, 95% B		
3	1	13,28	100% B	0	1
	2	14,13	100% B		
	3	13,64	100% B		
Ø Hodnota [MPa]		12,46	$\sigma = 1,39 \text{ MPa}, \text{ CV} = 11,12 \%$		

Graf 2: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Surtec 678 – NS.: Zinorex (S2211), (U2218)



4.5.3. Chromátování – Novapass 201

EXPT Novopass 201 je chemický prostředek na bázi trojmocného chromu a zároveň bezkobaltový pasivační prostředek pro zinkové vrstvy. Vykazuje výborné korozní odolnosti a je vhodný před aplikací nátěrové hmoty.

EXPT Novopass 201 je složen ze třech složek A, B, C a oproti ostatním technologiím má specifickou přípravu, proto je níže rozepsán podrobný popis přípravy. Pro roztok o objemu 100 l je zapotřebí 80 litrů demineralizované vody, 3,4 litrů složky A a 4 litry složky B. Následně se lázeň 10 minut míchá a přeměřuje se pH lázně. Hodnota pH nesmí přesáhnout hodnotu 4,0. V případě, že pH odpovídá, přidá se složka C. Lázeň se opět 10 minut míchá. Přeměřuje se pH lázně, které musí být v intervalu 2,3 až 3,3. Jestliže je pH v předepsaném intervalu je lázeň připravena [7A, 8A, 10A, 13A].

Tab. 12: Technologický postup chromátování Novapass 201

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Star 75	5 %	60	3
2° Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Aktivace povrchu	EXPT Novapass	8,2	místnosti	1,5
2° Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Sušení	-	-	20	2

Tab. 13: Parametry alkalického odmaštění, produkt: Star 75

Koncentrace [% obj.]	5
Teplota [°C]	60
pH	9
Doba působení [s]	3

4.5.3.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – chromátování Novapass 201

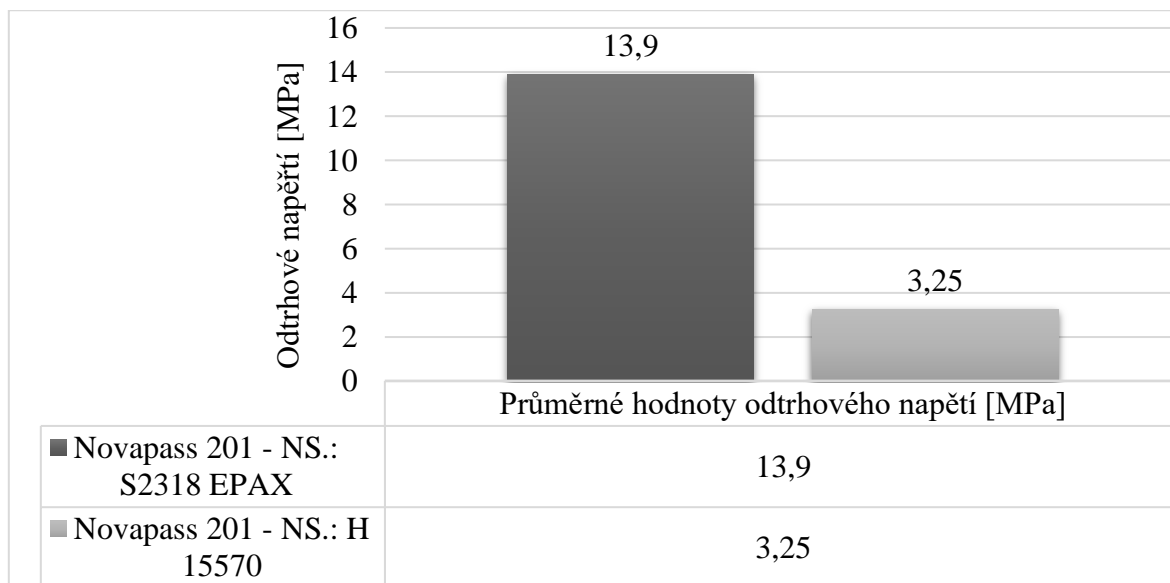
Tab. 14: Novapass - NS.: S2318 EPAX

Novapass 201 - NS.: S2318 EPAX					
Vzorek č.	Odrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	12,71	70 % B 30% B/Y	2	3
	2	12,83	10% A/B 80% B 10 % B/Y		
	3	15,22	90 % B 10 % B/Y		
2	1	17,55	40 % B 60 % B/Y	2	2
	2	15,48	40% B 40% B/Y 20% Y		
	3	14,72	90% B 10% Y		
3	1	14,01	60% B 40% B/Y	2	3
	2	9,34	3% A/B 50% B 17 % B/Y 30% Y/Z		
	3	13,24	60 % B 40 % B/Y		
Ø Hodnota [MPa]		13,90	$\sigma = 2,29 \text{ MPa}, \text{ CV} = 16,49 \%$		

Tab. 15: Surtec 678 - NS: H 15570

Novapass 201 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	2,79	95% A/B 5% B	0	0
	2	2,8	95% A/B 5% B		
	3	2,31	98% A/B 2% B		
2	1	2,29	85% A/B 15% B	0	0
	2	3,35	80% A/B 20% B		
	3	6,37	70% A/B 30% B		
3	1	3,09	95% A/B 5% B	0	1
	2	4,52	90% A/B 10% B		
	3	1,79	95% A/B 5% B		
Ø Hodnota [MPa]		3,25	$\sigma = 1,40 \text{ MPa}, \text{ CV} = 43,06 \%$		

Graf 3: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Novapass 201 – NS.: S 2318 EPAX, H 15570



4.5.4. Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: Interlox 5705

Interlox 5705 je dvousložkovou lázní neobsahující chrom, která vytváří konverzní povlak na hliníku, hliníkových slitinách, hořčíku, zinku i oceli. Jedná se o prostředek, jež zlepšuje protikorozní ochranu dílů z lité i tvářené hliníkové slitiny. Poskytuje základní vrstvu na hliníku, zinku i oceli před rozpouštědlovým i práškovým lakováním a je schválenou předúpravou Qualicoat (A-65). Tento produkt se nedoporučuje používat pro pasivaci oceli bez následného lakování. Interlox 5705 lze aplikovat ponorem či postříkem, zlepšuje adhezi laku, jedná se o nízkoteplotní aplikace bez tvorby odpadního kalu [8A, 10A, 15A, 16A, 17A].

Zvolené a vypočtené parametry lázně pro pasivaci:

Tab. 16: Parametry pasivační lázně při použití Interlox 5705, poměr chemických prostředků

Založení na 100 l	Objem [l]	Hmotnost [kg]
Voda	cca. 97,5	-
Interlox 5705 A	2	2,15
Interlox 5705 B	0,5	0,62

Pozn.: Lázeň byla založena na 20 l, následně byly přepočítány jednotlivé koncentrace pro Interlox A, B

Pro přípravu pasivační vrstvy byly zvoleny a naměřeny následující parametry:

Tab. 17: Parametry pasivační lázně při použití Interlox 5705 pro zinek

Koncentrace [% obj.]	Interlox 5705 A, B
Teplota místnosti [°C]	25,5
pH	4,4
Doba působení [s]	180

Tab. 18: Technologický postup pasivace Interlox 5705 na bázi Ti

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Simple Green	1:30	60	3
Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Oplach pasivační	Interlox 5705 A, B	viz. výše	25,5	3
Oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Sušení	-	-	70	20

4.5.4.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Interlox 5705 (Ti)

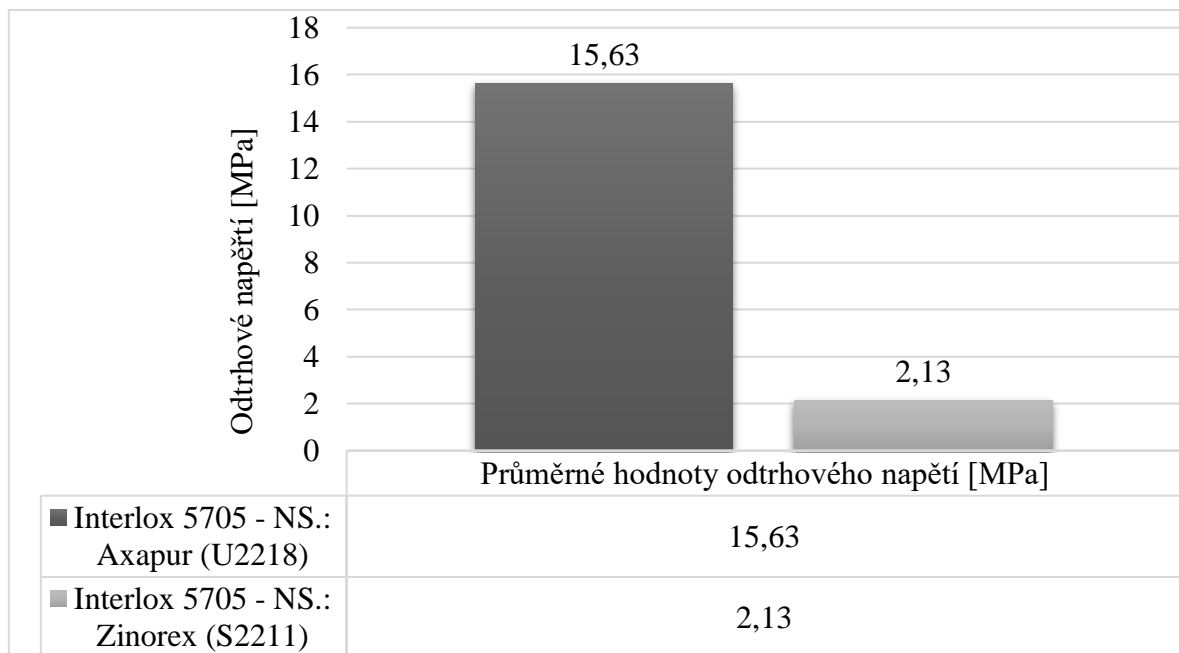
Tab. 19: Interlox 5705 - NS.: Axapur (U2218)

Interlox 5705 - NS.: Axapur (U2218)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	16,64	30% A/B, 70% Y	1	2
	2	16,88	60% A/B, 40% Y		
	3	14,59	20% A/B, 80% Y		
2	1	20,83	50% A/B, 50% Y	1	1
	2	12,61	40% A/B, 50% Y,		
	3	4,26	80% A/B, 20% Y		
3	1	18,28	50% A/B, 50% Y	0	1
	2	20,29	30% A/B, 30% B, 40% Y		
	3	16,29	70% A/B, 30% Y		
Ø Hodnota [MPa]		15,63	$\sigma = 4,98 \text{ MPa}, \text{ CV} = 31,85 \%$		

Tab. 20: Interlox 5705 - NS.: Zinorex (S2211)

Interlox 5705 - NS.: Zinorex (S2211)					
Vzorek č.	Odrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	2,54	100% B	3	3
	2	0,15	100% B		
	3	1,48	100% B		
2	1	6,57	100% B	3	3
	2	5,16	100% B		
	3	1,75	100% B		
3	1	0,19	100% B	4	4
	2	0,18	100% B		
	3	1,16	100% B		
Ø Hodnota [MPa]		2,13	$\sigma = 2,29 \text{ MPa}, \text{CV} = 107,59 \%$		

Graf 4: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Interlox 5705 – NS.: U2218, Zinorex S2211



4.5.5. Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: Pragokor BP

Pragokor BP je bezchromanový pasivační proces určený před úpravou povrchu po fosfátování oceli všemi druhy fosfátovacích lázní, ale i před samotným fosfátováním, používá se i pro pasivaci aktivních povrchů kovů. Jedná se o prostředek, jež neobsahuje ionty chromanové, chromité ani jiné ekologicky závadné látky. Účinkem lázně se pasivují mikroskopické plošky pórů nebo jiné nehomogenity ve fosfátovém povlaku, takže se dá zvýšit korozní odolnost. Pasivační účinek tohoto produktu je vyšší než u řady prostředků na bázi chromanových iontů. Dále se dá používat pro pasivaci aktivních povrchů nefosfátované oceli, slitiny hliníku a hořčíku, povlaky zinku a cínu, zinkové odlitky po odmaštění nebo jinak aktivované povrchy. Výsledky jsou publikované ve zdrojích autora [7A, 8A, 10A, 12A, 13A, 14A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A].

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 21: Parametry pasivační lázně při použití Pragokor BP pro Zn

Koncentrace [% obj.]	0,8
Teplota místnosti [°C]	25,5
pH	4,2
Doba působení [s]	120

Tab. 22: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Pragokor BP

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Simple Green	1:30	60	3
Oplach 2° protiproudý	Demi voda	-	místnosti	2
Oplach pasivační	Pragokor BP	0,8	25,5	2
Oplach	Demi voda	-	místnosti	2

4.5.5.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Pragokor PB

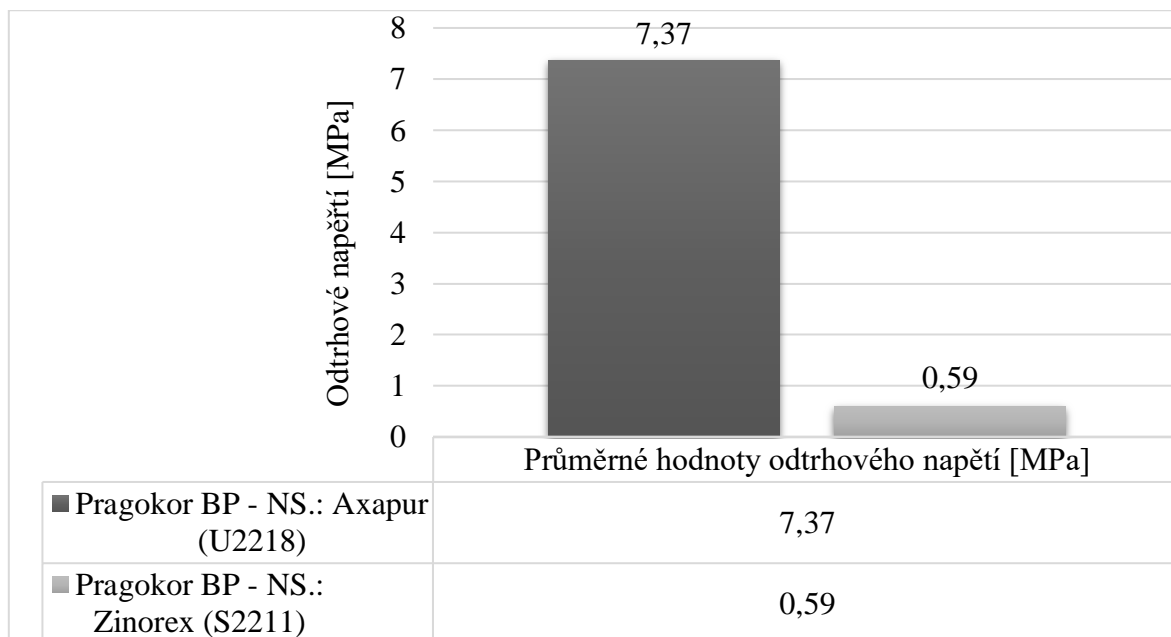
Tab. 23: Pragokor BP - NS.: Axapur (U2218)

Pragokor BP - NS.: Axapur (U2218)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	2,68	95% A/B, 5% B	1	2
	2	9,23	30% A/B, 70% B		
	3	11,60	10% A/B, 90% B		
2	1	1,52	100% A/B	5	5
	2	8,84	40% A/B, 60% B		
	3	6,30	60% A/B, 40% B		
3	1	7,02	60% A/B, 40% B	1	5
	2	10,58	55% A/B, 45% B		
	3	8,60	95% A/B, 5% B		
Ø Hodnota [MPa]		7,37	$\sigma = 3,41 \text{ MPa}, \text{CV} = 46,19 \%$		

Tab. 24: Pragokor BP - NS.: Zinorex (S2211)

Pragokor BP - NS.: Zinorex (S2211)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	*	100% B	2	3
	2	*	100% B		
	3	0,19	100% B		
2	1	*	100% B	2	3
	2	*	80% A/B, 20% B		
	3	*	100% B		
3	1	0,94	100% B	1	3
	2	0,65	100% B		
	3	*	100% B		
Ø Hodnota [MPa]		0,59	$\sigma = 0,38 \text{ MPa}, \text{CV} = 63,74 \%$		

Graf 5: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Pragokor BP – NS. AXAPUR (U2218), Pragokor BP - NS.: Zinorex (S2211)



4.5.6. Chemická předúprava na bázi Ti – Zr: SurTec 6096 V

Pasivační zirkoničitá lázeň bez hořčíku a koloidního oxidu křemičitého i bez odmašťovacího účinku je určena k předúpravě železa, zinku a hliníku pod nátěrové hmoty či práškové plasty. SurTec 6096 V lze aplikovat ponorem či postříkem při okolních teplotách lázně (20 až 25 °C) nebo při zvýšených teplotách (50 až 60 °C) [65]. Výsledky publikovány ve zdroji [13A].

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci:

Tab. 25: Parametry pasivační lázně při použití SurTec 6096 V pro Zn

Koncentrace [% obj.]	1
Teplota místnosti [°C]	24,3
pH	4,3
Doba působení [s]	120

Tab. 26: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy SurTec 6096 V

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Star 75 PN	5 %	60	3
2° oplach vířivý	Demi voda	-	místnosti	2
Oplach pasivační	SurTec 6096 V	1	24,3	3
2° oplach vířivý	Demi voda	-	místnosti	2

4.5.6.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace SurTec 6096

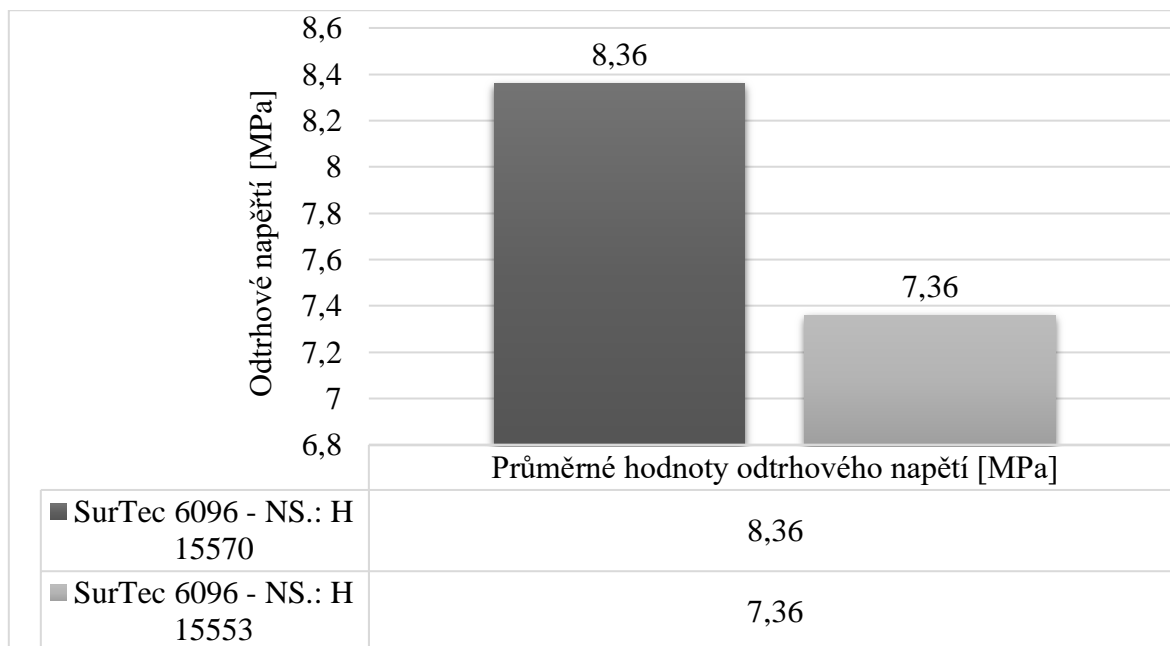
Tab. 27: SurTec 6096 - NS.: H 15570

SurTec 6096 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	9.13	10% A/B, 90% B	0	0
	2	8.14	10% A/B, 90% B		
	3	8.44	10% A/B, 90% B		
2	1	7.26	15% A/B, 85% B	0	0
	2	6.61	5% A/B, 80% B, 15% B/Y		
	3	8.43	10% A/B, 90% B		
3	1	8.37	15% A/B, 80% B, 5% B/Y	0	0
	2	8.93	5% A/B, 75% B, 20% B/Y		
	3	9.99	10% A/B, 90% B		
Ø Hodnota [MPa]		8.36	$\sigma = 0,99 \text{ MPa}$, CV = 11,88 %		

Tab. 28: SurTec 6096 - NS.: H 15553

SurTec 6096 - NS.: H 15553					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	7.88	20% A/B, 70% B, 10% B/Y	0	0
	2	8.40	40% A/B, 10% B, 50% B/Y		
	3	6.13	60% A/B, 40% B/Y		
2	1	5.09	60% A/B 10% B 30% B/Y	0	0
	2	8.38	10% A/B, 80% B, 10% B/Y		
	3	6.14	60% A/B, 10% B, 30% B/Y		
3	1	8.98	80% A/B, 10% B, 10% B/Y	0	0
	2	8.84	10% A/B, 80% B, 10% B/Y		
	3	6.41	100% B/Y		
Ø Hodnota [MPa]		7.36	$\sigma = 1,43 \text{ MPa}$, CV = 19,37 %		

Graf 6: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu SurTec 6096 - NS.: H 15570, SurTec 6096 - NS.: H 15553



4.5.7. Chemická předúprava pomocí organosilanů: Coatosil MP 200

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, lepidlech a nátěrech. Produkt je polyfunkční struktura nesoucí gama-glycidoxyskupiny, která je vynikajícím kandidátem pro snížení emisí methanolu při hydrolyze materiálu ve srovnání s monomerními epoxysilany. Obvykle napomáhá podpoře adheze a zesíťování vodou ředitelných nebo rozpouštědlových nátěrů a také disperzi kovových pigmentů ve vodě ředitelných systémech [66]. Výsledky publikovány ve zdrojích autora [13A, 15A, 16A, 17A, 18A, 19A, 20A].

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 29: Parametry pasivační lázně při použití Coatosil MP200 pro Zn

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

Tab. 30: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Coatosil MP200

Název operace	Přípravek	Koncentrace	Teplota [°C]	Čas [min]
Alkalické odmaštění	Star 75 PN	5 %	60	3
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Oplach pasivační	Coatosil MP 200	10	20	10
2° oplach	Demi voda	-	místnosti	2
Sušení	-	-	místnosti	180

4.5.7.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – pasivace Coatosil MP200

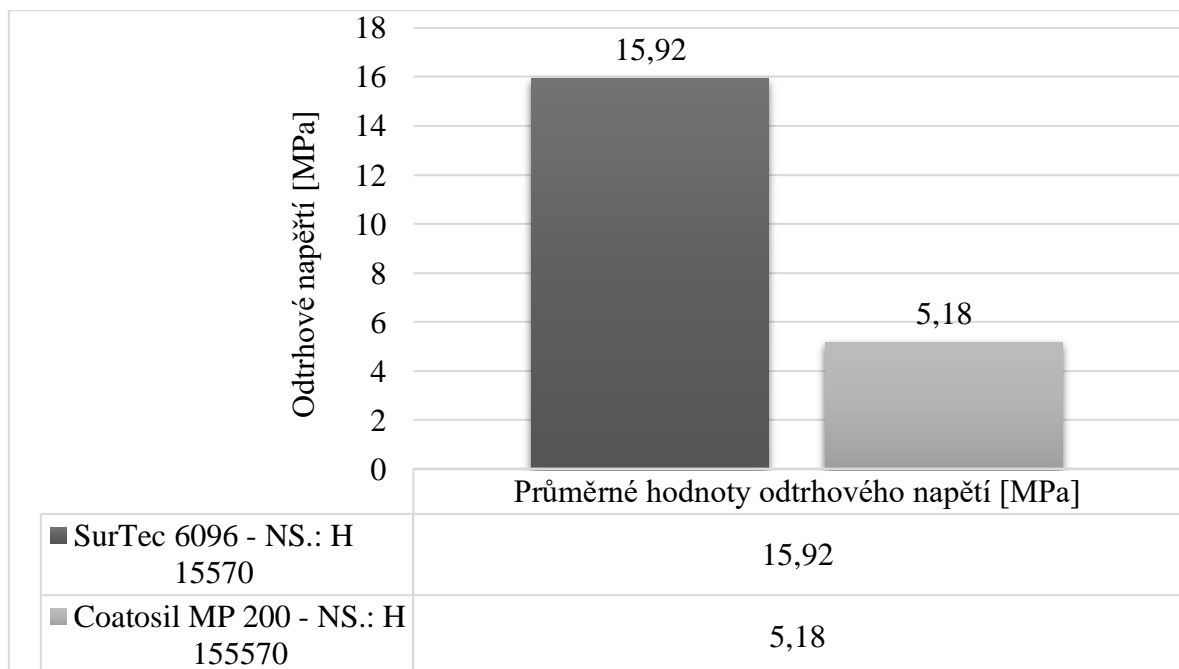
Tab. 31: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318

Coatosil MP 200 - NS.: S 2318					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	15,83	20% A/B, 70% B, 10% B/Y	0	0
	2	10,08	50% A/B, 50% B		
	3	14,6	10% A/B, 50% B, 40% B/Y		
2	1	16,95	10% A/B, 40% B, 50% B/Y	0	0
	2	15,43	10% A, 40% B, 50% B/Y		
	3	15,65	10% A/B, 40% B, 50% B/Y		
3	1	17,45	40% B, 60% B/Y	0	0
	2	16,92	40% B, 55% B/Y, 5% Y		
	3	17,43	50% B, 30% B/Y, 10% Y		
Ø Hodnota [MPa]		15,92	$\sigma = 2,29 \text{ MPa}, \text{CV} = 14,67 \%$		

Tab. 32: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570

Coatosil MP 200 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	2,12	5% A/B, 95% B	0	0
	2	2,94	5% A/B, 95% B		
	3	2,4	5% A/B, 95% B		
2	1	3,08	5% A/B, 95% B	0	0
	2	4,77	30% A, 70% B		
	3	9,05	10% A/B, 80% B, 10% B/Y		
3	1	8,25	30% A/B, 70% B	0	0
	2	6,93	20% A/B, 80% B		
	3	7,11	30% A/B, 70% B		
Ø Hodnota [MPa]		5,18			

Graf 7: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Coatosil MP 200 - NS.: S 2318, Coatosil MP 200 - NS.: H 15570



4.5.8. 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, ale i korozní odolnosti v náročném korozním prostředí C5.

Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 33: 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. 34: modifikovaný technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Coatosil MP 200

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

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.

**4.5.8.1. Výsledky zkoušek přilnavosti – modifikace technologického postupu_
Coatosil MP200**

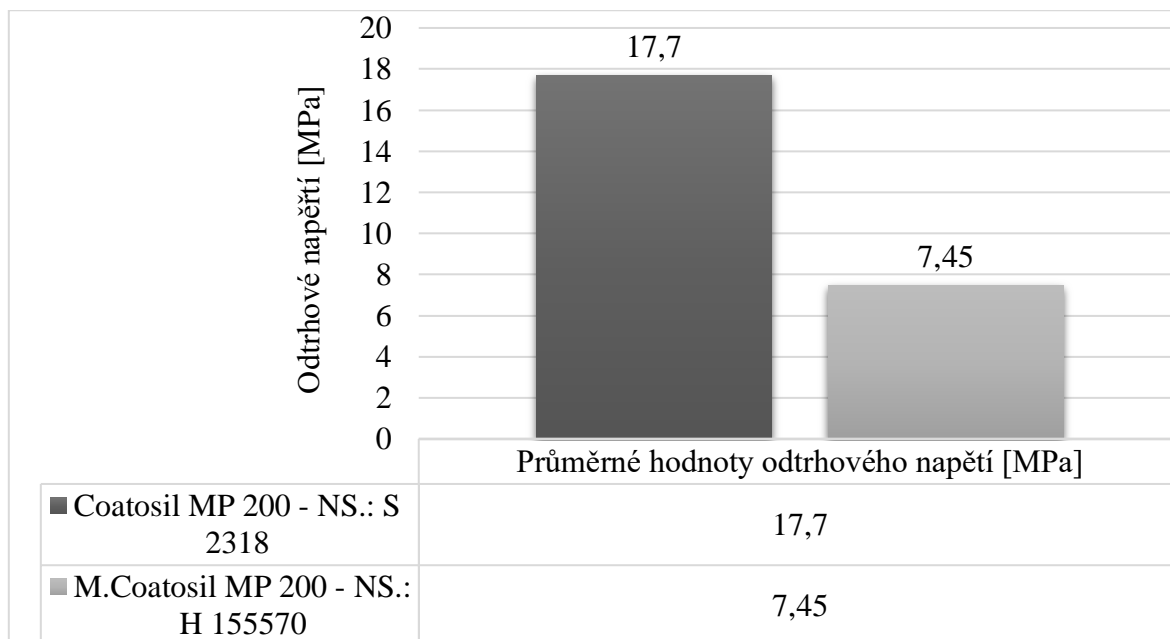
Tab. 35: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318

Modifikace postupu aplikace: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318					
Vzorek č.	Odrtrh č.	Odrthové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
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 [MPa]		17,7	$\sigma = 0,71 \text{ MPa}, \text{CV} = 4,01 \%$		

Tab. 36: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570

Modifikace postupu aplikace: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570					
Vzorek č.	Odrtrh č.	Odrthové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
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 [MPa]		7,45	$\sigma = 1,96 \text{ MPa}, \text{CV} = 26,28 \%$		

Graf 8: 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 [45], mřížková zkouška dle ČSN ISO 2409 [44] a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2 [64] (kap. 4.6, 4.7).

Modifikace technologického postupu byla provedena dle rozsáhlých experimentů, publikovaných ve zdrojích literatury autora [1-20A].

4.5.9. Mechanická předúprava žárově pozinkovaného materiálu – lehké tryskání

Pro porovnání přilnavosti nátěrových systémů jednotlivých variant předúprav povrchu byla vybrána i mechanická předúprava povrchu pomocí lehkého tryskání (sweepování). Problematika tryskání byla vysvětlena v kapitole mechanických předúprav povrchu (kap. 2.1.1). Technologie lehkého tryskání je v předúpravě zinkových povlaků stále velmi oblíbenou a účinnou předúpravou před aplikací organických nátěrových systémů.

Hlavním cílem předúpravy je dosažení dokonale čistého povrchu, bez korozních produktů zinku a drsného povrchu pro následnou aplikaci dalších povrchových úprav. V experimentální části byl vybrán abrazivní prostředek z hnědého umělého korundu. Lehké tryskání zinkového povlaku by mělo zajistit minimální odběr povlaku žárového zinku, nejčastěji jde o úběr povrchové vrstvy maximálně do 10 μm . Vzorky byly otryskány pomocí pneumatického tryskacího zařízení PTZ 100 I od firmy S.A.F. s nastavením tlaku trysky 0,5 MPa [8A, 16A].



Obr. 34: Tryskací zařízení PTZ 100

Zvolené a naměřené parametry pro provedení lehkého tryskání

Tab. 37: Tloušťky povlaku žárového zinku ve srovnání s otryskaným povrchem

Typ povlaku	Nejnižší hodnota [μm]	Nejvyšší hodnota [μm]	Průměrná hodnota [μm]	Směrodatná odchylka σ
Povlak žárového Zn	69,1	78,4	72	3,8
Otryskaný povrch Zn	59,3	64,2	61,7	4,3
Průměrný úbytek žárového zinku [μm]	10,3			

Pozn.: Výsledky měření tlouštěk povlaků jsou průměrné z pěti hodnot měření testovaného vzorku, drsnost povrchu byla měřena pomocí ručního drsnoměru Mitutoyo SJ-201P.

Tab. 38: Drsnost povlaku žárového zinku před a po aplikaci lehkého tryskání

Vzorek	Tlak trysky [MPa]	Drsnost povrchu Ra [μm]
Bez předúpravy povrchu	0	1,51
Po lehkém tryskání	0,5	2,25

Pozn.: Výsledky měření drsnosti jsou průměrné ze tří hodnot měření v horní, střední a dolní části testovaného vzorku

4.5.9.1. Výsledky zkoušek přilnavosti - mechanická předúprava povrchu pomocí lehkého tryskání (sweepování)

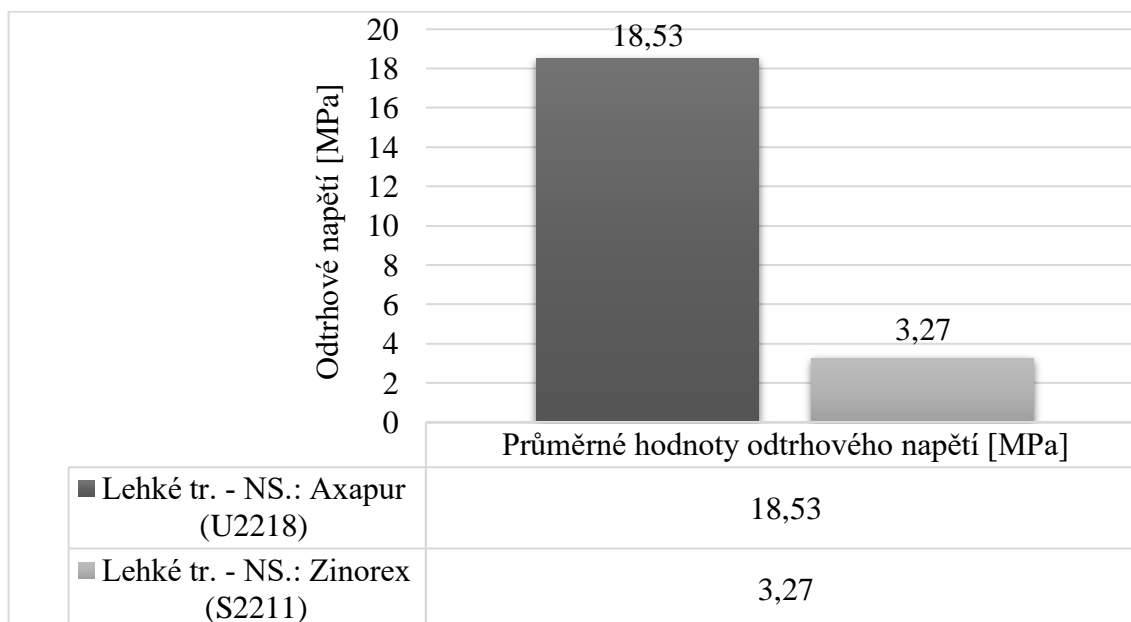
Tab. 39: Výsledky zkoušek přilnavosti, Lehké tryskání – NS.: AXAPUR (U2218)

Lehké tryskání - NS.: Axapur (U2218)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	14,85	60% B, 40% Y	0	0
	2	20,12	20% B, 80% Y		
	3	20,32	80% B, 20% Y		
2	1	19,57	5% B, 95% Y	0	1
	2	19,12	5% B, 95% Y		
	3	17,96	5% B, 95% Y		
3	1	14,26	10% B, 90% Y	0	0
	2	21,26	10% B, 90% Y		
	3	19,29	3% B, 97% Y		
Ø Hodnota [MPa]		18,53	$\sigma = 2,43 \text{ MPa}, \text{ CV} = 13,12 \%$		

Tab. 40: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu lehké tryskání – Zinorex (S2211)

Lehké tryskání - NS.: Zinorex (S2211)					
Vzorek č.	Odtrh č.	Odtrhové napětí [MPa]	Charakteristika lomu	Křížový řez [ČSN EN ISO 16276-2]	Mřížka [ČSN EN ISO 2409]
1	1	2,54	100% B	3	3
	2	0,15	100% B		
	3	1,48	100% B		
2	1	6,57	100% B	3	3
	2	5,16	100% B		
	3	1,75	100% B		
3	1	2,37	100% B	3	3
	2	4,15	100% B		
	3	5,3	100% B		
Ø Hodnota [MPa]		3,27	$\sigma = 2,12 \text{ MPa}, \text{ CV} = 64,74 \%$		

Graf 9: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu lehké tryskání Axapur (U2218),. Zinorex (S2211)



4.6. 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, který je uveden v kapitole 4.5.8. a 4.8.

Ověření fyzikálně – mechanických vlastností bylo provedeno následujícími zkušebními postupy:

- Stanovení tloušťky organických povlaků dle ČSN EN ISO 2808 nedestruktivně elektromagnetickou metodou [43].
- Stanovení přilnavosti nátěrů mřížkovou zkouškou dle ČSN EN ISO 2409 [44].
- 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 (adhezní lom), nebo nejslabší složky (kohézní lom) hodnocených nátěrových systémů [56].
- Stanovení přilnavosti i křížovým řezem dle a hodnocení křížového řezu dle ČSN EN ISO 16276-2 [64].

4.6.1. 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 systému 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.

4.6.2. 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].



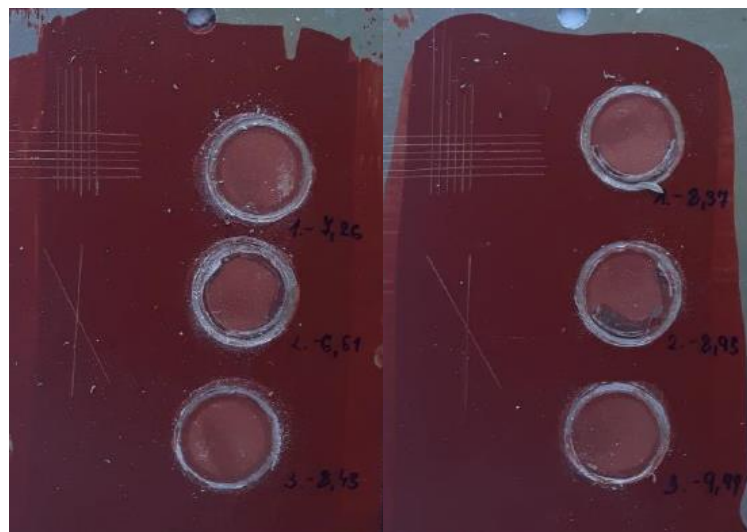
Obr. 35: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 678 a nátěrový systém U 2218, odtrhové napětí okolo 13 MPa

4.6.3. 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. 36: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 6069 a nátěrový systém H 15570, odtrhové napětí okolo 8 MPa

4.6.4. 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 byly zvoleny tyto parametry lázně:

Tab. 41: 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. 42: 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].



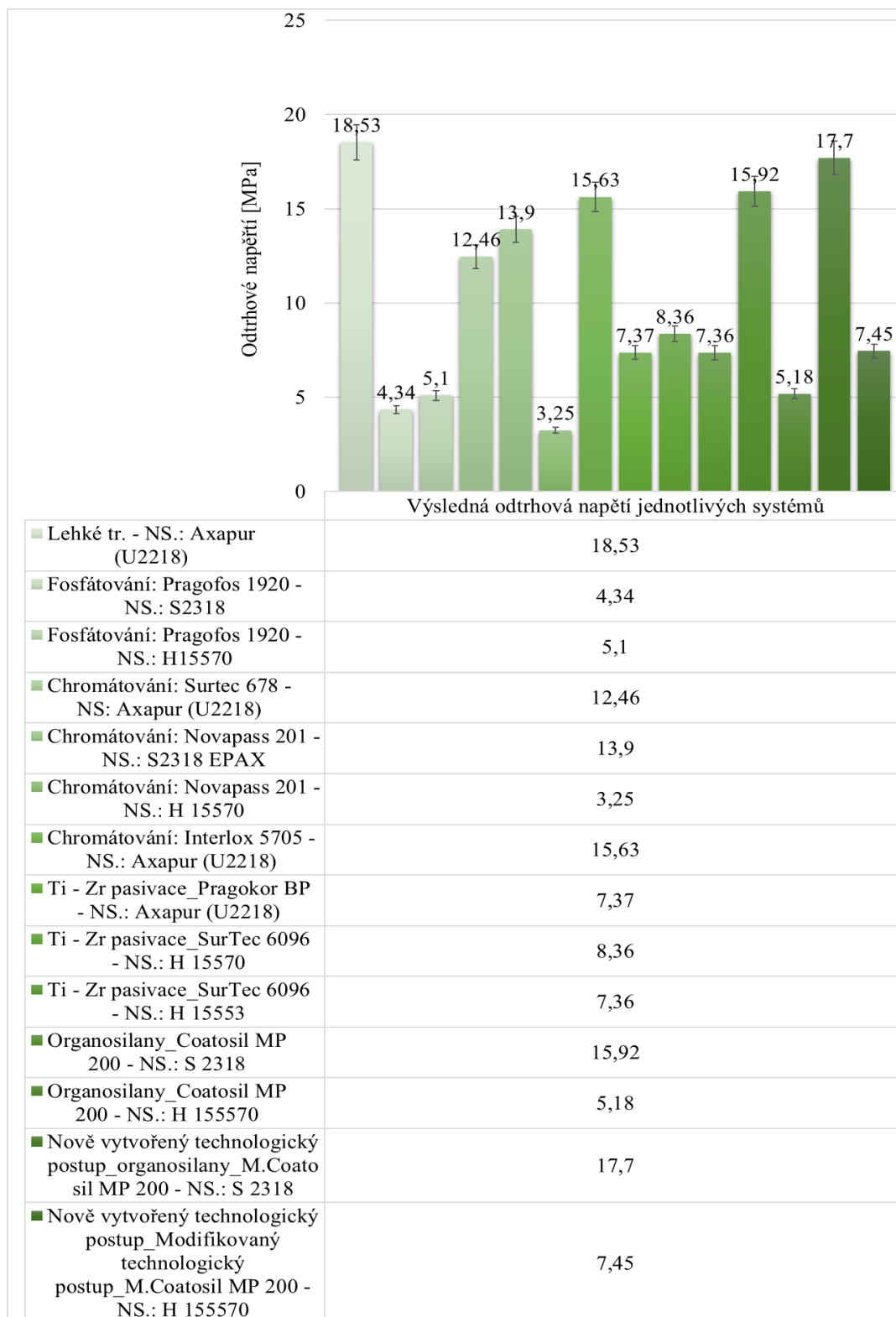
Obr. 37: Vlevo a uprostřed: výsledky odtrhových zkoušek, chemický prostředek Coatosil MP200, dosaženo odtrhových napětí až 17 MPa, kohezní lom v nátěru (100%B), NS S 2318, vpravo: Modifikované parametry lázně – výsledky odtrhových zkoušek s odtrhovým napětím nad 18 MPa, kohezní lom v NS

4.6.5. 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. 43: 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: Axapur (U2218)	12,46
Chromátování: Novapass 201 - NS.: S2318 EPAX	13,90
Chromátování: Novapass 201 - NS.: H 15570	3,25
Chromátování: Interlox 5705 - NS.: Axapur (U2218)	15,63
Ti - Zr pasivace_Pragokor BP - NS.: Axapur (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].



Graf 10: Výsledné zhodnocení a porovnání zkoušek přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624 pro jednotlivé systémy

4.7. Výsledky experimentů korozní odolnosti duplexních systémů

Předmětem kapitoly 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 [48, 49, 50, 51, 52, 53]. Vybrané fotografie výsledků a technologické listy jsou umístěné v elektronické příloze na CD, přiložené k disertační práci.

Způsoby testování:

Pro stanovení a vyhodnocení korozní odolnosti vytvořených duplexních systémů byly použity urychlené korozní zkoušky solnou mlhou dle normy ČSN EN ISO 9227 [48] a kondenzační komorou dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [49].

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 [48].

V kondenzační komoře byly vzorky vystaveny vlhkému prostředí za teploty (38 ± 2) °C. Zkouška probíhala dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [49].

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 [50].
- 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 [51].
- ČSN EN ISO 17872 (673101):2020. Nátěrové hmoty – Směrnice k provedení řezů povlakem na kovových vzorcích pro korozní zkoušky. Praha: ÚNMZ, 2020 [52].
- 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 [53].

4.7.1. 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. 38: 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, byly zvoleny 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. 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 přechozí 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.

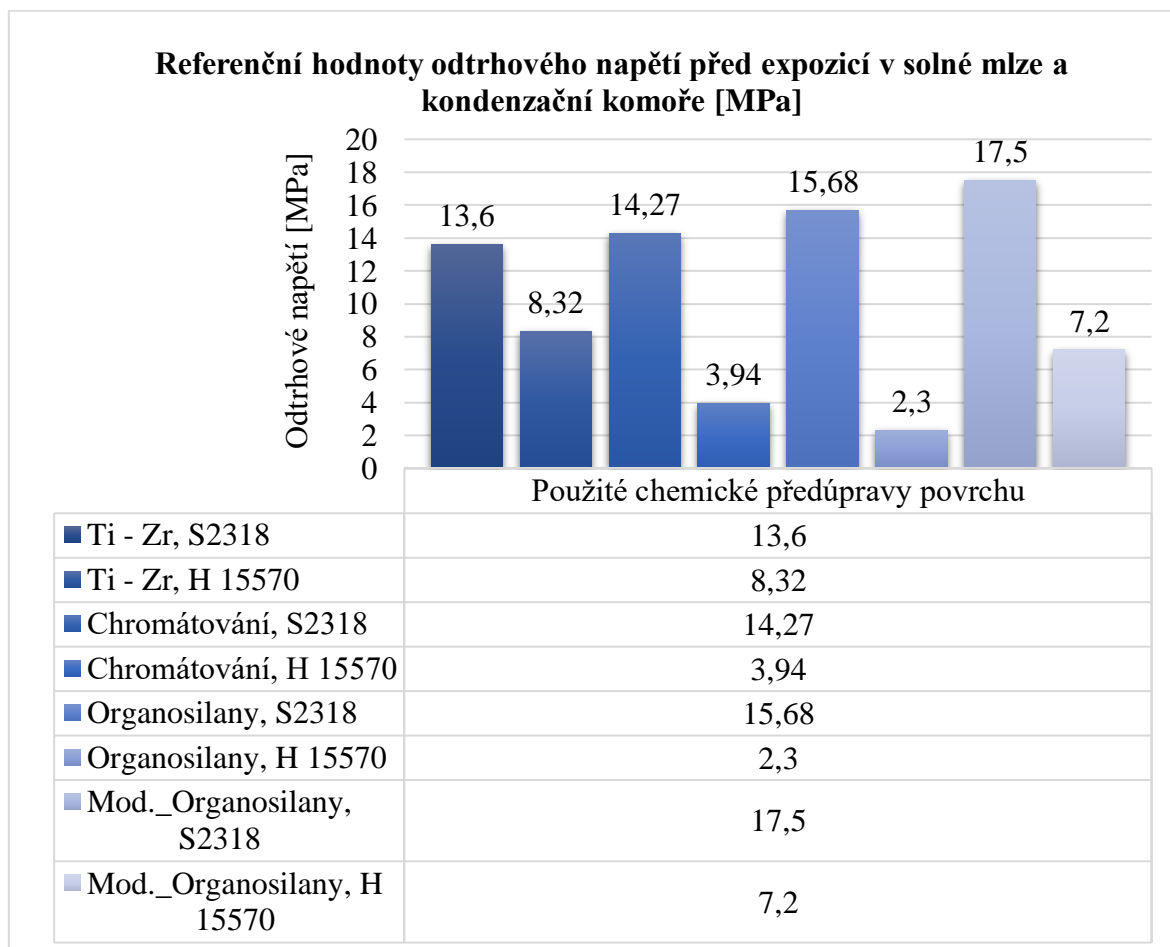
Prvních 22 vzorků bylo hodnoceno po 360 hodinách, zbylých 32 vzorků po 864 a 1000 hodinách kdy byl experiment ukončen. Tento interval byl zvolen z důvodu degradace některých systémů už po expozici 360 hodin, kdy byl odebrán jeden vzorek z každé série.

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].

4.7.2. 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 přilnavosti 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 11: Referenční hodnoty odtrhového napětí před expozicí v solné mlze a kondenzační komoře [MPa]

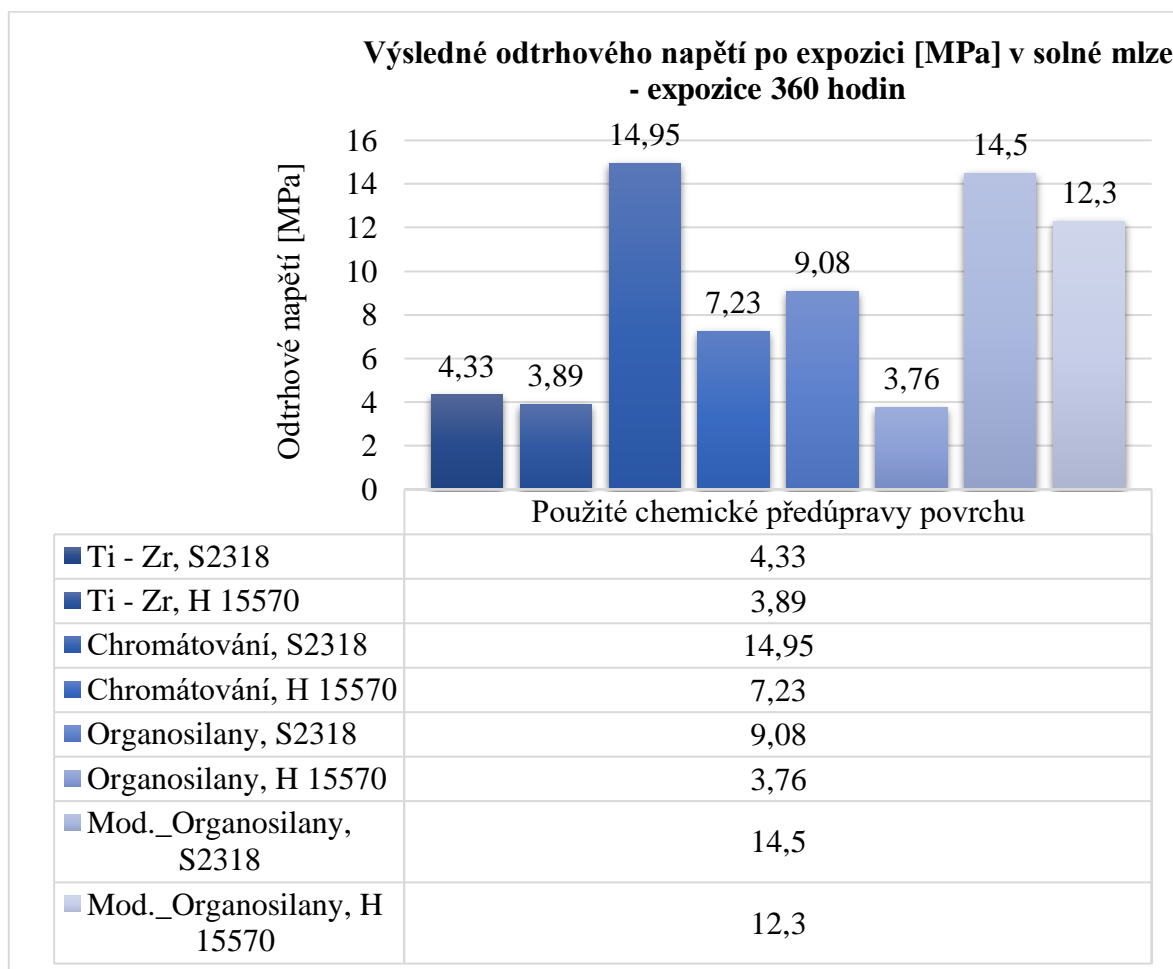


Z grafu 10 je patrné, že nejvyšších hodnot odtrhových napětí bylo dosaženo v případě modifikovaného technologického postupu aplikace organosilanů. Bylo dosaženo téměř 18 MPa. Při použití nátěrového S2318 bylo dosaženo vyšších odtrhových napětí, než v případě nátěrového systému H 15570. Dále byly zkušební vzorky vystaveny urychleným korozním zkouškám v umělé atmosféře [1A, 2A, 3A, 11A].

4.7.2.1. Expozice v solné mlze po 360 hodinách

Vzorky byly exponovány v neutrální solné mlze [48] 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.

Graf 12: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v solné mlze - expozice 360 hodin

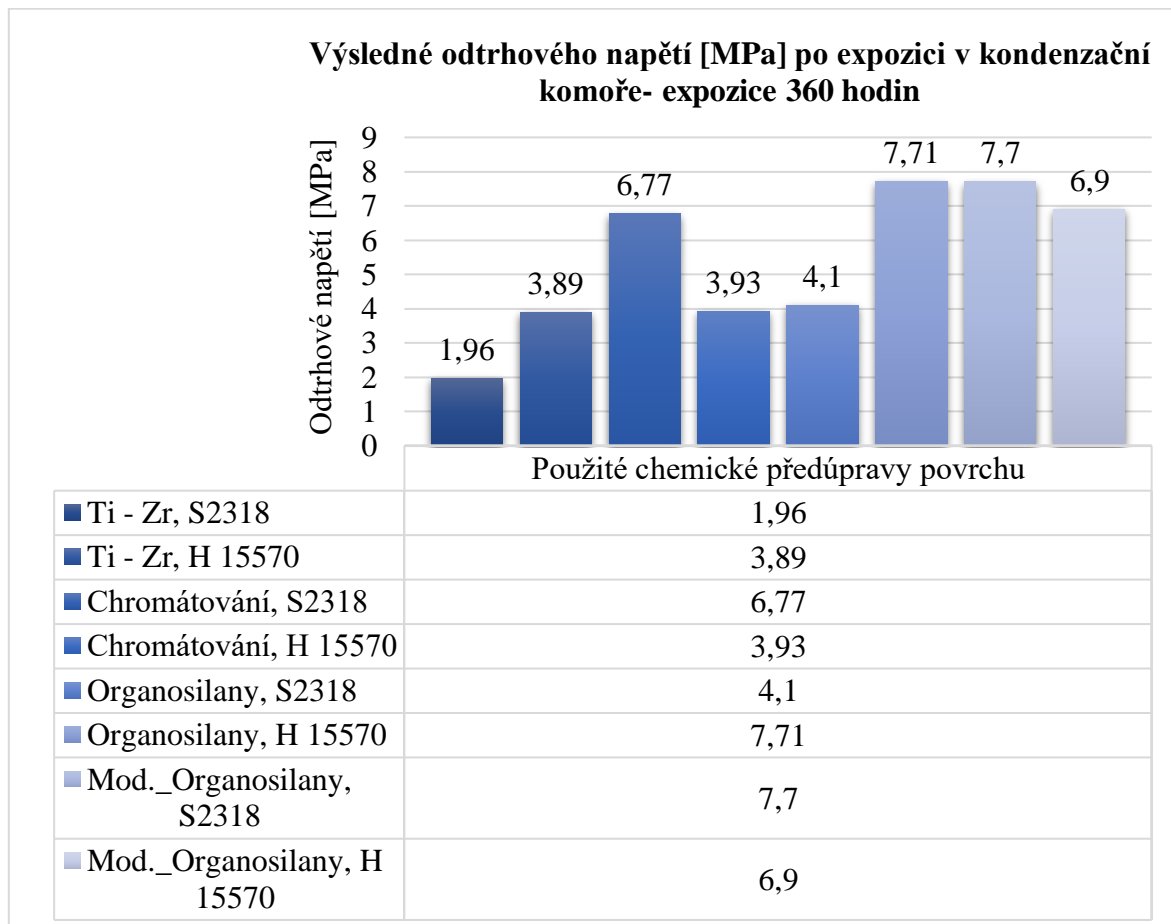


Nejvyšších hodnot odtrhového napětí (po expozici 360 hodin v solné mlze) bylo dosaženo v případě chromátování a aplikace expoxidové nátěrové hmoty S2318. Nejvyšších hodnot odtrhového napětí pro oba nátěrové systémy bylo dosaženo v případě

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].

4.7.2.2. Expozice v kondenzační komoře po 360 hodinách

Vzorky byly exponovány v kondenzační komoře [49] po dobu 360 hodin.

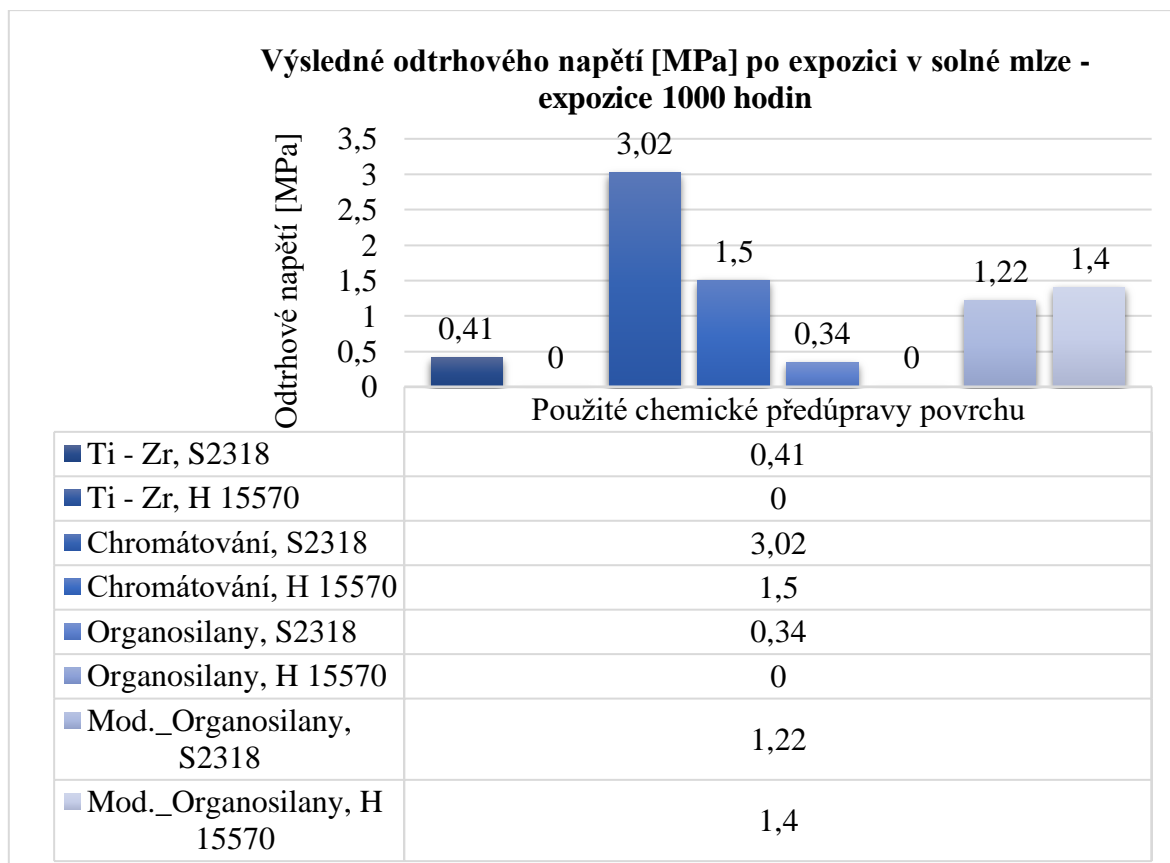


Nejvyšší odolnosti proti vlhkosti dosáhl systém na bázi modifikovaného technologického postupu organosilany [20A]. Po expozici 360 hodin v kondenzační komoře bylo naměřeno odtrhové napětí okolo 7,7 MPa v případě nátěrového systému S2318 a 6,9 MPa v případě nátěrového systému 15570. Klasifikace křížového řezu: 1, klasifikace mřížky: 1. Zásadní je významná odolnost proti působení vlhkosti oproti jiným chemickým předúpravám povrchu zinkového materiálu [1A, 2A, 3A, 11A].

4.7.2.3. Expozice v solné mlze po 1000 hodinách

Po 1000 hodinách expozice v solné mlze [48] byly testy urychlené degradace duplexních systémů ukončeny.

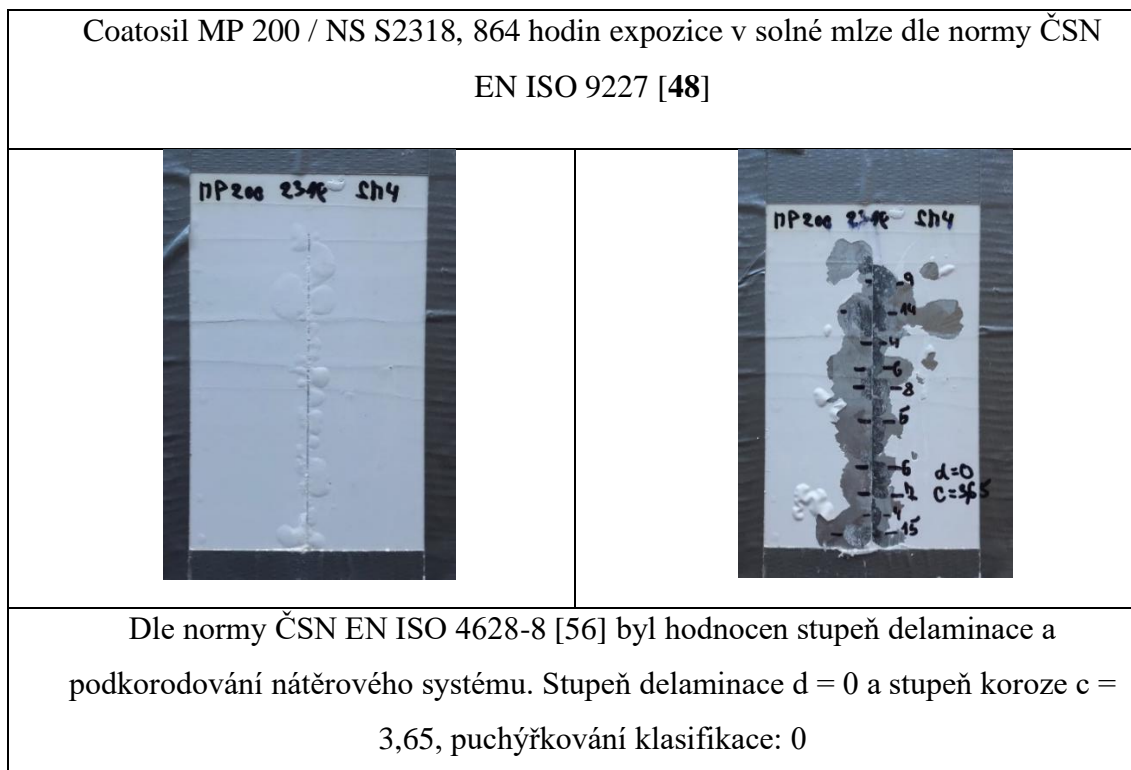
Graf 13: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v solné mlze - expozice 1000 hodin



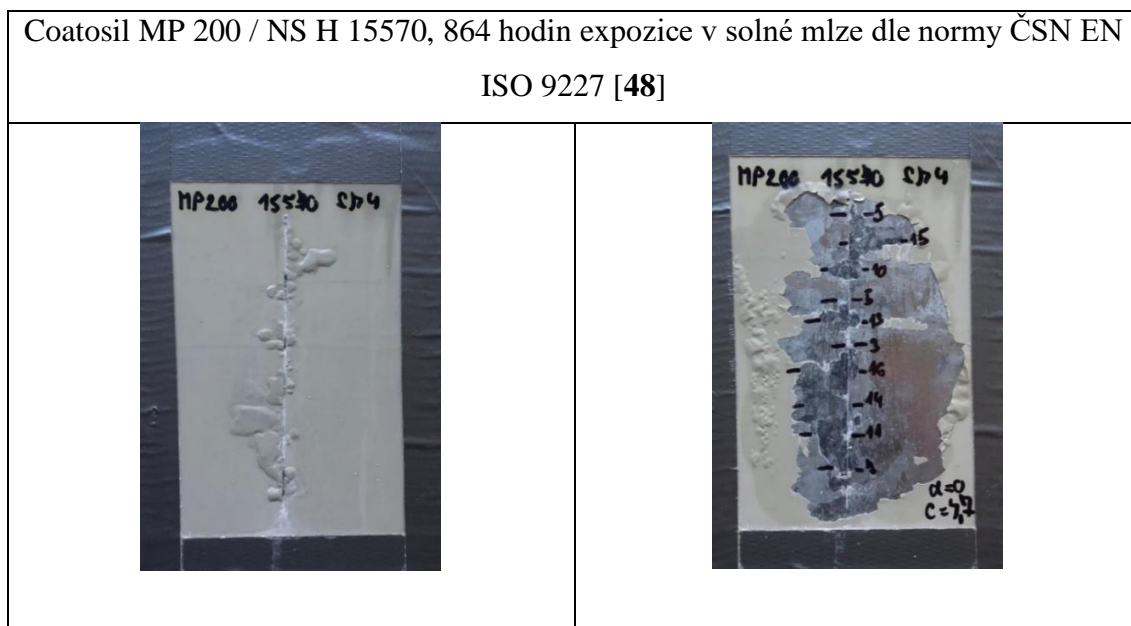
Po 1000 hodinách expozice v solné mlze začal NS Hempadur 15570 selhávat, měl velmi nízká odtrhová napětí a velmi nízkou přilnavost povrchu pro chemické předúpravy Ti-Zr (Pragokor BP) a Ti-Zr (SurTec 6069). V obou případech nastalo stržení pomocí lepící pásky při mřížkové zkoušce a pomocí křížového řezu. 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. 44: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS S 2318



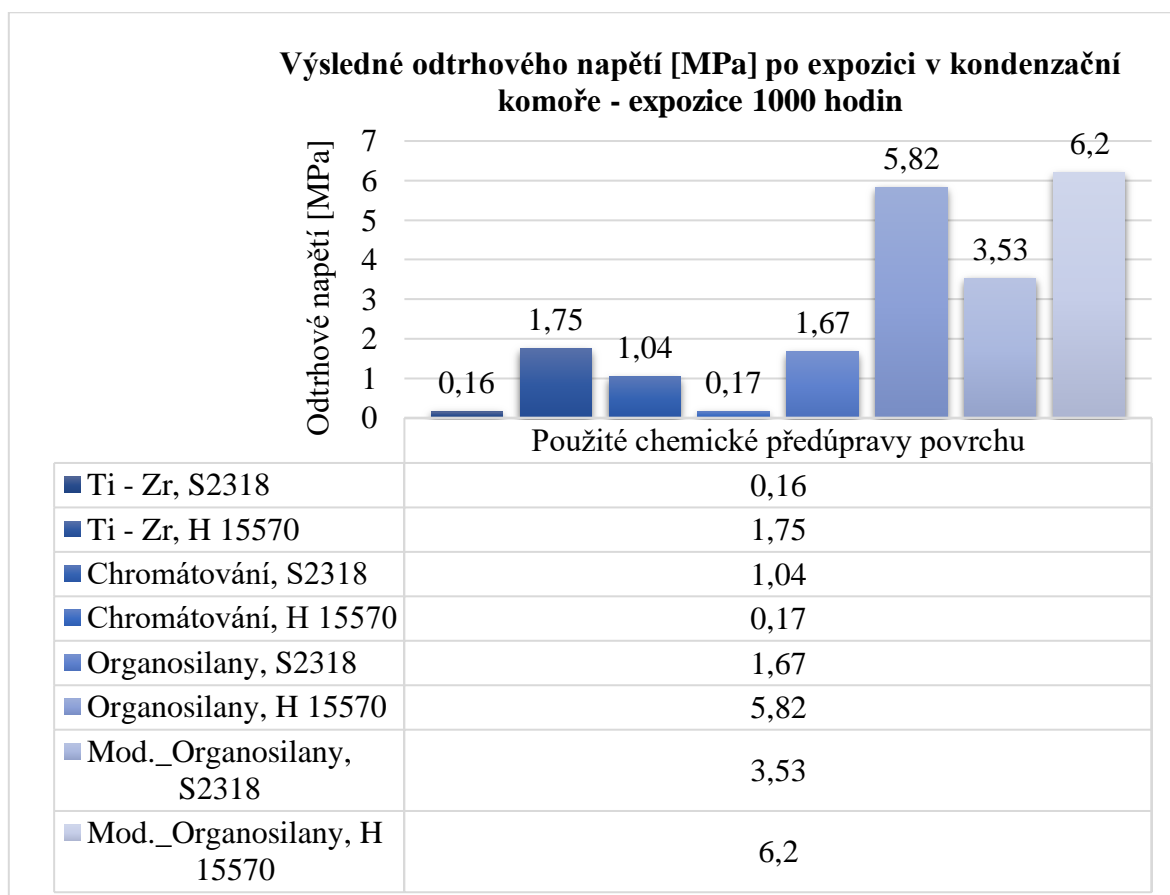
Tab. 45: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS H 15570



Dle normy ČSN EN ISO 4628-8 byl hodnocen stupeň delaminace a podkorodování nátěrového systému: d = 0, c = 4,7, puchýřkování klasifikace: 0

4.7.2.4. Expozice v kondenzační komoře po 1000 hodinách

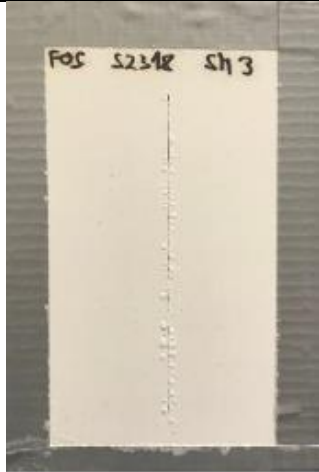
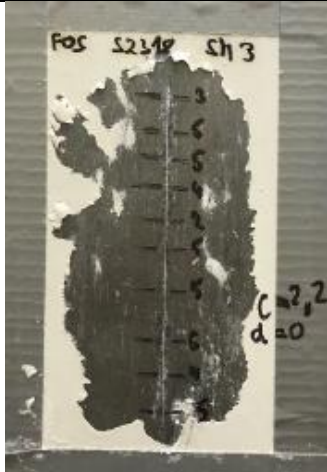
Graf 14: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v kondenzační komoře - expozice 1000 hodin





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. 46: Pragofos 1920 / NS. S 2318, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]

Pragofos 1920 / NS. S 2318, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]	
	
<p>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</p>	

Tab. 47: 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 [48]	
	
<p>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</p>	

4.8. 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].

4.8.1. Nově vytvořený technologický postup předúpravy pozinkované oceli

Tab. 48: 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
Oplach pasivační	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].

4.8.2. Zvolené a naměřené parametry lázně pro pasivaci

Tab. 49: 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

5. Diskuze dosažených 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 popsán nový technologický postup s optimalizací pro nízkoteplotní aplikace na základě získaných výsledků. Výsledky experimentů ukazují, že modifikovaný technologický postup využívající předúpravu zinkových povlaků 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.

6. Závěr

V experimentální části 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.

6. 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 (kapitole 4.5.8., 4.8.) s ohledem na maximalizaci přilnavosti následně aplikovaných nátěrových systému 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 na 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 také 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 [48] a zkoušky odolnosti proti vlhkosti dle normy ČSN EN ISO 6270-1 [49]. Stanovení jednotlivých defektů a degradace nátěrových systémů bylo hodnoceno dle norem: ČSN EN ISO 4628-2 (673071):2016 [50], ČSN EN ISO 4628-8 (673071):2013 [51], ČSN EN ISO 17872 (673101):2020 [52], ČSN EN ISO 4628-3 (673071):2016 [53].

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 [49] dosaženo nejvyšších odtrhových napětí, 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 [48] 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 [50] a výrazným podkorodováním nátěrového systému [52]. 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 přilnavosti 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

7. 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 přilnavost následně aplikovaných organických povlaků.

Cílem bylo vytvořit vhodnou optimální chemickou předúpravu povrchu žárově zinkovaných materiálů, 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.

8. Seznam použité literatury

- [1] J.B. BAJAT, V.B. MIŠKOVIĆ-STANKOVIĆ, J.P. POPIĆ, D.M. DRAŽIĆ, Adhesion characteristics and corrosion stability of epoxy coatings electrodeposited on phosphated hot-dip galvanized steel, *Progress in Organic Coatings*, Volume 63, Issue 2, September 2008, Pages 201-208, ISSN 0300-9440, <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.06.002>.
- [2] SZELAG, PETR. Pragochema, spol. s.r.o. – interní materiály společnosti. Využití organosilikátů v povrchových vrstvách, snímky SEM a schémata. [cit. 2022-10-23].
- [3] SAIKAT ADHIKARI, K.A. UNOCIC, Y. ZHAI, G.S. FRANKEL, JOHN ZIMMERMAN, W. FRISTAD, Hexafluorozirconic acid based surface pretreatments: Characterization and performance assessment, *Electrochimica Acta*, Volume 56, Issue 4, 15 January 2011, Pages 1912-1924, ISSN 0013-4686, <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.037> (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468610009692>)
- [4] PODJUKLOVÁ, JITKA. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Dot. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
- [5] KRAUS, VÁCLAV. *Povrchy a jejich úpravy*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [6] KREIBICH, VIKTOR. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 800101472X.
- [7] CABANELAS, I.; COLLAZO, A.; IZQUIERDO, M.; NÓVOA, X.R. a PÉREZ, C. Influence of galvanised surface state on the duplex systems behaviour. Online. *Corrosion Science*. 2007, roč. 49, č. 4, s. 1816-1832. ISSN 0010938X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.10.018>. [cit. 2023-10-28].
- [8] Příručka žárového zinkování. [4., aktualiz. vyd.]. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011, 56 s. ISBN 978-80-260-3324-0.
- [9] Ippu.cz – internetový zdroj. *Princip duplexního systému*. [online]. [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: http://ippu.cz/duplexni_systemy.html

- [10] SVOBODA, JAKUB. Návrh způsobu chemické předúpravy povrchu pro přilnavost organických povlaků. Praha, 2016. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
- [11] VAN OOIJ, W.J., SABATA, A. Chemical stability of phosphate conversion coatings on cold-rolled and electrogalvanized steels. *Surface and Coatings Technology*. 15 December 1989, Volumes 39–40, Part 2, Pages 667-674. ISSN 0257-8972. Dostupné z: [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(89\)80028-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(89)80028-3).
- [12] TRABELSI, W., CECILIO, P., FERREIRA, M.G.S., MONTEMOR, M.F. Electrochemical assessment of the self-healing properties of Ce-doped silane solutions for the pretreatment of galvanised steel substrates. *Progress in Organic Coatings*. 1 December 2005, Volume 54, Issue 4, Pages 276-284. ISSN 0300-9440. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.07.006>.
- [13] WU, SOUHENG. *Polymer Interface and Adhesion*. New York: CRC Press, 1982. ISBN 978-082-4715-335.
- [14] EBNESAJJAD, SINA A CYRUS F. EBNESAJJAD. *Surface treatment of materials for adhesive bonding*. Second edition. Amsterdam: William Andrew, an imprint of Elsevier, 2014. ISBN 978-032-3264-358.
- [15] GREGOR, MIROSLAV. *Technologie a technika lepení - základní informace*. Opravdu vše o lepidlech [online]. Broumov: Z-Trade, c2013 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [16] STAŇKOVÁ, PETRA. *Moderní chemické předúpravy povlaků zinku pro zvýšení přilnavosti organických povlaků*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D., konzultant: Ing. Jakub Svoboda
- [17] ARTHUR H. LANDROCK. *Adhesives technology handbook*. United States of America: Noyes publications, 1985. ISBN 0-8155-1040-3.
- [18] PETRIE, EDWARD M. *Handbook of adhesives and sealants*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2007. ISBN 978-0-07-147916-5.

- [19] KŘÍŽ, PETR. Detergentní vlastnosti vodou mísitelných obráběcích kapalin [online]. Ostrava: Castrol Lubricants, 2015 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=6586&cHash=b26b17ef80&type=98
- [20] KREISLOVÁ, K. SVÚOM Praha, s.r.o. – interní pdf dokument pro výuku. Aplikace nové BAT technologie v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, náhrada toxického chromu Cr^{VI} v povrchových úpravách. [cit. 2016-05-01].
- [21] Český obranný standard – internetový zdroj. *Fosfátové povlaky pro součásti vojenské techniky. ČOS 801002, 1. vydání.* [online]. [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://oos-data.army.cz/cos/cos/801002.pdf>
- [22] POKORNÝ P., V. MEJTA a P. SZELAG. Povrchová úprava: Příspěvek k teoretickým základům tvorby fosfátového povlaku [online]. Hradec Králové: IMPEA, s. r. o., 2011, VII, [cit. 2022-08-13]. ISSN 1801-707X. Dostupné z: <http://www.povrchovauprava.cz/uploads/assets/casopisy/pu-2011-03.pdf>
- [23] SZELAG, P. Časopis MM průmyslové spektrum. *Železnaté fosfátování.* 2008/4, str. 70, kód článku: 080431 [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zeleznate-fosfatovani.html>
- [24] POKORNÝ, P. Předpokládaná účinnost konverzních povlaků proti aktivaci zinkované oceli v modelových pórových roztocích betonu. *Koroze a ochrana materiálu.* 2013, 57(3), s.115- 126.
- [25] ZHU, WEN, LI WENFANG, MU SONGLIN, FU NIANQING A LIAO ZHONGMIAO. Comparative study on Ti/Zr/V and chromate conversion treated aluminum alloys: Anti-corrosion performance and epoxy coating adhesion properties. *Applied Surface Science.* Elsevier, 2017, (405), 157-168.
- [26] SAIKAT ADHIKARI, K.A. UNOCIC, Y. ZHAI, G.S. FRANKEL, JOHN ZIMMERMAN, W. FRISTAD, Hexafluorozirconic acid based surface pretreatments: Characterization and performance assessment, *Electrochimica Acta*, Volume 56, Issue 4, 15 January 2011, Pages 1912-1924,ISSN 0013-4686,<http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.037>
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468610009692>)

- [27] SZELAG, P. Pragochema, spol. s.r.o. – interní materiály společnosti. Železnaté fosfátování. [cit. 2022-10-30].
- [28] T. C. DIAMANTINO; M. E. ALMEIDA. Anticorrosive behaviour of conventional and alternative conversion coatings used on zinc galvanised steel. Eurocorr 2000, Proceedings, London, UK, Sept. 2000 (2000)
- [29] P. SANTA COLOMA, U. IZAGIRRE, Y. BELAUSTEGI, J.B. JORCIN, F.J. CANO, N. LAPENA, Chromium-free conversion coatings based on inorganic salts (Zr/Ti/Mn/Mo) for aluminum alloys used in aircraft applications, Applied Surface Science, Volume 345, 1 August 2015, Pages 24-35, ISSN 0169-4332, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.02.179>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433215005073>)
- [30] KREGIEL D., Advances in biofilm control for food and beverage industry using organo-silane technology: A review, Food Control, Volume 40, 2014, Pages 32-40, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.11.014>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713513005884>)
- [31] MATERNE T., BUYL D. F., WITUCKI L. D., *Organosilane Technology in Coating Applications: Review and Perspectives*. Dow Corning Com., Midland USA [online]. [cit. 2023-10-30]. Dostupné z:
https://www.researchgate.net/profile/Nirmala-Svsg/post/How_to_test_the_effects_of_strong_acid_and_base_on_a_particular_coating_Is_there_an_article/attachment/59d635c379197b8077993426/AS%3A385533055389696%401468929651060/download/CX.pdf
- [32] MONTEMOR, M.F., A.M. SIMÕES, M.G.S. FERREIRA, B. WILLIAMS a H. EDWARDS. The corrosion performance of organosilane based pre-treatments for coatings on galvanised steel. Progress in Organic Coatings. Elsevier, 2000, (38), 12-26.
- [33] Organosilane Technology in Coating Applications: Review and Perspectives [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z:
https://www.academia.edu/10140050/Organosilane_Technology_in_Coating_Applications_Review_and_Perspectives?auto=download

- [34] WRIGHT, J., SOMMERDIJK, N., PHILLIPS, D., ROBERTS, S., O'BRIEN, P. (2000). Sol-Gel Materials. London: CRC Press, <https://doi.org/10.1201/9781315273808>
- [35] WANG, Duhua a Gordon P. BIERWANG. Sol-gel coatings on metals for corrosion protection: Progress in Organic Coatings [online]. [cit. 2020-06-19]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2008.08.010>. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944008002038>
- [36] W. J. V. OOIJ, „Corrosion Protection Properties of Organofunctional Silanes,“ Department of Chemical and Materials Engineering, University of Cincinnati, Cincinnati, USA, 2005.
- [37] A. S. DINESH BALGUDE, „Sol-gel derived hybrid coatings as an environment friendly surface treatment for corrosion protection of metals and their alloys,“ Department of Polymer and Surface Engineering, Mumbai, 2012.
- [38] B. ARKLES, J.R. STEINMETZ, J. ZAZYCZNY, P. METHA, “Factors contributing to the stability of alkoxy silanes in aqueous solution,” in Silanes and Other Coupling Agents, Ed. K.L. Mittal, VSP Utrecht, Netherlands, 91-104 (1992).
- [39] JIANHUA ZHOU, XIN CHEN, HAO DUAN, JIANZHONG MA, Synthesis and characterization of organic fluorine and nano-SiO₂ modified polyacrylate emulsifier-free latex, Progress in Organic Coatings, Volume 89, December 2015, Pages 192-198, ISSN 0300-9440, <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.09.016>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944015301338>)
- [40] B.G. TILSET, C.J. SIMENSEN, F. LAPIQUE, A. BJORGUM, “Properties of thin BTSE and γ -APS layers used as pre-treatments for structural adhesive bonding of aluminum,” SINTEF Materials Technology, Strategic Institute Program, http://www.sintef.no/static/mt/norlight/ICEPAM/02_Tilset_SINTEF.pdf (June 24, 2005).

- [41] M.J. WHITING, V. STOLOJAN, A. RATTANA, J.F. WATTS,
“Direct observation and characterization of the oxide nanostructured interface resulting from organosilane pre-treatment of aluminum,” Materials Research Society Symposium Proceedings, 734, 27-32 (2002).
- [42] A. RATTANA, M.L. ABEL, J. F. WATTS,
“A Study of the Interfacial Chemistry of Adhesives on Hydrated Aluminum Treated with GPS,” Proceedings of the 27th Annual Meeting of The Adhesion Society, Inc., 513-515 (2004).
- [43] ČSN EN ISO 2808 (673061):2020. Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [44] ČSN ISO 2409 (673085): 06/2021 – doposud: Nátěrové hmoty. Mřížková zkouška. Praha, ÚNMZ, 2021
- [45] ČSN ISO 4624 (673077): 01/2017 – doposud: Nátěrové hmoty - Odrhová zkouška přilnavosti. Praha, ÚNMZ, 2021
- [46] ASTM D3359-17: 07/2022 – doposud: 4. Stanovení přilnavost i křížovým řezem. ASTM License Agreement, 2022
- [47] ČSN EN ISO 8503-2 (038223):2012. Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Charakteristiky drsnosti povrchu otryskaných ocelových podkladů - Část 2: Hodnocení profilu povrchu otryskané oceli komparátorem. Praha: ÚNMZ, 2012
- [48] ČSN EN ISO 9227 (038132):2017. Korozní zkoušky v umělých atmosférách - Zkoušky solnou mlhou. Praha: ÚNMZ, 2017
- [49] ČSN EN ISO 6270-2 (673108):2018. Nátěrové hmoty - Stanovení odolnosti proti vlhkosti - Část 2: Kondenzace (expozice v komoře se zásobníkem ohřáté vody). Praha: ÚNMZ, 2018
- [50] ČSN EN ISO 4628-2 (673071):2016. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 2: Hodnocení stupně puchýřkování. Praha: ÚNMZ, 2016
- [51] ČSN EN ISO 4628-8 (673071):2013. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn

- vzhledu - Část 8: Hodnocení stupně delaminace a koroze v okolí řezu nebo jiného umělého defektu. Praha: ÚNMZ, 2013
- [52] ČSN EN ISO 17872 (673101):2020. Nátěrové hmoty – Směrnice k provedení řezů povlakem na kovových vzorcích pro korozní zkoušky. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [53] ČSN EN ISO 4628-3 (673071):2016. Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [54] ČSN EN ISO 8501-1 (038221):2007. Příprava ocelových povrchů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků - Vizuální vyhodnocení čistoty povrchu - Část 1: Stupně zarezavění a stupně přípravy ocelového podkladu bez povlaku a ocelového podkladu po úplném odstranění předchozích povlaků. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [55] ČSN EN ISO 9223 (038203):2012. Koroze kovů a slitin - Korozní agresivita atmosfér - Klasifikace, stanovení a odhad. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [56] ČSN EN ISO 4624 (673077). Nátěrové hmoty – Odtrhová zkouška přilnavosti. Praha: ÚNMZ, 2016.
- [57] Colorlak, a.s. [online katalogový list]. NS pro těžkou antikorozi ochranu. 2006. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: https://www.colorlak.cz/wp-content/uploads/2016/12/tezkou-antikorozi-ochranu_venek.pdf
- [58] Hempel CZ s.r.o. [online katalogový list]. Hempadur 15570. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.hempel.com/cs-cz/produkty/hempadur-15570-15570>
- [59] Hempel CZ s.r.o. [online katalogový list]. Hempadur 15553. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.hempel.com/cs-cz/produkty/hempadur-15553-15553>
- [60] Colorlak, a.s. [online katalogový list]. ZINOREX S2211. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.colorlak.cz/sortiment/detail/zinorex-s2211>
- [61] Colorlak, a.s. [online katalogový list]. AXAPUR BÁZE U2218. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.colorlak.com/sortiment/detail/axapur-baze-u2218>
- [62] Univerzita Pardubice, fakulta chemicko – technologická, ústav polymerních materiálů. Dokument pdf. pro výuku. Hodnocení vlastností nátěrových hmot

- [online]. [cit. 2023-11-05]. Dostupné z:
<https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/hodnoc-mech-vlast.pdf>
- [63] Pragochema spol. s r.o. [online katalogový list]. Přípravky pro úpravu povrchu pod nátěry / Zinečnaté fosfáty. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z:
<https://www.pragochema.cz/produkty/pripravky-pro-fosfatovani/pripravky-pro-upravu-povrchu-pod-natery-zinecnate-fosfaty?q=produkty/pripravky-pro-fosfatovani/pripravky-pro-upravu-povrchu-pod-natery-zinecnate-fosfaty>
- [64] ČSN EN ISO 16276-2 (673202): 2008 - doposud. Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy - Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku - Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez. Praha: ÚNMZ, 2008.
- [65] SurTec ČR s.r.o. [online katalogový list]. SurTec 6096V. [cit. 2023-12-03]. Dostupné z: <https://www.surtec.com/cs/products/>
- [66] K. KADLAS BLÜMELOVÁ, Technický týdeník – časopis. *Robotické broušení už není velkou neznámou, ve výrobě se objevuje čím dál častěji*. [online]. [cit.2023-11-10]. Dostupné z:
https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/roboticke-brouseni-uz-neni-velkou-neznamou-ve-vyrobe-se-objevuje-cim-dal-casteji_56162.html
- [67] CHEN, Y., et al. Effect of phosphate coatings on the corrosion resistance of steel substrates. *Journal of Materials Science*. 2020, 55(12), 4897-4905. Dostupné z:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-020-04567-y>
- [68] ZHANG, L., et al. Chromate conversion coatings for corrosion protection: A review. *Surface and Coatings Technology*. 2019, 367, 126-136. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897219306652>
- [69] LI, H., et al. Zirconium and titanium-based conversion coatings as an alternative to phosphates and chromates. *Corrosion Science*. 2021, 176, 108907. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X20319345>
- [70] HUANG, R., et al. Enhancing corrosion resistance of metal substrates with organosilane coatings. *Progress in Organic Coatings*. 2018, 123, 329-337. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944018304307>

- [71] RAO, P., et al. Advancements in non-chromate conversion coatings. *Materials Today: Proceedings*. 2020, 27, 1364-1371. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532030091X>
- [72] SMITH, T., et al. Comparative study of different pretreatment methods on zinc surfaces. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2020, 17(6), 1425-1434. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11998-020-00339-9>
- [73] KUMAR, A., et al. Corrosion resistance of zinc coatings with different surface treatments. *Materials Research Express*. 2021, 8(4), 046502. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2053-1591/abf0d5>
- [74] JOHNSON, M., et al. Environmental impact of chromate and phosphate surface treatments. *Environmental Science & Technology*. 2018, 52(15), 8912-8920. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b01633>
- [75] BROWN, L., et al. Innovative approaches to improve the adhesion of organic coatings. *Surface Engineering*. 2021, 37(7), 563-570. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02670844.2020.1858437>
- [76] TAN, X., et al. Assessment of environmentally friendly surface pretreatments for zinc coatings. *Journal of Cleaner Production*. 2019, 227, 367-376. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619318260>
- [77] WANG, J., et al. Development of hybrid sol-gel coatings for corrosion protection. *Surface and Coatings Technology*. 2020, 385, 125411. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897220306685>
- [78] WANG, J., et al. Development of hybrid sol-gel coatings for corrosion protection. *Surface and Coatings Technology*. 2020, 385, 125411. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897220306685>
- [79] DAVIS, J., et al. Review of advanced surface treatments for zinc coatings. *Corrosion Reviews*. 2021, 39(2), 93-105.
- [80] CHEN, X., ZHANG, Y., WANG, L., & LIU, H. (2019). Corrosion resistance of zirconium-titanium conversion coatings on galvanized steel. *Journal of Coatings Technology and Research*, 16(3), 515-525. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11998-019-00229-9>

- [81] JONES, R., SMITH, A., & BROWN, T. (2018). Comparative study of phosphating and chromating pretreatments for organic coatings adhesion on zinc surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 334, 224-231. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897218306938>
- [82] LIU, J., TANG, Z., & HUANG, Y. (2021). Environmental advantages of titanium-zirconium conversion coatings: A review. *Progress in Organic Coatings*, 153, 106050. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944021001862>
- [83] RYU, S., CHOI, H., & KIM, J. (2020). Adhesion enhancement of organic coatings on zinc substrates using organosilane pretreatments. *Corrosion Science*, 174, 108819. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010938X20301518>
- [84] SMITH, D., EVANS, P., & WALKER, R. (2020). Challenges and environmental concerns of chromate-based coatings. *Materials Performance*, 59(11), 36-42. Dostupné z: <https://onepetro.org/MAPECONF/proceedings-abstract/MPC20/All-MPC20/3515/445872>
- [85] WANG, Q., LI, Y., & ZHOU, M. (2021). Recent advances in organosilane pretreatment for corrosion protection of metal substrates. *Applied Surface Science*, 536, 147754. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433220329366>
- [86] SATHYANARAYANA, M.N., & YASEEN, M. (1995). Role of promoters in improving adhesion of organic coatings to a substrate. *Progress in Organic Coatings*, 26, 275-313. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944014001052>
- [87] ABEL, M.-L. (2020). Organosilanes: Adhesion Promoters and Primers. In: *Adhesion in Microelectronics*. Springer. Dostupné z: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-55411-2_11
- [88] WALKER, P. (1982). Organosilanes as adhesion promoters for organic coatings. *Journal of Oil Colour Chemists' Association*, 65(11), 415-423. Dostupné z: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=13406772>

- [89] DOERRE, M., HIBBITTS, L., PATRICK, G., & AKAFUAH, N.K. (2018). Advances in Automotive Conversion Coatings during Pretreatment of the Body Structure: A Review. *Coatings*, 8(11), 405. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-6412/8/11/405>
- [90] SARAVANAN, P., & SRIKANTH, S. (2020). Post Treatment of Hot Dip Galvanized Steel Sheet- Chromating, Phosphating and other Alternative Passivation Technologies. *Journal of Materials Sciences and Applications*. Dostupné z: <https://www.jscholaronline.org/articles/JMSA/Post-Treatment-of-Hot-Dip-Galvanized-Steel-Sheet-Chromating-Phosphating-and-other-Alternative-Passivation-Technologies.php>
- [91] Česká republika. Nařízení vlády č. 391/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 481/2012 Sb., o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016.

9.1 Publikace autora související s disertační prací

- [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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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.

9.2 Publikace autora přímo nesouvisející s disertační prací

- [1B] KUDLÁČEK, J. et al. Technology of Repairs of Anticorrosion Protection of Smaller Parts of Historic Steel Structures Using Hot-Dip Galvanizing. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering - Advances in Manufacturing III. 7th International Scientific-Technical Conference, MANUFACTURING 2022, Poznaň, 2022-05-16/2022-05-19. Berlin: Springer Science+Business Media, 2022. s. 189-201. ISSN 2195-4356. ISBN 978-3-031-00804-7. DOI 10.1007/978-3-031-00805-4_16
- [2B] RYJÁČEK, P. et al. *Metody pro zajištění udržitelnosti ocelových mostních konstrukcí industriálního kulturního dědictví*. Praha: ČVUT. Fakulta stavební, 2022. ISBN 978-80-01-06990-5.
- [3B] KUDLÁČEK, J., J. SVOBODA a M. ZOUBEK. Volba opravy PKO demontovatelných částí ocelových konstrukcí. In: KREIBICH, V. a J. KUDLÁČEK, eds. *17. Mezinárodní odborný seminář "Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav"*. 17. Mezinárodní odborný seminář "Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav, Brno, 2021-11-24/2021-11-25. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2021. s. 69-74.1. ISBN 978-80-87583-34-0.
- [4B] MACHALÍNEK, M., J. KUCHARŤ a J. SVOBODA. Cleaning and maintenance of surfaces in energy industry. In: KUDLÁČEK, J., ed. *Sborník konference Technological forum 2021*. TECHNOLOGICAL FORUM 2021, HOTEL LUNA, KOUTY, 2021-06-30/2021-07-02. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2021. s. 165-170. ISBN 978-80-87583-33-3.
- [5B] HAZDRA, Z. et al. INFLUENCE OF FRICTION COEFFICIENT ON THE SAFETY OF THREAD CONNECTIONS. In: KUDLÁČEK, J., ed. *Sborník konference Technological forum 2021*. TECHNOLOGICAL FORUM 2021, HOTEL LUNA, KOUTY, 2021-06-30/2021-07-02. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2021. s. 56-59. ISBN 978-80-87583-33-3.

- [6B] TATÍČKOVÁ, Z. et al. Thermo-chromic painting systems - a new approach to increase occupational safety. In: *Metal 2021- Conference Proceedings*. 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials, Brno, 2021-05-26/2021-05-28. Ostrava: Tanger Ltd., 2021. s. 593-599. ISSN 2694-9296. ISBN 978-80-87294-99-4. DOI [10.37904/metal.2021.4187](https://doi.org/10.37904/metal.2021.4187). Dostupné z: <https://www.confer.cz/metal/2021/read/4187-thermo-chromic-painting-systems-a-new-approach-to-increase-occupational-safety.pdf>
- [7B] KUDLÁČEK, J., J. SVOBODA a M. ZOUBEK. *Technologie oprav protikorozní ochrany historických ocelových konstrukcí s využitím kombinovaných povlaků*. [Ověřená technologie] 2021.
- [8B] KUDLÁČEK, J. et al. *Tryska pro čištění úzkých štěrbin ocelových konstrukcí*. [Funkční vzorek] 2021. České vysoké učení technické v Praze. *Tryska pro vysokotlaké tryskání vodním paprskem do obtížně přístupných míst*. Původci: P. RYJÁČEK et al. Česko. Užitečný vzor CZ 34780. 2021-01-19. Dostupné z: <https://isdv.upv.cz/doc/FullFiles/UtilityModels/FullDocuments/FDUM0034/uv034780.pdf>
- [9B] KUDLÁČEK, J., J. SVOBODA a M. ZOUBEK. Technologie oprav protikorozní ochrany menších částí historických ocelových konstrukcí s využitím žárového zinkování. In: *Sborník přednášek 26. konference žárového zinkování*. 26. konference žárového zinkování, Hotel zámek Valeč, 2021-09-21/2021-09-23. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2021. s. 74-85. 1. sv. 1. ISBN 978-80-905298-9-2.
- [10B] KUDLÁČEK, J. et al. Stanovení účinnosti odmašťování ve vodných alkalických roztocích. *Povrcháři*. 2020, **13**(5), 15-18. ISSN 1802-9833. Dostupné z: <http://www.povrchari.cz/>
- [11B] KUDLÁČEK, J. a J. SVOBODA. Alkalické černění ocelí - vady a způsoby jejich odstraňování. *Povrcháři*. 2020, **13**(4), 6-8. ISSN 1802-9833. Dostupné z: <http://www.povrchari.cz/>
- [12B] SEDLÁČKOVÁ, E., J. SVOBODA a J. KUDLÁČEK. Pretreatment of slots surface of steel structures. In: *TECHNOLOGICAL FORUM 2020*. Jaroměř, 2020-11-25. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2020. s. 127-131. ISBN 978-80-87583-32-6.

- [13B] KANIA, H. et al. Microstructure Characterization and Corrosion Resistance of Zinc Coating Obtained in aZn-AlNiBi Galvanizing Bath. *Coatings*. 2020, **10**(8), ISSN 2079-6412. DOI [10.3390/coatings10080758](https://doi.org/10.3390/coatings10080758). Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2079-6412/10/8/758>
- [14B] SVOBODA, J. et al. Experimental verification of removal of corrosion products and old paint systems of steel structures in places with difficult accessibility. In: *International Conference on Innovative Technologies IN-TECH 2019 Belgrade - Proceedings*. IN-TECH 2019 International Conference on Innovative Technologies, Belgrade, 2019-09-11/2019-09-13. Rijeka: Faculty of Engineering University of Rijeka, 2019. s. 39-46. ISSN 0184-9069.
- [15B] SVOBODA, J. et al. Odstranění korozních produktů a starých nátěrových systémů ocelových konstrukcí v místech s těžkou dostupností. In: *Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav 16. Mezinárodní odborný seminář*. Hotel Myslivna Brno, 2019-12-04/2019-12-05. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2019. s. 44-50. ISBN 978-80-87583-31-9.
- [16B] SVOBODA, J. a V. KREIBICH. Základy smaltování – díl 3. *Občasník Povrcháři*. 2019, **2019** 13-14. ISSN 1802-9833.
- [17B] SVOBODA, J. a V. KREIBICH. Základy smaltování – díl 2. *Občasník Povrcháři*. 2019, **2019** 15-18. ISSN 1802-9833.
- [18B] SVOBODA, J. a V. KREIBICH. Základy smaltování – díl 1. *Občasník Povrcháři*. 2019, **2019** 14-15. ISSN 1802-9833.
- [19B] SVOBODA, J., V. KREIBICH a M. CHVOJKA. Smaltování a nově vznikající společnost smaltěřů. *Občasník Povrcháři*. 2018, 2018(3), 3. ISSN 1802-9833. Dostupné z: <http://www.povrchari.cz>
- [20B] KUDLÁČEK, J. et al. *Průběžná zpráva z řešení projektu za ČVUT v Praze Ú12133-2018-MEGA-04*. [Výzkumná zpráva] 2018. Zpráva č. Ú12133-2016-MEGA-04.
- [21B] KUDLÁČEK, J. et al. *Studie zařízení pro kontinuální kateforetické lakování drobných dílů*. [Výzkumná zpráva] 2017. Zpráva č. Ú12133-2017-MEGA - 03.

- [22B] KUDLÁČEK, J. et al. *Zařízení pro dávkové kataforetické lakování drobných dílů*. [Výzkumná zpráva] 2017.Zpráva č. Ú12133-2016-MEGA-02.
- [23B] KUKLÍK, V. et al. Původ červenohnědého zabarvení povlaku žárového zinku. In: *Sborník přednášek 23.konference žárového zinkování*. 23. konference žárového zinkování, Dolní Morava, 2017-10-03/2017-10-05. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2017. s. 64-67. ISBN 978-80-905298-6-1.
- [24B] KUKLÍK, V. et al. Origin of Russet Coloring of Hot-Dip Galvanized Coating. In: *23rd Hot Dip Galvanizing Conference - Proceedings*. 23rd Hot Dip Galvanizing Conference, Dolní Morava, 2017-10-03/2017-10-05. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2017. s. 64-67. ISBN 978-80-905298-6-1.
- [25B] SVOBODA, J., V. KREIBICH a J. KUDLÁČEK. Netradiční ozdobně-ochranné povlaky materiálu. In: *Progresivní a netradiční technologie povrchových úprav*. Brno, 2017-11-29/2017-11-30. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2017. s. 95-98. ISBN 978-80-87583-23-4.
- [26B] SVOBODA, J. Goujian: Historický čínský meč. *Občasník Povrcháři*. 2017, **2017**(7), 17. ISSN 1802-9833.
- [27B] KUDLÁČEK, J. et al. *Diagnostický průzkumu PKO vnitřních ploch oblouků mostu ev.č. 19-028 včetně chemického rozboru původní PKO*. [Výzkumná zpráva] Ředitelství silnic a dálnic ČR, 2016. Zprávač. Ú12133/2016/014.
- [28B] SVOBODA, J. a P. DRAŠNAR. *Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkouška solnou mlhou (ČSN EN ISO 9227)*. [Výzkumná zpráva] 2015. Zpráva č. Ú12133/2015/004.
- [29B] SVOBODA, J. et al. Inhibitory moření - méně známé efekty při jejich aplikaci. In: *Sborník přednášek 22.konference žárového zinkování*. Mikulov, 2016-10-18/2016-10-20. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2016. s. 32-35. ISBN 978-80-905298-5-4.
- [30B] SVOBODA, J. et al. Nátěrové hmoty s vysokou korozní odolností pro všeobecné využití. *Občasník Povrcháři*. 2016, 4-8. ISSN 1802-9833.
- [31B] SVOBODA, J. et al. Vady organických povlaků způsobené vodíkem. *Občasník Povrcháři*. 2015,(6), 8-9. ISSN 1802-9833.

- [32B] SZELAG, P. et al. Inhibitory moření a dŮsledky navodíkování oceli. In: 49. *Celostátní aktiv galvanizérů: Jihlava 2016 : sborník přednášek. Jihlava: Česká společnost pro povrchové úpravy, 2016.* 49. Celostátní aktiv galvanizérů: Jihlava 2016 : sborník přednášek., Jihlava, 2016-02-02/2016-02-03. Jihlava: Česká společnost pro povrchové úpravy, 2016. ISBN 978-80-905648-2-4.
- [33B] SVOBODA, J. a J. KUDLÁČEK. Vývoj nátěrových systémů s vysokou korozní odolností pro všeobecné použití. In: MORAVEC, J., ed. *Studentská tvůrčí činnost 2016. Konference studentské tvůrčí činnosti 2016, Praha, 2016-04-19. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2016.* ISBN 978-80-01-05929-6. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/proceedings.html>
- [34B] SVOBODA, J., J. KUDLÁČEK a V. KREIBICH. Development of coating systems with high corrosion resistance for general use. In: KUDLÁČEK, J., ed. *Technological forum 2016. Červenohorské sedlo, 2016-06-28/2016-06-30. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2016.* s. 129-133. ISBN 978-80-87583-17-3.
- [35B] SVOBODA, J. et al. *Vývoj nátěrových systémů s vysokou korozní odolností pro všeobecné použití.* [Výzkumná zpráva] Praha: ČVUT, Fakulta strojní, Ú 12133, 2015. Zpráva č. Ú12133-2015-WP2-1.
- [36B] ROJEK, P. a J. SVOBODA. Coating materials and corrosion testing. In: BENEŠOVÁ, D. et al., eds. *Technological forum 2015, 6th International Technical Conference, Book of Proceedings.* Technological forum 2015, 6th International Technical Conference, Kouty, 2015-06-23/2015-06-25. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2015. s. 120-124. ISBN 978-80-87583-13-5.
- [37B] KUDLÁČEK, J. et al. *Povlaky z nátěrových hmot se zvýšenou vodivostí.* [Výzkumná zpráva] Praha: ČVUT, Fakulta strojní, Ú 12133, 2014. Zpráva č. Ú12133-2014-CVPU-02.
- [38B] ZOUBEK, M. et al. Functional Coating Systems Based on Epoxy Resins. In: KUDLÁČEK, J. et al., eds. *Technological Forum 2014. 5th International Technical Conference Technological Forum 2014, Kouty, 2014-06-17/2014-06-19. Jaroměř: Ing. Jan Kudláček, 2014.* s. 71-76. ISBN 978-80-87583-10-4.

10. Seznam obrázků

Obr. 1: Snímek vrstvy: struktury vrstev sól – gel technologií, měřítko 500 nm [2]	14
Obr. 2: Ukázka při tvorbě vrstvy (Ti – Zr. produkt TecTalis), vpravo: snímek SEM - vzhled vrstvy TecTalis (Ti – Zr) a Zn – fosfát [2]	14
Obr. 3: Ukázka strojů a přípravků pro broušení a leštění [5], ukázka moderního robotického broušení – robot FANUC. [66]	16
Obr. 4: Druhy kartáčů – a) fibrový, b) drátěný s polétavými svazečky, c) s dlouhými svazečky, d) s vyměnitelnými svazečky, e) drátěné štětky [5]	17
Obr. 5: Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu při omílání [5]	18
Obr. 6: Různé způsoby omílání – a) odstředivé, b, c, d) rotační, e) vibrační [5]	19
Obr. 7: Dopad částice na povrch materiálu – a) šikmý dopad, b) rovnoběžný dopad s povrchem, c) kolmo k povrchu [5]	20
Obr. 8: Vlevo: Rozložení napětí v ocelích různé tvrdosti po tryskání (1 – HV<300, 2 – HV 350-600, 3 – HV>600), vpravo: Vliv teploty na změnu pnutí slitiny TiAl6V4 (1 – stav po tryskání, 2 – 350°C/30', 3 – 500°C/1 hodina, 4 – 500°C/30 hodin, 5 – 600°C/1 hodina [5]	21
Obr. 9: Vliv koncentrace lázní HCl a H ₂ SO ₄ na rychlost moření [5]	23
Obr. 10: Princip moření v kyselinách HCl a H ₂ SO ₄ [5]	24
Obr. 11: Důsledky atomárního vodíku na žárově pozinkovaném vzorku ponorem ve spojení s organickým nátěrovým systémem (vlastní snímky této práce)	25
Obr. 12: Jedna z prvních švédských konstrukcí s duplexním povlakem – Maják Pater Noster (v roce 1868 byl žárově pozinkován a následně byl aplikován nátěrový systém) [8]	27
Obr. 13: Vlevo: mikrotrhliny v nátěrovém systému vytvářejí na oceli předpoklady pro podkorodování a odlupování nátěrového systému. Vpravo: Mikrotrhliny se zaplní produkty zinku, jež mají menší objem než rez na oceli, a nezpůsobí ztrátu přilnavosti mezi systémy.[8]	27
Obr. 14: Synergický účinek obou povlaků, postupná degradace organického nátěru nemá za následek podkorodování, neboť je ocel chráněna zinkem na základním materiálu [9]	28
Obr. 15: Schéma mikrovrstev spoje [15]	30
Obr. 16: Schéma vrstev – působení adhezních a kohezních sil ve spoji [16]	31
Obr. 17: Princip měření kontaktního úhlu [19]	32
Obr. 18: Kontrola povrchového napětí polyetyleny [16]	33
Obr. 19: Použití chromátování při různých aplikacích [20]	36

Obr. 20: Vlevo: SEM snímek krystalů Scholzitu zinečnato – vápenatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystalů huréalitu manganatého fosfátu [22].	38
Obr. 21: Vlevo: SEM snímek amorfního železnatého fosfátu, Vpravo: SEM snímek krystalů hopeitu zinečnatého fosfátu [22].	39
Obr. 22: Projevující se náznak krystalické struktury povlaku. Krystaly jsou uspořádány do kulových útvarů o velikosti okolo 0,2 μm [23].	40
Obr. 23: (a) AFM (Atomic Force Microscopy) snímek povrchu s Ti/Zr/V konverzní vrstvou (TZVCC), (b) AFM snímek po chromátování (CCC), (c) povrch bez chemické předúpravy (AA6063), (d) graf s jednotlivými drsnostmi [26].	43
Obr. 24: Vlevo: SEM Snímek a ukázka povrchové morfologie jemnozrné vrstvy Bonderite NT1 (prostředek na bázi Ti-Zr) oproti železnatému fosfátování vpravo [27].	44
Obr. 25: Konverzní vrstva na slitině AA2024-T3 po 168 hodinách v solné mlze a) postup 1, b) postup 2, c) postup 3, d) postup 4, e) konverzní vrstva chromanu (Alodine 1200S), f) slitina bez konverzní vrstvy 291].	46
Obr. 26: Konverzní vrstva na slitině AA7075-T6 po 168 hodinách expozice v solné mlze a) postup 1, b) postup 2, c) postup 3, d) postup 4, e) konverzní vrstva chromanu (Alodine 1200S), f) slitina bez konverzní vrstvy [29].	46
Obr. 27: Tvorba vrstvy sůl – gel [2].	48
Obr. 28: Vznik pevné vazby organosilanu s vhodnou funkční skupinou k povrchu kovu s konverzní vrstvou [2].	49
Obr. 29: Hydrolytická reakce pomocí kyseliny [33].	50
Obr. 30: Hydrolytická reakce pomocí báze [33].	50
Obr. 31: Rozdíl v adhezi částice pigmentu nátěrové hmoty bez úpravy a upraveného silany [2].	51
Obr. 32: Čtyřhranné pravítko pro nanášení nátěrových hmot [62].	62
Obr. 33: Vytvořená lázeň pro odmašťování pomocí prostředku Simple Green (koncentrace 1:30).	67
Obr. 34: Tryskací zařízení PTZ 100.	84
Obr. 35: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 678 a nátěrový systém U 2218, odtrhové napětí okolo 13 MPa.	88
Obr. 36: Výsledky odtrhových zkoušek – SurTec 6069 a nátěrový systém H 15570, odtrhové napětí okolo 8 MPa	89

Obr. 37: 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.....	91
Obr. 38: Umístění zkušebních vzorků v solné komoře	95

11. Seznam tabulek

Tab. 1: Technologický postup odmaštění pomocí Simple Green	60
Tab. 2: Technologický postup fosfátování Pragofos 1920	64
Tab. 3: Technologický postup odmašťování Pragolod 57 N	65
Tab. 4: Tloušťka NS. S2318, H15570 – chemická předúprava fosf. Pragofos 1920	65
Tab. 5: Pragofos 1920 - NS.: S2318.....	65
Tab. 6: Pragofos 1920 - NS.: H 15570	65
Tab. 7: Parametry pasivační lázně při použití SurTec 678	66
Tab. 8: Technologický postup chromátování SurTec678.....	66
Tab. 9: Parametry alkalického odmaštění, produkt: Simple Green	67
Tab. 10: Surtec 678 - NS.: Zinorex (S2211).....	67
Tab. 11: Surtec 678 - NS: Axapur (U2218).....	68
Tab. 12: Technologický postup chromátování Novapass 201	69
Tab. 13: Parametry alkalického odmaštění, produkt: Star 75	69
Tab. 14: Novapass - NS.: S2318 EPAX	70
Tab. 15: Surtec 678 - NS: H 15570.....	70
Tab. 16: Parametry pasivační lázně při použití Interlox 5705, poměr chemických prostředků	71
Tab. 17: Parametry pasivační lázně při použití Interlox 5705 pro zinek.....	72
Tab. 18: Technologický postup pasivace Interlox 5705 na bázi Ti	72
Tab. 19: Interlox 5705 - NS.: Axapur (U2218)	72
Tab. 20: Interlox 5705 - NS.: Zinorex (S2211)	73
Tab. 21: Parametry pasivační lázně při použití Pragokor BP pro Zn.....	74
Tab. 22: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Pragokor BP	74
Tab. 23: Pragokor BP - NS.: Axapur (U2218).....	75
Tab. 24: Pragokor BP - NS.: Zinorex (S2211)	75
Tab. 25: Parametry pasivační lázně při použití SurTec 6096 V pro Zn	76
Tab. 26: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy SurTec 6096 V	76
Tab. 27: SurTec 6096 - NS.: H 15570.....	77
Tab. 28: SurTec 6096 - NS.: H 15553	77
Tab. 29: Parametry pasivační lázně při použití Coatosil MP200 pro Zn	78
Tab. 30: Technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Coatosil MP200.....	79
Tab. 31: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318.....	79

Tab. 32: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570.....	80
Tab. 33: modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn	81
Tab. 34: modifikovaný technologický postup pro vytvoření pasivační vrstvy Coatosil MP 200.....	81
Tab. 35: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: S 2318	82
Tab. 36: Modifikace: Coatosil MP 200 - NS.: H 15570	82
Tab. 37: Tloušťky povlaku žárového zinku ve srovnání s otryskaným povrchem	84
Tab. 38: Drsnost povlaku žárového zinku před a po aplikaci lehkého tryskání	85
Tab. 39: Výsledky zkoušek přilnavosti, Lehké tryskání – NS.: AXAPUR (U2218).....	85
Tab. 40: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu lehké tryskání – Zinorex (S2211)	86
Tab. 41: Parametry pasivační lázně při použití Coatosil MP200 pro Zn	90
Tab. 42: Modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn.....	91
Tab. 43: Závěrečné zhodnocení přilnavosti duplexních systému v kombinaci chemické a mechanické předúpravy povrchu a vybraného NS.....	92
Tab. 44: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS S 2318.....	100
Tab. 45: Coatosil MP200 / Ukázka vyhodnocení korozní odolnosti po expozici 864 hodinách v solné mlze: NS H 15570.....	100
Tab. 46: Pragofos 1920 / NS. S 2318, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]	102
Tab. 47: Pragofos 1920 / NS. H 15570, 240 hodin expozice v solné mlze dle normy ČSN EN ISO 9227 [48]	102
Tab. 48: Technologický postup pasivace – modifikace [20A].....	103
Tab. 49: modifikace parametrů pasivační lázně při použití Coatosil MP 200 pro Zn [20A]	103

12. Seznam grafů

Graf 1: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Pragofos 1920 – NS.: S2318, H15570.....	66
Graf 2: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Surtec 678 – NS.: Zinorex (S2211), (U2218)	68
Graf 3: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Novapass 201 – NS.: S 2318 EPAX, H 15570.....	71
Graf 4: Průměrné hodnoty odtrhového napětí: Chemická předúprava povrchu Interlox 5705 – NS.: U2218, Zinorex S2211.....	73
Graf 5: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Pragokor BP – NS. AXAPUR (U2218), Pragokor BP - NS.: Zinorex (S2211)	76
Graf 6: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu SurTec 6096 - NS.: H 15570, SurTec 6096 - NS.: H 15553	78
Graf 7: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Coatosil MP 200 - NS.: S 2318, Coatosil MP 200 - NS.: H 15570.....	80
Graf 8: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu Coatosil MP 200 - Modifikace: NS.: S 2318, Coatosil MP 200 - NS.: H 15570.....	83
Graf 9: Výsledná odtrhová napětí pro povrchovou předúpravu lehké tryskání Axapur (U2218), Zinorex (S2211)	86
Graf 10: Výsledné zhodnocení a porovnání zkoušek přílnavosti dle ČSN EN ISO 4624 pro jednotlivé systémy.....	93
Graf 11: Referenční hodnoty odtrhového napětí před expozicí v solné mlze a kondenzační komoře [MPa]	96
Graf 12: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v solné mlze - expozice 360 hodin	97
Graf 13: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v solné mlze - expozice 1000 hodin	99
Graf 14: Výsledné odtrhového napětí [MPa] po expozici v kondenzační komoře - expozice 1000 hodin	101

13. Seznam příloh

Elektronická příloha č. 1 (CD)