

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STROJNÍ



**FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI
KATAFORETICKÉHO POVLAKU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství
Studijní obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
Autor bakalářské práce:	Jan Barborka
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Kamil Hylák

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Barborka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **466545**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Fyzikální vlastnosti kataforetického povlaku

Název bakalářské práce anglicky:

Fyzical properties cataphoresis layers

Pokyny pro vypracování:

Chemické složení kationických nátěrových hmot
Teorie polymerizace kataforetického povlaku
Ověření mechanických vlastností

Seznam doporučené literatury:

- 1) Kalendová, Andrea : Technologie nátěrových hmot I. : pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot, Univerzita Pardubice 2004
- 2) KALENDOVÁ, Andrea: Technologie nátěrových hmot II.: povrchové úpravy a způsoby předúpravy materiálů. Univerzita Pardubice 2004

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Kamil Hylák, ústav strojírenské technologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

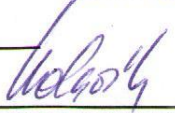
Ing. Jan Kudláček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Kamil Hylák
podpis vedoucí(ho) práce

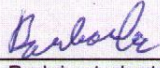

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

15.6.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Fyzikální vlastnosti kataforetického povlaku vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

V Praze dne 17.07.2020

.....
Jan Barborka

ANOTACE

Autor: Jan Barborka

Název: Fyzikální vlastnosti kataforetického povlaku

Rozsah: Počet stran: 79
Počet obrázků: 50
Počet tabulek: 9

Akademický rok: 2019/2020

Obor studia: Technologie, materiály a ekonomika ve strojírenství

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Hylák

Zadavatel: Fakulta strojní ČVUT v Praze

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá kataforetickým lakováním, jeho principem, využitím a technologiemi s ním úzce souvisejícími, jako je například fosfátování. Navazuje na práci, jež se zabývala hromadným kataforetickým lakováním, neboť při ní vyvstaly nové otázky týkající se mechanické odolnosti naneseného povlaku před jeho polymerací. V praktické části jsou hodnoceny fyzikálně-mechanické vlastnosti kataforetického povlaku v závislosti na použité předúpravě základního materiálu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kataforetické povlaky; fyzikální a mechanické vlastnosti kataforetických povlaků; princip kataforezy; předúpravy užívané před vlastní aplikací kataforetických povlaků

ANNOTATION

Author:	Jan Barborka
Topic:	Physical properties of cataphoretic coating
Summary:	Pages: 79
	Pictures: 50
	Tables: 9
Academic year:	2019/2020
Field of study:	Production and Economics in Mechanical Engineering
Thesis supervisor:	Ing. Kamil Hylák
Authority:	Fakulta strojní ČVUT v Praze

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with cataphoretic coating, its principle, use and related technologies. Follows up thesis about mass cataphoretic coating in which new questions arose about mechanical resistance of cataphoretic coating before polymerization. The practical part evaluates physical-mechanical properties of cataphoretic coating depending on the pretreatment of the base material used.

KEYWORDS

Cataphoretic coatings; physical and mechanical properties of cataphoretic coatings; principle of cataphoresis; pretreatments used before application of cataphoretic coatings

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu této práce panu Ing. Kamilu Hylákovi za odborné rady a vedení práce, stejně jako za jeho ochotu a pomoc při praktické části. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Janu Kudláčkovi Ph.D. za konzultace a odborné rady. Děkuji také Ústavu strojírenské technologie, Fakulty strojní ČVUT v Praze za poskytnutí potřebného zázemí a firmě MEGA-TEC s.r.o. za poskytnutí kationické nátěrové hmoty.

Obsah

1	ÚVOD.....	9
2	PROTIKOROZNÍ OCHRANA.....	10
3	POVRCHOVÉ ÚPRAVY	11
3.1	Předúpravy povrchu.....	11
3.1.1	Mechanické předúpravy.....	11
3.1.2	Chemické předúpravy	12
3.2	Povlaky	13
3.2.1	Organické.....	13
3.2.2	Anorganické.....	14
3.2.3	Kovové.....	14
4	ÚPRAVY POUŽÍVANÉ PŘED KATAFORETICKÝM LAKOVÁNÍM	16
4.1	Zinkování	16
4.1.1	Galvanické zinkování.....	16
4.1.2	Žárové zinkování	16
4.1.3	Hromadný způsob ponorového zinkování	17
4.2	Fosfátování	18
4.2.1	Zinečnaté fosfátování.....	18
4.2.2	Železnaté fosfátování.....	18
4.3	Konverzní vrstvy na bázi organosilanu.....	19
5	KATAFORETICKÉ LAKOVÁNÍ.....	21
5.1	Teorie kataforézy.....	23
5.1.1	Elektroosmotická teorie kataforézy.....	23
5.1.2	Iontová teorie kataforézy	24
5.2	Chemické složení kationických nátěrových hmot.....	25
5.2.1	Epoxidové pryskyřice	25

5.2.2	Výrobní suroviny epoxidových pryskyřic.....	27
5.2.3	Pigmenty	28
5.2.4	Plniva.....	30
5.2.5	Ředidla a rozpouštědla.....	30
5.3	Polymerizace kataforetického povlaku	32
5.3.1	Princip polymerizace.....	32
5.3.2	Polymery	33
5.3.3	Sítování.....	35
5.3.4	Polymerizace kataforézního povlaku	36
5.3.5	Chemické vytvrzování	36
6	PRAKTICKÁ ČÁST – OVĚŘENÍ FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KATAFORETICKÉHO POVLAKU	38
6.1	Úvod a plán experimentu.....	38
6.2	Přístroje použité v praktické části	39
6.3	Zkoušky mechanických vlastností.....	43
6.4	Zkoušené vzorky	46
6.5	Závěr.....	69
7	Seznam použité literatury	72
8	Seznam použitých obrázků	76
9	Seznam použitých tabulek.....	78

1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá ověřením mechanických vlastností naneseného kataforetického povlaku na rozdílných površích zejména před samotným vytvrzením v peci. Vzhledem k tomu, že se jedná o moderní, ekologickou, a tedy velice perspektivní a používanou technologii, je požadován vysoký stupeň automatizace i u menších výrobků. K hromadnému lakování drobných dílů se využívá automatizované dopravy z lakovací linky na polymerizační rošty, kde roste riziko poškození nepolymerizovaného povlaku. Při automatizované dopravě může docházet k otěru nebo jinému mechanickému poškození naneseného kataforetického povlaku. Cílem této práce je zjistit fyzikálně-mechanické vlastnosti nevytvrzeného kataforetického povlaku na různých podkladech, které se mohou v průmyslu vyskytovat.

2 PROTIKOROZNÍ OCHRANA

Koroze je chápána jako nevratný, znehodnocující proces, který probíhá za působení chemických a fyzikálně-chemických vlivů okolního prostředí. Koroze způsobuje významné materiální škody, které bývají odhadovány na 1-2 % hrubého produktu vyspělých zemí. Proto je třeba výrobky podléhající korozi chránit. Ochrana proti korozi začíná už u návrhu konstrukčního řešení či volby materiálu. Mezi hlavní způsoby antikorozní ochrany jsou řazeny faktory jako volba vhodného materiálu, vhodné konstrukční řešení, technologie výroby, úprava korozního prostředí, elektrochemická ochrana a povrchové úpravy. Povrchovým úpravám je tato práce zejména věnována, neboť právě mezi ně patří mimo jiné i kataforézní lakování (KTL).

[1]

3 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

Úpravy povrchu sestávají z předúprav povrchu a následného nanesení ochranných povlaků či vrstev.

3.1 Předúpravy povrchu

Aby bylo možné dosáhnout požadované kvality ochranných vrstev, jsou zpravidla nezbytné předúpravy samotného základního materiálu. Ať už se jedná o očištění či úpravu drsnosti na požadované hodnoty. Předúpravy dělíme na mechanické a chemické. [1]

3.1.1 Mechanické předúpravy

3.1.1.1 Broušení

Jedná se o jemné obrábění mnohabřítými nástroji, kdy je původnímu povrchu postupně snižována drsnost na požadované hodnoty, které se pohybují mezi Ra 1,6 až 0,2 μm . Užívá se brusných kotoučů a nástrojů stmelovaných do kompaktního celku, ale i volných brusiv. Řezné rychlosti jsou poměrně vysoké, obvykle mezi 20 až 50 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. [1]

3.1.1.2 Leštění

Leštění je nejjemnější dokončovací operace, užívá se v případech, kdy je požadována velice nízká drsnost – pod Ra 0,1 μm . Obvodové rychlosti leštění bývají o něco nižší než u broušení, zpravidla do 40 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. U hrubšího leštění se používají nástroje s tvrdší látkou, mastnější a ostřejší pasty a vyšší obvodové rychlosti. Pro jemnější leštění naopak měkčí kotouče, sušší pasty a nižší obvodové rychlosti. [1]

3.1.1.3 Omílání

Omílání dokáže zastat funkci broušení i leštění, používá se k odstranění otřepů, sražení ostrých hran, odmaštění či odstranění okují. Je proto velice univerzální. Používá se zejména pro hromadnou výrobu menších dílů. Omílací stroje mohou být vibrační, odstředivé nebo rotační. Proces zpravidla zajišťují omílací tělíska z kovu či umělého

korundu v kombinaci s chemickou nebo olejovou lázní zabraňující korozi nebo naopak napomáhající odmaštění a očištění. [1]

3.1.1.4 Tryskání

Principem je vrhání či metání drobných zrn proti otryskávanému materiálu. Tato technologie je vhodná pro zbavování materiálu koroze, okují, nežádoucích vrstev nátěrů nebo k dosažení vhodné drsnosti zejména u rozměrných konstrukcí, fasád budov či hutních výrobků. Kinetická energie může být tělískům udělována za pomoci stlačeného vzduchu nebo metacími koly. Mezi moderní zařízení patří mobilní tryskací zařízení s rekuperací abraziva. Jako abrazivo bývá používán křemičitý písek, mletý korund, skleněné kuličky nebo ocelová drť. [1][7]

3.1.2 Chemické předúpravy

Používají se k odstraňování nečistot ať už cizích nebo vlastních a většinou před dalšími úpravami. Nečistoty cizí jsou k povrchu vázány adhezní vazbou. Jedná se o zbytky maziv, chladicích kapalin a olejů, past užívaných při broušení nebo prach. Naopak nečistoty vlastní jsou vázány chemickou vazbou a jedná se zpravidla o okuje vzniklé při předchozím tepelném zpracování nebo rez vzniklou působením okolní atmosféry.

3.1.2.1 Odmašťování

Lze provádět v organických rozpouštědlech, vodných alkalických roztocích nebo tenzidovými prostředky. Organická rozpouštědla se vyznačují jednoduchostí a dobrými čistícími vlastnostmi. Jejich nevýhodou je zejména značná ekologická zátěž vznikající při jejich použití a likvidaci. Navíc jsou často hořlavá nebo použitelná jen pro hrubější předčištění, například petrolej. Alkalická rozpouštědla působí na nečistoty dispergací a emulgací čili nečistoty rozpouští a uvolňuje do samotného roztoku. Tato technologie není vhodná pro členité výrobky z důvodu zatékání a následného špatného vysychání kapaliny, která může působit korozi a další defekty. Odmašťování v alkalických rozpouštědlech lze zintenzivnit působením elektrického proudu. Tenzidy jsou povrchově aktivní látky, které snižují povrchové napětí a tím usnadňují odloučení mastných nečistot z povrchu. Molekuly tenzidů mají hydrofilní a hydrofobní část. Hydrofobní se přichytí na

povrch nečistoty a hydrofilní je orientována do vodného roztoku. Tak je docíleno snížení povrchového napětí a odloučení nečistoty z povrchu. [1] [2]

3.1.2.2 Moření

Jedná se o odstraňování korozních produktů vzniklých ať při tepelném zpracování (okují) nebo atmosférickou korozi rozpouštěním v kyselinách. Nejvíce užívané jsou kyselina chlorovodíková a sírová. Méně často se vyskytuje užívání kyseliny fluorovodíkové či dusičné. Odstraňování atmosférické koroze je podstatně snazší než odstraňování okují, zejména okují vzniklých na legovaných ocelích. To je někdy tak obtížné, že na ně kyseliny nestačí, a je nutné využít alkalických tavenin. [1]

3.1.2.3 Leštění

Chemické nebo elektrochemické leštění probíhá v leštících lázních. U elektrochemického leštění je leštěný výrobek zapojen jako anoda a vyčnívající vrcholky povrchu jsou intenzivněji odleptávány než prohlubně, a to z důvodu vyšší koncentrace proudokřivek. Tím je dosaženo povrchu, který vykazuje lepší lesk a pohledové vlastnosti než povrch leštěný mechanicky. Celý proces je navíc efektivnější.

3.2 Povlaky

3.2.1 Organické

Organické povlaky a nátěry poskytují hlavně bariérovou a inhibiční ochranu. Vyskytují se v podobě nátěrových hmot nebo plastů.

3.2.1.1 Nátěrové hmoty

Mají za úkol tvořit ochranný film, jejich konzistence je tekutá až pastovitá. Jedná se o nejjednodušší a dříve jistě i nejpoužívanější technologii ošetření povrchu. Základními složkami jsou pigmenty, filmotvorné složky, plnidla, rozpouštědla

a ředidla. Pigmenty mohou být inhibiční – zabraňující korozi, neutrální a stimulující – mají urychlující vliv při tvorbě koroze. Druhů filmotvorných složek je velké množství, obecně se jedná o látky netěkavé, schopné tvořit tuhý souvislý film. Mohou to být oleje, pryskyřice, asfalty, kaučuky atd. Rozpouštědla a ředidla čili těkavé látky umožňují udržení tekuté nebo pastové konzistence před a během nanášení. Poté je žádoucí jejich úplné vytěkání, neboť zbytky rozpouštědel či ředidel mohou mít negativní vliv na životnost nátěru. Mezi běžná rozpouštědla patří aceton, toluen a etylalkohol.

3.2.2 Anorganické

3.2.2.1 Konverzní vrstvy

Vytvářejí se přeměnou základního materiálu za pomoci elektrochemických nebo jen chemických reakcí. Jedná se o cíleně tvořené povlaky oxidů, chromanů a fosforečnanů.

Mezi některé používané oxidické povlaky patří alkalické černění oceli a eloxované povlaky na hliníku a jeho slitinách. Oxidace hliníku zajišťuje tvorbu odolných antikoročních povlaků, jako je oxid hlinitý. Výrobek je zapojen jako anoda v roztoku kyseliny a dochází na něm k oxidaci. Používá se zejména kyselina sírová, méně pak šťavelová nebo chromová. Teplota lázně bývá mezi 15-20 °C a doba trvání 20 až 30 minut. Lze dosahovat matných i lesklých povrchů v závislosti na předúpravě a širokého spektra odstínů, díky možnosti přidávání barviv. Oxidické povlaky zvyšují i tvrdost povrchu a tím i jeho odolnost.

Mezi další důležité konverzní vrstvy patří fosfátování a chromátování. Jelikož fosfátování je běžně užívaná metoda před KTL, dovolil jsem si mu věnovat celou samostatnou kapitolu. Chromátování je velmi rozšířený způsob pasivace a slouží ke zvýšení korozní odolnosti a lepší přilnavosti nátěrů.

3.2.3 Kovové

Ačkoliv kovové povlaky spadají pod povlaky anorganické, představují významný druh, a proto je člením samostatně. Ochranné kovové povlaky lze rozdělit podle

elektrického potenciálu na katodické a anodické. Pokud je ochranný materiál takzvaně ušlechtilější čili má kladnější elektrický potenciál než základní materiál, jedná se o povlak katodický. Nejčastěji používané katodické povlaky jsou povlaky chromu, mědi a niklu. Pokud má povlaková vrstva zápornější elektrický potenciál, jedná se o povlak anodický. Zde je jednoznačně nejpoužívanějším prvkem zinek. Za nulový potenciál je brán potenciál elektrody vodíku. Názorným sestavením kovů podle ušlechtilosti je Beketovova řada, kde vodík dělí vlevo stojící neušlechtilé kovy od vpravo stojících kovů ušlechtilých.

Tabulka 1 – Řada vybraných kovů podle ušlechtilosti [1]

Mg	Al	Ti	Mn	Zn	Cr	Fe	Cd	Co
Ni	Sn	Pb	H	Cu	Ag	Pt	Au	

[1] [8]

3.2.3.1 Chemické pokovování

Využívá pouze rozdíl elektrického potenciálu kovů nebo redukce s pomocí redukčního činidla. Touto technologií jdou vylučovat téměř všechny kovy. Výhodami jsou jednoduchost a možnost pokovení uvnitř dutin. Nevýhody však spočívají v nutnosti doplňování či výměny lázní, které se časem vyčerpají, a nízké vylučovací rychlosti.

3.2.3.2 Žárové pokovování

Roztavený kov je nanášen máčením v lázních nebo stříkáním za pomoci stlačeného vzduchu. U žárového stříkání kovu je kov přiváděn v podobě drátu do speciální pistole, kde je natavován hořlavým plynem a rozstříkován proudem stlačeného vzduchu. Hořlavou směs tvoří obvykle kyslík a acetylen. Jde o jednoduchou, levnou a účinnou metodu, která se těší značné oblibě. Při pokovování máčením se očištěné předměty obalené tavidlem noří do roztavené kovové lázně. Běžně se pro máčení používá zinek, hliník, cín a slitiny olova, zatímco stříkáním lze nanášet podstatně širší spektrum materiálů.

4 ÚPRAVY POUŽÍVANÉ PŘED KATAFORETICKÝM LAKOVÁNÍM

4.1 Zinkování

4.1.1 Galvanické zinkování

Jde o elektrolytický děj, kdy je na kovovou součást zapojenou jako katodu vyloučen povlak zinku, který se do lázně uvolňuje rozpouštěním anody. Využívá se principu elektrolýzy, kdy dochází k disociaci molekul v ionty. Ty se dělí na kladné (kationty) a záporné (anionty). Tím dochází k rozdílu elektrického potenciálu a roztoku je umožněno vést elektrický proud. Pokud je do roztoku zaveden stejnosměrný proud, dochází k vylučování záporně nabitých iontů na kladné elektrodě (anoda) a naopak iontů kladných na elektrodě záporné (katoda). Na anodě tak dochází k odevzdávání elektronů a oxidaci. Na katodě naopak dochází k redukci kladně nabitých iontů čili jsou elektrony přejímány, a přitom dochází k vytváření tenké vrstvy povlakového zinku na katodě a úměrnému úbytku zinku na anodě. K probíhání procesu je nezbytný obsah zinečnaté soli v roztoku, jejíž koncentrace by v případě použití nerozpustné anody klesala, až by se proces zastavil. V praxi je však využíváno rozpustných anod zinku, jenž je posléze vylučován. Tím pádem nedochází v průběhu procesu ke změně koncentrace zinečnaté soli v lázni. Lázně mohou být kyanidové, alkalické nebo kyselé. [1] [9] [10]

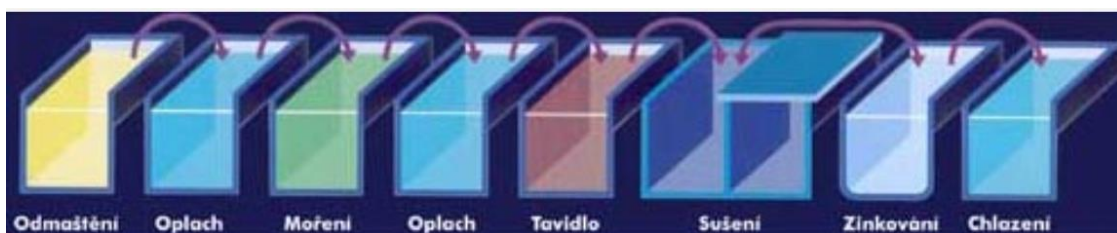
4.1.2 Žárové zinkování

Jedná se o proces pokovení, kdy je výrobek určený k pokovování ponořen do lázně roztaveného zinku. Dělí se na suchý a mokrý způsob podle způsobu aplikace tavidla.

Mokrý způsob – polovina lázně je pokryta tekutým tavidlem a druhá polovina je bez tavidla. Výrobek ponoříme do lázně v části s tavidlem a vytáhneme jej v části bez tavidla. [1]

Suchý způsob – nejprve je odmaštěný a namořený výrobek ponořen do tavidla, a to je následně usušeno v peci. Pak teprve následuje zinkování v lázni o teplotě 440-470 °C.

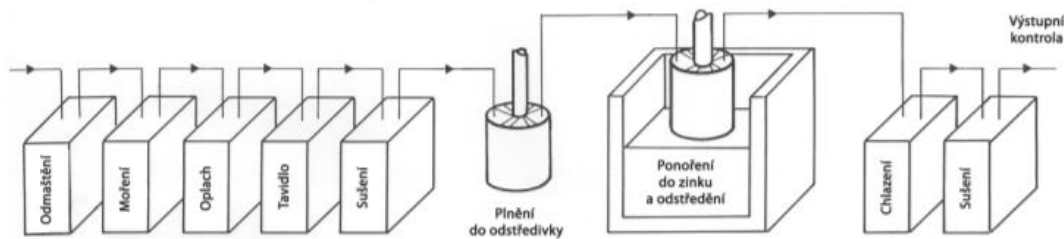
Teplota 470 °C je pro technologii žárového zinkování v ocelových vanách důležitá, neboť při dosažení 480 °C dochází k rozpouštění železa v zinku, což způsobí výrazné snížení životnosti vany i znečištění lázně. Doba ponoření v zinkovací lázni je závislá hlavně na tloušťce zinkovaného materiálu a tvarové složitosti výrobku. Obvykle jde o 30-60 s na 1 mm tloušťky materiálu. Mezi hlavní výhody patří nízké pořizovací náklady, trvanlivost povlaku, pevně definovaný a neměnný technologický postup, který tak nedává velký prostor pro vznik chyb. [1] [11]



Obrázek 1 – Technologický postup žárového zinkování máčením – suchý způsob [11]

4.1.3 Hromadný způsob ponorového zinkování

Tato technologie se používá pro vytváření zinkového povlaku u drobných dílů, jako jsou například hřebíky, šrouby, matice, podložky nebo kování. Stejně jako u jiných metod zinkování se výrobky nejprve odmastí, odmoří, a po oplachu jsou vnořeny do tavidla. To je následně vysušeno v peci a díly jsou buď hromadně vsypány do košů, které dále putují do zinkovací lázně a pak do odstředivky, nebo jsou zinkovány rovnou v bubnu odstředivky, která po vytažení z lázně rotuje přímo nad lázní, a tím odvádí přebytečný zinek zpět do lázně. Odstředění probíhá při otáčkách okolo 800 ot./min. Nanesený povlak je po odstředění hladký a rovnoměrný. Teplota lázně je vysoká – v rozmezí 540 až 560 °C. Vrstva zinku je tenčí a matnější než u kusového zinkování prováděného při nižších teplotách. [37]



Obrázek 2 - Technologie hromadného odstředivého zinkování [37]

4.2 Fosfátování

Fosfátování představuje jednoduchou a levnou technologii vytváření konverzní vrstvy za účelem ochrany proti korozi a vytvoření vrstvy s požadovanou porozitou, na kterou se následně aplikují nátěry nebo vrstvy maziv. V kombinaci s mazivy se hojně využívá při tváření, zejména tažení drátu a hluboké tažení. Vrstva se vytváří vylučováním terciárních fosforečnanů zinku, manganu a železa. [1] [4]

4.2.1 Zinečnaté fosfátování

Zinečnaté fosfátování je nejpoužívanější technologií fosfátování. Dosahuje ve srovnání s železnatým a manganatým fosfátováním lepší antikorozi ochrany a je nejvhodnější pro nanášení vrstev laků. Tloušťka fosfátové vrstvy obvykle dosahuje 1-7 μm . Povlak je vždy krystalový a má tmavě-šedou až černou barvu. Lázně zinečnatého fosfátování obsahují různé urychlovače, katalyzátory a povrchově aktivní látky, které usnadňují a urychlují tvorbu povlaku. Samotný proces fosfátování v lázni obvykle probíhá při teplotách v rozmezí 40-70 $^{\circ}\text{C}$ a trvá 3-10 minut. Díky vyšší tvrdosti a větší tloušťce, než má například povlak železnatý, lze zinečnatý fosfát využívat i na materiály určené k elektrické izolaci. [4]

4.2.2 Železnaté fosfátování

Hlavními výhodami železnatého fosfátování jsou jeho cena a nenáročnost. Jedná se o velice levnou technologii, která bohužel dosahuje pouze malé tloušťky – obvykle kolem

300 nm, maximálně do 1 μm a pouze nízké korozní odolnosti. Z toho důvodu se využívá hlavně u produktů, u kterých se nepředpokládá vystavení agresivnímu koroznímu prostředí – například u domácích spotřebičů. Proces probíhá v lázni při teplotě mezi 60 a 70 $^{\circ}\text{C}$ po dobu zhruba 5 minut. [4]

4.3 Konverzní vrstvy na bázi organosilanu

Monomerní sloučeniny pro výrobu organosilanů jsou silany. Chemický vzorec silanu – SiH_4 . Sloučenina je podobná methanu s tím, že atom uhlíku je nahrazen křemíkem. Běžně se vyskytuje v plynném skupenství a je hořlavý. Mezi vodíkovými a křemíkovými atomy je kovalentní vazba. Silany jsou vyráběny metalurgicky z křemíku.

Následná příprava organosilanů probíhá:

- 1) Přímoú syntézou přes methylchlorsilany za teplot 200 až 300 $^{\circ}\text{C}$ s použitím katalyzátorů (např. měď) při vysokém tlaku – až 5 barů.
- 2) Chlorací křemíku a následnou substitucí atomů chloru organickými skupinami – tzv. Grignardova syntéza
- 3) Adicí silanů na produkty s dvojnou a trojnou vazbou pomocí amino a vinyl skupin – tzv. hydrosilylace

Díky své struktuře s obsahem křemíku fungují organosilany jako adhezní nebo kondenzační činidla. Dělí se reaktivní a nereaktivní. Reaktivní organosilany obsahují reaktivní aminofunkční skupiny schopné vytvářet se skupinami obsahujícími vodík vodíkové vazby.

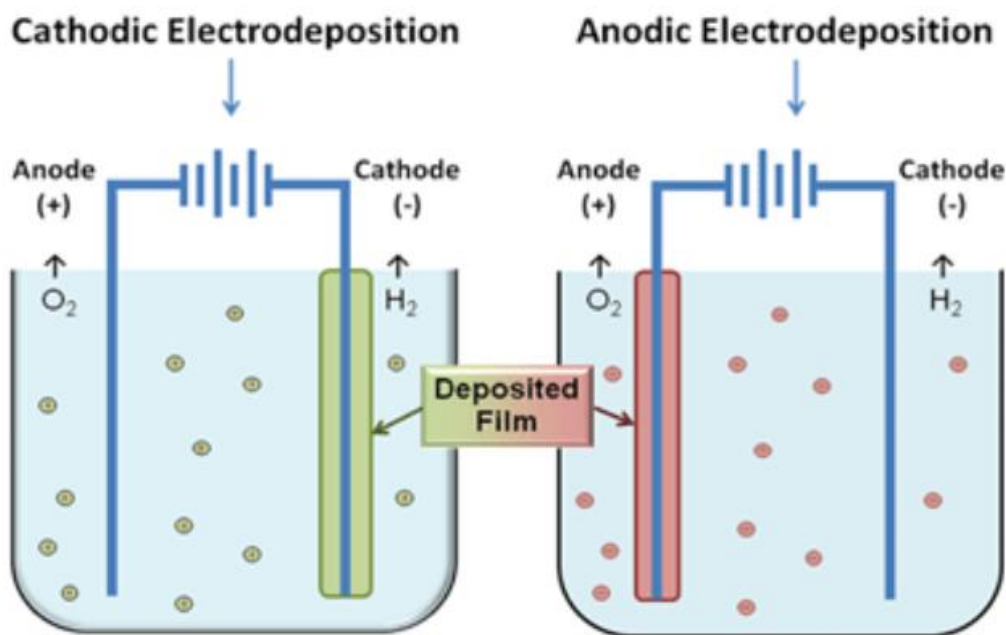
Nereaktivní organosilany nachází využití zejména jako hydrofobní úprava plniv a prášků, při výrobě pryskyřic a pryží nebo pouze jako ochrana povrchu proti vodě.

Mezi reaktivní organosilany patří například Aminoethylaminopropyltriethoxysilan, který je významným adhezním činidlem vhodným na aplikaci mezi anorganickou a organickou vrstvou. Stejně jako většina organosilanů se jedná o bezbarvou čirou

kapalinu dobře mísitelnou s vodou. Další reaktivní organosilany jsou používány jako adhezní činidla do různých plastů, lepidel či pigmentů. [38]

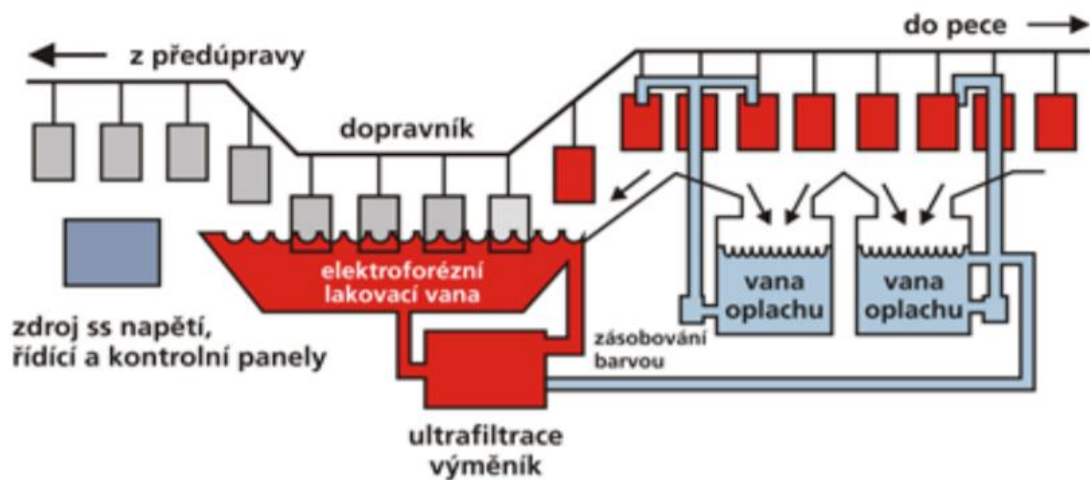
5 KATAFORETICKÉ LAKOVÁNÍ

Kataforetické lakování (KTL) je poddruh elektrochemického nanášení organických nátěrových hmot tzv. elektroforézy. Elektroforéza se dělí se podle zapojení výrobku na anodickou a katodickou – kataforézu, která je používanější. Používá se na ocelové, pozinkované a hliníkové součásti. KTL lze použít jako základní i finální povrchovou úpravu. Zpravidla jí ale předchází zinečnaté fosfátování a následuje nanášení organických povlaků a laků. Mezi hlavní výhody kataforézy patří její ekologičnost a hospodárnost, vynikající přilnavost a klimatická odolnost při tenké vrstvě povlaku, což z ní dělá velice moderní a žádanou technologii. Ekologická je zejména proto, že kataforetická lázeň obsahuje velmi málo organických rozpouštědel (cca 2 %), a tudíž výrazně neznečišťuje odpadní vody. Vysoká hospodárnost vyplývá z nízkých ztrát nátěrových hmot, kdy prakticky nedochází k odkapu nebo rozstříku, jak tomu bývá u jiných technologiích nanášení nátěrových hmot. Využití barvy je tak téměř 100 %. Mezi další výhody patří vysoká možnost automatizace, korozní a mechanická odolnost a z principu plynoucí rovnoměrnost nanesené vrstvy i na okrajích či těžko přístupných místech. Proces nanášení je navíc velmi rychlý. Řádově desítky až stovky vteřin. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

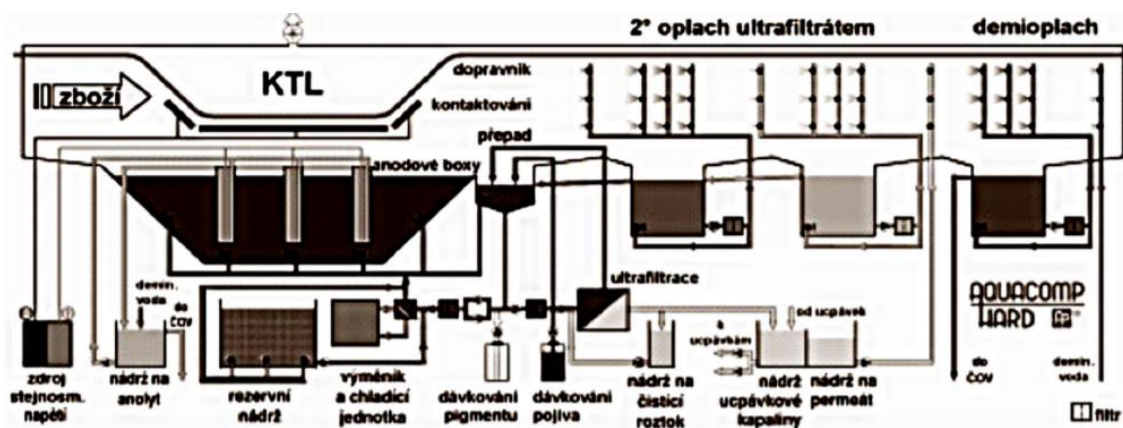


Obrázek 3 – Katodické a anodické povlakování [12]

Typický systém elektroforézy



Obrázek 4 – Systém elektroforézy [21]



Obrázek 5 – Kataforézní uzel [21]

[3] [5] [6] [20] [21]

Princip kataforetického lakování

Jedná se o kataforetické, nikoli anaforetické lakování, proto je výrobek zapojen jako katoda a ponořen v lázni. Lázni prochází stejnosměrný elektrický proud, jenž vytváří elektrické pole, které usměrňuje proud kationtů ke katodě. To má za následek vylučování hydroxylových iontů na povrchu výrobku a nárůst tloušťky nanesené vrstvy. S rostoucí tloušťkou vzrůstá elektrický odpor a elektrické silové pole se tedy přesouvá na části

povrchu, které ještě nejsou pokryty tak silnou vrstvou (zpravidla rohy, špatně přístupné části), čímž dochází k vytvoření rovnoměrné tloušťky laku na celém povrchu výrobku. Ve chvíli, kdy tloušťka a tedy i el. odpor dosáhnou určitých hodnot, proces se zastaví. Obvykle je dosahováno tloušťky 15-35 μm , ve speciálních případech až 45 μm . Lázeň sestává z kationické nátěrové hmoty na bázi epoxidů, pigmentu, rozpouštědla a regulátoru pH. Vše je rozpuštěno a rozmícháno v demineralizované vodě. Po dokončení procesu se produkt vytáhne z lázně, přebytečná barva opláchne v demineralizované vodě a následně je výrobek vložen do pece. V peci dochází k polymerizaci a vytvrzení. Obvykle se k vytvrzení používají teploty v rozmezí 160-200°C. [5] [6] [12]

5.1 Teorie kataforézy

Kataforéza nebo obecněji elektroforéza představuje pohyb suspendovaných částic v roztoku působením elektrické síly ve směru elektrického pole ve smyslu určeném znaménkem náboje na částicích. Tyto částice mohou být jak anionty a kationty v KTL lázni, ale stejně tak tuhé částice v koloidních roztocích či suspenzích.

5.1.1 Elektroosmotická teorie kataforézy

Elektroosmóza neboli elektroosmotický tok nebo také kapilární elektroforéza je jev, kdy při vložení elektrického pole dojde k toku kapaliny v kapiláře v důsledku existence náboje na vnitřní stěně kapiláry. To je způsobeno tím, že je v kapalině obsažena elektrická dvojvrstva, z níž je jedna část pevně přichycena ke stěně kapiláry, zatímco druhá část, ačkoliv přiléhá k části první, je poměrně snadno odtrhnutelná. Tato druhá vrstva obsahuje hydratované ionty, které jsou elektrickou silou uvedeny do pohybu, a tím vznikne třecí síla mezi těmito hydratovanými ionty a ionty a molekulami vody, které jsou v jejich okolí. Tato třecí síla a snižuje relativní rychlost hydratovaných iontů proti vodě a uvádí vodu do pohybu vůči stěně kapiláry. Relativní rychlost hydratovaných iontů oproti stěně kapiláry je však vždy vyšší než relativní rychlost vody oproti stěně kapiláry. Tím vznikne v blízkosti stěny kapiláry spád rychlosti vody. Vrstva, v níž se spád rychlosti

nachází, je však velice tenká i ve srovnání s kapilárou. Tudíž prakticky celým průměrem kapiláry proudí roztok maximální rychlostí směrem ke katodě.

Pohyb částic pevné fáze suspenze ve fázi kapalné lze vysvětlit podobně jako při elektroosmóze. Na rozhraní pevné a kapalné fáze se také nachází elektrická dvojvrstva, jejíž jedna část se nachází v kapalinovém povlaku pevně lpícím na povrchu částice pevné fáze a druhá je v přiléhající vrstvě obsažené ve fázi kapalné. Ve chvíli, kdy se tuhá fáze nemůže volně hýbat, je do pohybu uváděna elektricky nabitá vrstva kapaliny tangenciální složkou elektrické síly, a ta s sebou strhává další přilehlou kapalinu. Ve chvíli, kdy se však suspendované částice pevné fáze pohybovat mohou, jsou samy urychlovány a kapalina je v klidu. [13]

5.1.2 Iontová teorie kataforézy

Na kataforézu lze nahlížet také z pohledu iontové teorie roztoků, kdy suspendované částice považujeme za molekuly elektrolytu vysoké molekulové váhy. Ty pak disociují na ion vysokého mocenství a přidružené elektrolytické ionty, které nesou stejně velký elektrický náboj opačného znaménka. Na putující částice pevné fáze suspendované v kapalné fázi za působení elektrického pole nahlížíme jako na elektrolytické ionty za průchodu elektřiny v roztoku elektrolytů. Na elektrický náboj iontu působí v elektrickém poli elektrická síla, jejíž velikost je dána součinem velikosti elektrického náboje a velikosti elektrického pole. Tato síla urychluje ion, který je současně brzděn pohybem vznikající třecí silou v kapalném prostředí. Ion je v tuto chvíli uvažován jako koule o daném poloměru s odpovídajícím odporem v daném prostředí, který definuje Stokesův výraz pro odpor koule v kapalině. Třecí síla je přímo úměrná rychlosti iontu. Po zapojení elektrického pole dochází záhy k dosažení ustáleného stavu. Pohyblivost iontu je přímo úměrná mocenství a nepřímo úměrná jeho poloměru. [13]

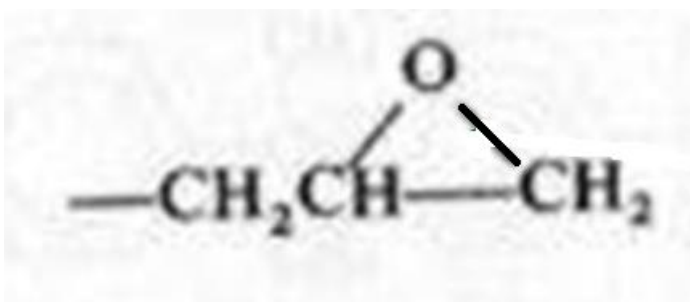
5.2 Chemické složení kationických nátěrových hmot

Kationické nátěrové hmoty jsou nejčastěji na bázi epoxidů, případně akrylátů, které plní funkci pojiva. Dalšími nezbytnými složkami jsou pigmenty, které dodávají nátěrové hmotě barvu, lesk a protikorozi ochranu. Třetí nutnou složkou jsou ředidla a rozpouštědla, která zajišťují vhodné vlastnosti pro aplikaci nátěrových hmot.

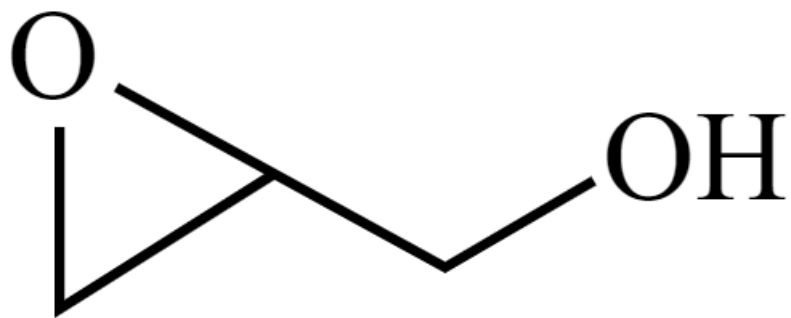
5.2.1 Epoxidové pryskyřice

K jejich rozvoji začalo docházet až po 2. světové válce. Epoxidové pryskyřice jsou de-facto reaktoplasty neboli látky, u kterých vlivem přidání tvrdidel a působení tepla dojde k nevratnému vytvrzení, tzv. síťování. Vytvoří se prostorová síť, kterou již nelze zrušit. Vytvrzený reaktoplast je tak zpětně nerozpustný a netavitelný. Samotné epoxidové pryskyřice nejsou z reaktoplastů nejrozšířenější, zejména kvůli své vysoké ceně. Naproti tomu nabízejí vynikající vlastnosti, jako je výborná adheze, elektroizolace, chemická odolnost a minimální smršťivost při vytvrzování. Používají se jako lepidla, tmely, práškové barvy a nejvíce jako tekuté ochranné nátěrové hmoty. Přidáním skleněných, borových či uhlíkových vláken lze vyrobit lamináty (kompozitní materiály). Epoxidové pryskyřice lze rozdělit na dva typy.

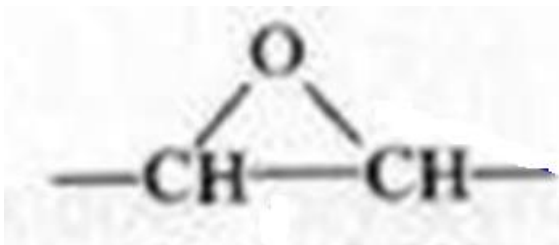
Obsahující glycidilové skupiny, které vznikají reakcí epichlorhydrinu a difunkční sloučeniny – bisfenoly, aromatické aminy atd.



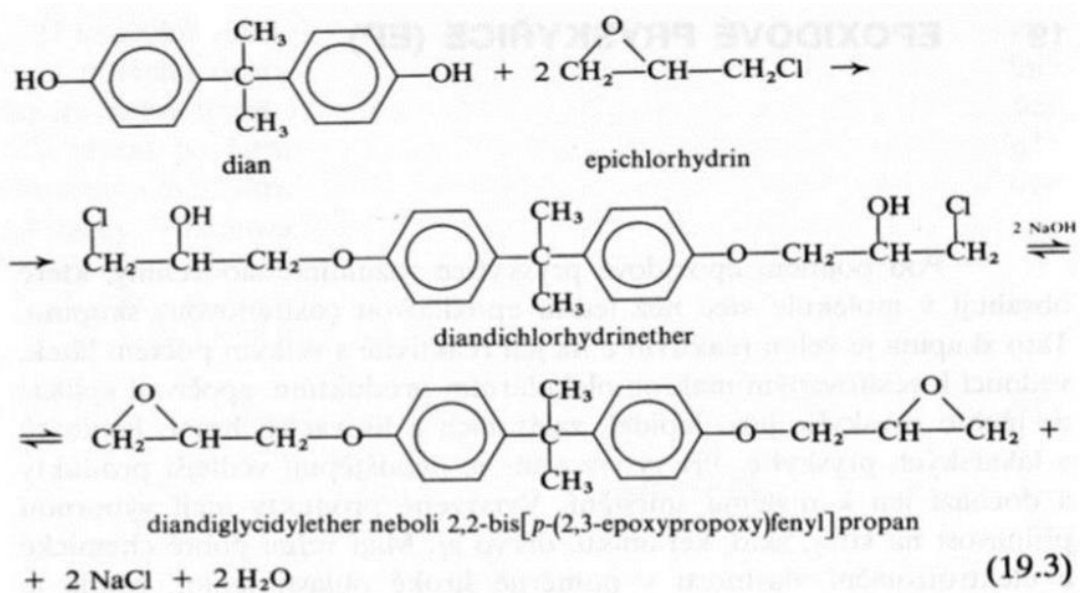
Obrázek 6 – Epoxidová pryskyřice s glycidilovou skupinou. [22]



Obrázek 7 – Chemická struktura epoxidu glycidolu [22]



Obrázek 8 – Epoxidová pryskyřice s epoxidovou skupinou [22]

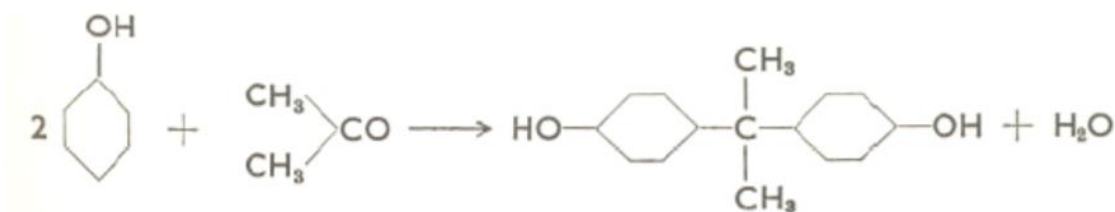


Obrázek 9 – Postup výroby epoxidových pryskyřic [22]

Řetězce epoxidových pryskyřic se připravují alkalickou kondenzací 2,2-bis-p-hydroxyfenylpropanu (bisfenolu A) s epichlorhydrinem nebo dichlorhydrinem. Nejprve je připraven nízkomolekulární předpolymer s reaktivními epoxidovými skupinami a reaktivními OH skupinami, které jsou dále využity k síťovacím reakcím. V závislosti na poměru bisfenolu A k epichlorhydrinu a dichlorhydrinu vznikají pryskyřice s různou molární hmotností. Teoretické molekulové hmotnosti epoxidových pryskyřic se pohybují od 380 do 4000. [14] [22]

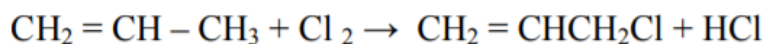
5.2.2 Výrobní suroviny epoxidových pryskyřic

Bisfenol A – příprava probíhá v kyselém prostředí kondenzací fenolu a acetonu. Kyselé prostředí obvykle zajišťuje kyselina sírová nebo chlorovodíková o vysoké koncentraci – maximálně 75 %. Nejčastěji jde o 72,5% kyselinu sírovou. Reakce probíhá při 40 °C, molární poměr acetonu ku fenolu je 1: 1,5-1,85. Jako katalyzátorů reakce bývá užíváno kyseliny borité nebo směsi kyselin thioglykolové a bromovodíkové. Vzniklý bisfenol se musí někdy čistit krystalizací v rozpouštědlech. K tomu se nejčastěji používá chlorbenzen, který je z použitelných rozpouštědel nejlevnější. Po krystalizaci následuje sušení na vzduchu a v proudovzdušné sušárně při zhruba 110 °C. [14]

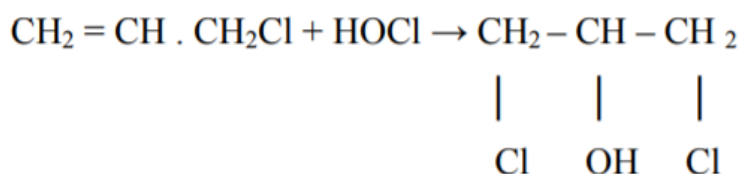


Obrázek 10 – Reakce vzniku Bisfenolu A [14]

Dichlorhydrin – vyrábí se esterifikací glycerínu chlorovodíkem za teploty 120-130 °C ve 4% kyselině octové nebo synteticky z propylenu. Metoda syntetická z propylenu je mnohem levnější a tudíž využívanější. Chlorací při 500 °C přechází propylén v alylchlorid, na který se následně za nízkých teplot přidává kyselina chlorná.

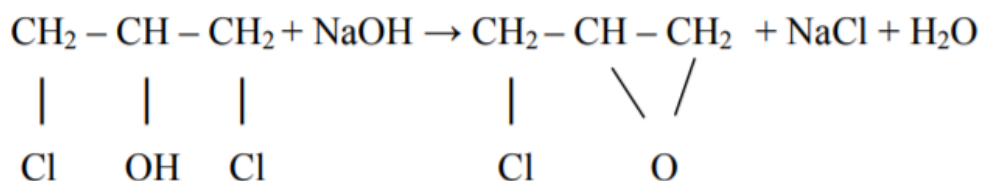


Obrázek 11 – Chemická reakce přechodu propylenu v alylchlorid [14]



Obrázek 12 – Chemická reakce dodání kyseliny chlorné na alylchlorid [14]

Epichlorhydrin – výroba dehydrogenací dichlorhydrinu za pomoci alkalických hydroxidů nebo hydroxidu vápenatého, nejčastěji však vodného roztoku hydroxidu sodného.



Obrázek 13 – Chemická reakce dehydrogenace dichlorhydrinu [14]

[15]

5.2.3 Pigmenty

Pigmenty, jak je známe dnes čili práškové látky dispergované ve vhodném prostředí s krycími, vybarvovacími a mnohdy korozi ovlivňujícími vlastnostmi, získaly tento význam až ve dvacátém století. Dříve tento pojem označoval pouze barevné látky, barvy nebo extrakty z bylin s barvicími schopnostmi. Prostředí, do kterého jsou dnes pigmenty aplikovány a rozptylovány mohou být organická pojiva jako jsou právě například epoxidové pryskyřice, anorganické silikáty, pryže, stavební látky jako cement a beton,

plasty a jiné. Hlavním rozdílem mezi pigmenty a barvivy je nerozpustnost pigmentů v prostředí. Zatímco barviva se ve svém prostředí rozpouští a tvoří pak s daným ředidlem homogenní směs, pigmenty se v pojivech pouze rozptylují – dispergují, a tak tvoří směs heterogenní. Pigmenty jsou děleny na organické a anorganické, přičemž objemem výroby jsou významnější ty anorganické, jejichž celosvětový objem výroby dosahuje zhruba 5 milionů tun za rok. Pigmenty se dále dělí na přírodní a syntetické. Nejvíce se využívají syntetické pigmenty na bázi titanové běloby – titaničitě oxidy, jejichž výroba představuje až 70% celosvětové produkce syntetických pigmentů. Přírodní minerální pigmenty jsou získávány převážně z hornin a minerálů pomocí chemických úprav nebo pálením. Odstíny mohou být od bílých (kaolín, sádrovec) přes hnědé, červenohnědé a žlutohnědé (okry, umbra), modré (azurit, vivianit), šedavé (břidlice) až po černé (magnetit). Nezřídka se pro šedavé a černé odstíny používají saze, které sloužily jako pigment i v experimentu této práce. [16]

Pigmenty mohou být nepestré (bílé, černé), které disponují pouze krycí schopností, pestré (barevné) a také speciální, které mají jiné speciální vlastnosti (keramické, smaltařské, luminiscenční nebo lesklé pigmenty). Chemické reakce používané při výrobě většiny pigmentů nejsou složité, a přesto technologický postup nepatří ke snadným, a to z důvodu vysokých nároků na čistotu a strukturu pigmentů. Mezi důležité vlastnosti pigmentů patří jejich kryvost, barevnost, lesk a další – fyzikálně-optické vlastnosti, chemické vlastnosti jako reaktivita a čistota, a také technologické vlastnosti – dispergovatelnost a textura. Jelikož nátěr má většinou zakrývat základní materiál, je jednou z nejdůležitějších vlastností právě krycí schopnost. Světelné kvantum se při dopadu na částičku pigmentu může buď pohltit nebo rozptýlit. Může také projít prostředím mezi částičkami pigmentu beze změny a pak se jedná o prostředí průhledné, což je u nátěrů zpravidla nežádoucí. Proto stěžejní vlastnosti pigmentů kryvost a barevnost určuje právě schopnost absorpce či rozptylu světla. Pokud absorpce převládá nad rozptylem v celém spektru viditelného záření, jedná se o pigment černý. Pokud naopak rozptyl převládá, jde o pigment bílý. Barevné neboli pestré pigmenty pohlcují pouze některé vlnové délky dopadajícího světla, a tím získávají v našich očích barevný odstín. [16]

5.2.4 Plniva

S výrobou a užíváním pigmentů úzce souvisí pojiva, což jsou látky schopné dispergace v různých prostředích, kde zvyšují podíl pevných látek a upravují vlastnosti požadovaným směrem, zejména zlepšují fyzikálně-mechanické vlastnosti plněných směsí. Jedná se o práškové látky s nízkými vybarvovacími a krycími schopnostmi a používají se v kombinaci s pigmenty. Některá plniva mohou sloužit pouze jako nastavovací čili ke snížení ceny finálního výrobku, jiná disponují speciálními vlastnostmi. Mohou zvyšovat odolnost mechanickou, povětrnostní, tepelnou, snížit hořlavost atd. V celkovém měřítku je pojiv vyráběné větší množství než pigmentů, ale z chemicko-technologického hlediska není jejich výroba tolik zajímavá. Stejně jako pigmenty lze plniva dělit na organická a anorganická, anorganická na přírodní a syntetická. Narozdíl od pigmentů patří největší objem výroby přírodním plnivům, a to zhruba 75 %, z nichž má největší podíl uhličitán vápenatý. [16]

Plniva zpravidla nabízí vysokou chemickou odolnost. Dalšími hodnocenými vlastnostmi jsou chemicko-fyzikální, kam patří velikost a tvar částic, měrná hmotnost a měrný povrch, barevnost, index lomu, tvrdost a další, a pak tepelně-elektrické, jako je tepelná a elektrická vodivost, měrné teplo a tepelná stálost. Úprava vytěžených hornin na přírodní plniva zahrnuje promývání, drcení, třídění a mletí. [16]

5.2.5 Ředidla a rozpouštědla

Rozpouštědla lze dělit na pravá – ta, která přímo rozpouštějí filmotvornou látku, a nepravá, která sama filmotvornou látku nerozpouští, ale lze je použít v kombinaci s pravými rozpouštědly. Pro KTL se užívají výhradně rozpouštědla organická, proto se budu věnovat pouze jim. Rozpouštědla musí odpovídat náročným požadavkům – musí být co nejméně toxická, co nejméně hořlavá nebo nehořlavá, biologicky odbouratelná, bez výrazného zápachu, bez obsahu vody a musí být čirá a bezbarvá, aby neovlivňovala

barvu rozpouštěné nátěrové hmoty nebo jiné látky. Organická rozpouštědla užívaná v nátěrových hmotách se dělí podle chemického složení. [16]

Uhlovodíky

- alifatické nebo acyklické např. hexan
- aromatické: obsahující aromatický kruh - např. benzen, toluen, xylén
- hydrogenované čili hydroaromatické – cyklické uhlovodíky získané hydrogenací aromatických sloučenin - např. cyklohexan, tetralin
- nitrované – obsahují dusík v molekule - např. nitromethan, nitroethan, 1-nitropropan, 2-nitropropan)
- chlorované – obsahují chlor v molekule - např. chloroform, tetrachlormethan, chlorbenzen

Alkoholy - např. fenol, ethanol, methanol, ethylenglykol, 2-butoxyethanol

Etery - např. diethylether, dioxan

Ketony - např. aceton, methylethylketon, cyklohexanon

Estery: např. methylacetát, ethylacetát, glykolacetát

Směsná rozpouštědla – benzin, petrolej atd.

Všechna organická rozpouštědla jsou více nebo méně jedovatá. Mezi v praxi nejpoužívanější rozpouštědla bezesporu patří: benzen, toluen (obě velmi toxická) cyklohexan (vlastnosti podobné benzenu, méně toxický) a aceton, který je společně s xylenem a butylglykolem nejvhodnější pro ředění polymeračních epoxidových a akrylátových pryskyřic přítomných v kataforetickém nátěru.

Butylglykol (2-butoxyethanol) – Rozpouštědlo vhodné pro nátěrové hmoty, laky a akrylátové pryskyřice. Je mísitelný s většinou organických rozpouštědel. Není vysoce toxický, určité toxicity dosahuje při vysokých koncentracích a dlouhodobém působení na organismus.

Xylen – Bezbarvý, hořlavý se silným aromatickým zápachem. Těkavý, rozpustný v nepolárních rozpouštědlech. Jde o směs tří izomerů aromatického uhlovodíku. Velmi toxický, nejvíce ovlivňuje nervovou soustavu, závratě a bezvědomí již při nižších koncentracích. [19]

Aceton (dimethylketon) – Bezbarvá hořlavá látka dobře mísitelná s vodou a polárními rozpouštědly. Ve směsi s kyslíkem výbušný již při nižších koncentracích. Ve vysokých koncentracích dráždivý, vcelku však nepříliš toxický.

[17] [18]

5.3 Polymerizace kataforetického povlaku

5.3.1 Princip polymerizace

Polymerizace představuje chemickou reakci, kdy dochází k přeměně monomerů a oligomerů na makromolekulární látky – polymery. Reaktoplasty se tedy z tavitelných a rozpustných monomerů mění chemickými reakcemi na nerozpustné a netavitelné polymery s trojrozměrnou strukturou. Nejen epoxidy, ale reaktoplasty obecně chemickou reakcí nebo účinkem tepla, záření nebo síťovacích činidel vytvářejí husté, prostorově síťované struktury, v nichž jsou původní molekuly vzájemně pospojovány kovalentními vazbami. Po vytvrzení pak získávají pevnost, elasticitu, chemickou i tepelnou odolnost a rozměrovou stálost. Reaktoplast je ve vytvrzeném stavu netavitelný a nerozpustný. Případná recyklace reaktoplastů je proto obtížná.

K chemickému vytvrzení jsou nezbytná tzv. tvrdidla. Jde buď o látky schopné reagovat s epoxidovými a hydroxylovými skupinami obsaženými v pryskyřici, a tím se stát součástí

oné trojrozměrné sítě, nebo o látky, které iniciují polymeraci epoxidů, ale součástí sítě se nestávají a vzniklá struktura je složená pouze z epoxidových segmentů. První reakce, kdy se tvrdidla stávají součástí sítě, se nazývá polyadice, druhá homopolymerace. Někdy však probíhají současně a vzniklá síť je kombinací obou struktur. [14]

Tvrzení pomocí tepla

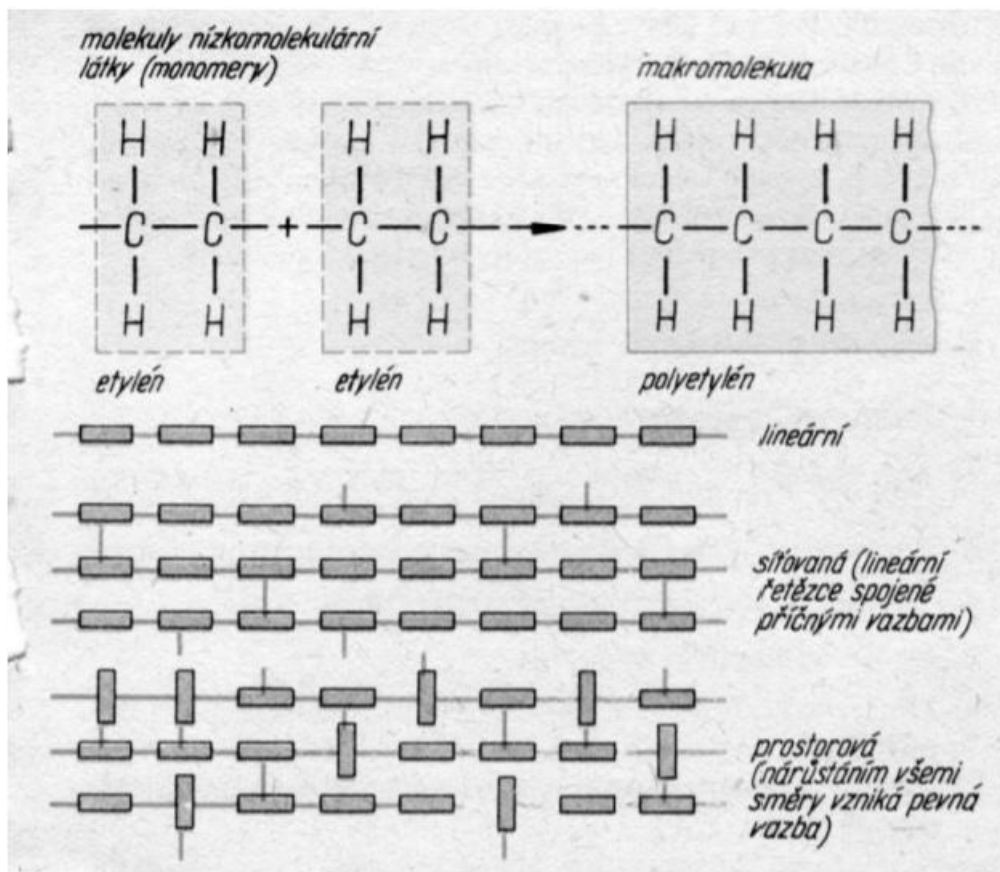
Reaktoplasty jsou materiály, které jsou tavitelné a tvarovatelné jen určitou dobu po zahřátí. Dalším zahříváním nebo pomocí katalyzátorů dochází k chemické změně, při které se původní molekuly sesítují, se stávají netavitelné a nerozpustné. Chemická reakce způsobující vznik zesíťované struktury se nazývá vytvrzování. Je to nevratný proces a vytvrzený materiál nelze znovu tvarovat ani převést do taveniny. Reaktoplasty jsou amorfní polymery a jejich produkty v nevytvrzeném stavu se obvykle nazývají pryskyřice, např. fenol-formaldehydová pryskyřice, polyesterová pryskyřice nebo právě epoxidová pryskyřice a další.

Proces polymerace potřebuje ke svému zahájení aktivační energii. Tu zde představuje energie tepelná. U tepelné polymerace není přítomný žádný iniciátor a k reakci dochází účinnou srážkou dvou tepelně aktivovaných molekul.

[23] [24] [25]

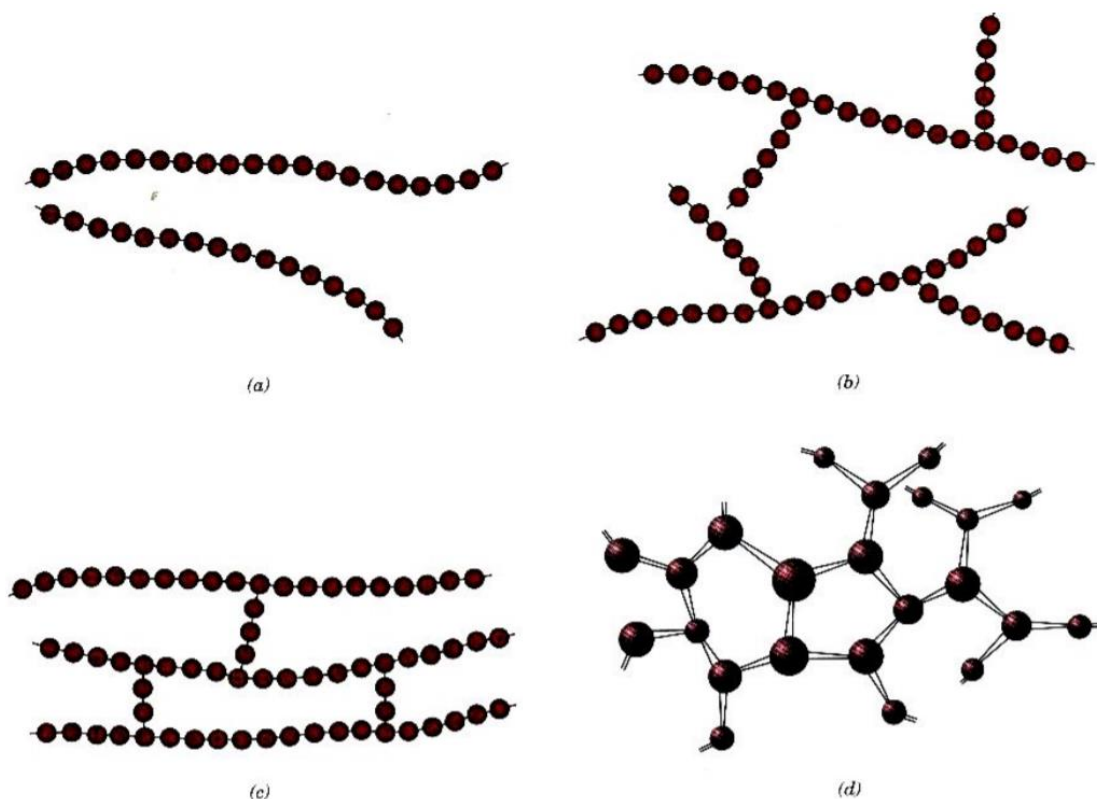
5.3.2 Polymery

Tvar makromolekul je dán funkčností monomerů. Ta společně s reakčními podmínkami (teplota, tlak) rozhoduje o možnosti vzniku makromolekul lineárních nebo zesíťovaných.



Obrázek 14 – Princip polymerace graficky [26]

Polymery lze dělit na a) lineární, b) rozvětvené, c) se zkříženými články a na pro nás nejdůležitější d) síťované polymery, mezi něž patří právě i epoxidy.

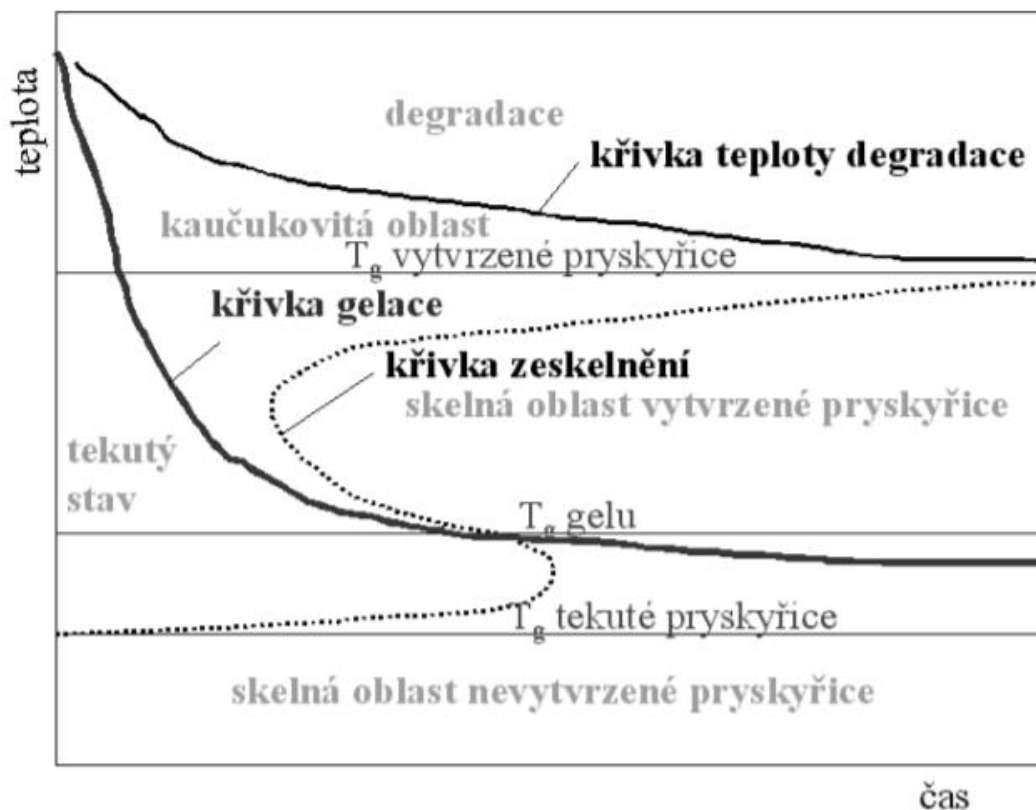


Obrázek 15 – Typy polymerů [25]

5.3.3 Síťování

Pro proces síťování neboli tvoření trojrozměrné struktury s novými vlastnostmi jsou rozhodujícími faktory zejména funkčnost monomerů, reaktivita funkčních skupin, počáteční složení systému, a mechanismus reakce. Funkčnost monomerů f představuje počet vazeb, které jsou mezi sebou schopny za dané reakce vytvořit. Funkčnost se tedy mění podle podmínek reakce a má svou maximální hranici, která je tvořena počtem funkčních vazeb. Jsou-li vytvrzovány monomery epoxidových pryskyřic s $f = 2$ polyadičními nebo polymeračními tvrdidly, dochází k postupné konverzi funkčních skupin. Zároveň s tím roste relativní molekulová hmotnost a polydisperzita díky tomu, že číselně střední relativní hmotnost roste pomaleji než hmotnostní průměr. S postupující konverzí se ještě rozpustný podíl – sol – zabudovává do nekonečné trojrozměrné struktury již nerozpustného gelu. Pro síťování je klíčový bod gelace, kdy se poprvé objeví nekonečná struktura. V bodu gelace je číselně střední relativní molekulová hmotnost stále konečná, avšak hmotnostně střední relativní molekulová hmotnost již nekonečná. Podíl gelu roste, naproti tomu podíl solu klesá, a při úplném vytvrzení je podíl solu

prakticky nulový. S vyšším podílem gelu roste i jeho stupeň síťování čili koncentrace elasticky aktivních řetězců, která ovlivňuje mechanické vlastnosti tvrdnoucí pryskyřice. [14] [27]



Obrázek 16 – TTT diagram vytvrzování pryskyřice [27]

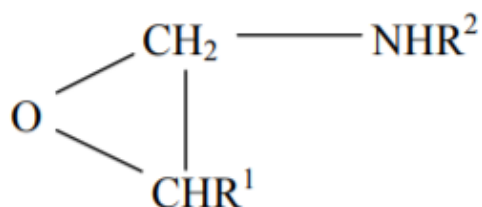
5.3.4 Polymerizace kataforézního povlaku

V případě polymerizace epoxidových pryskyřic v kataforetickém povlaku je používáno působení tepla. Nanesený povlak se jednoduše vytvrdí působením tepla dodaným vnějším zdrojem, nejčastěji pecí. Tím získává finální zesíťovanou strukturu s požadovanými vlastnostmi uvedenými výše.

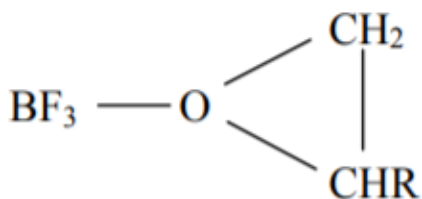
5.3.5 Chemické vytvrzování

Všechny reakce epoxidových sloučenin mají iontový charakter. Pokud je epoxid vytvrzován látkou s obsahem volného páru elektronů, je epoxid akceptorem – látkou

elektrofilního charakteru a tvrdidlo je donorem – látkou nukleofilního charakteru, a společně vytváří chemickou vazbu. Epoxidy však mohou reagovat i s látkami elektrofilního charakteru, kdy dochází k napadání epoxidové skupiny na kyslíku, který má nukleofilní charakter. [14]



Obrázek 17 – Epoxidová skupina s elektrofilním charakterem [28]



Obrázek 18 – Epoxidová skupina s nukleofilním charakterem [28]

[29] [30] [31]

6 PRAKTICKÁ ČÁST – OVĚŘENÍ FYZIKÁLNĚ-MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ KATAFORETICKÉHO POVLAKU

6.1 Úvod a plán experimentu

Cílem experimentu bylo zjistit fyzikálně-mechanické vlastnosti nepolymerizovaného kataforetického povlaku v závislosti na předešlých úpravách povrchu. Při automatizovaném hromadném kataforetickém lakování drobných dílů může docházet k poškození nevytvrzeného kataforetického povlaku kontaktem dílů mezi sebou nebo otěrem dílů o dopravníky či jiné součásti automatizované dopravy. Tím vznikla potřeba ověřit a změřit fyzikálně-mechanické vlastnosti kataforetického povlaku před polymerizací na různých površích používaných v průmyslu. Celkem bylo testováno 14 vzorků. Osm z nich byly pozinkované ocelové plechy s různými povrchovými úpravami. Další 2 vzorky byly ocelové plechy bez povrchových úprav. Posledními vzorky byly tenké ocelové Q-panely. Vzorky byly vloženy do KTL vany po 4-5 kusech na závěsech z hliníkového drátu. Na laboratorním zdroji Zhaoxin byly nastaveny vždy stejné parametry lakování – 2 A, 165 V. Nanášení KTL povlaku bylo velice rychlé, v tomto experimentu šlo o časy zhruba 10 s. Poté byly vzorky vytaženy, opláchnuty v ultrafiltrátu a zavěšené ponechány několik minut okapat. Následovalo sušení v peci. Tento krok se ukázal být důležitý a měl by být zařazen do automatické linky hromadného kataforetického lakování, protože výrazně snižuje možnost poškození KTL povlaku při další manipulaci před polymerizací. Nevysušené vzorky jsou při kontaktu s cizími předměty nebo samy mezi sebou velmi náchylné na slepení či přilepení, čímž dochází k poškození povlaku. Po vysušení bylo 10 vzorků po vychladnutí prakticky připraveno a dva zároveň zinkované ocelové plechy ještě prošly polymerizací.

6.2 Přístroje použité v praktické části

Laboratorní zdroj stejnosměrného elektrického proudu ZHAOXIN KXN-5005D

Tento přístroj vytvářel stejnosměrný proud podle zadaných parametrů potřebný k nanášení kataforetického povlaku.



Obrázek 19 – ZHAOXIN KXN-5005D [32]

Váha s možností míchání kapaliny TSCALE QHW

Tato váha sloužila k vážení a míchání příměsí potřebných k vytvoření směsi zinečnatého fosfátu.



Obrázek 20 – TSCALE QHW [33]

Mikroskop OLYMPUS

Mikroskop poskytl pohled pro detailní zhodnocení poškození povlaku hrotem sklerometru.



Obrázek 21 – OLYMPUS LEXT OLS 3000 [34]

Sklerometr pro měření tvrdosti nátěru



Obrázek 22 – Sklerometr [35]

Hrotový drsnoměr Mitutoyo SJ-210



Obrázek 23 – Mitutoyo SJ-210 [39]

Hrotový drsnoměr sloužil k měření drsnosti povrchu. Povrch byl změřen na pěti místech každého vzorku a z měření určena průměrná hodnota.

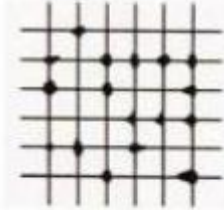
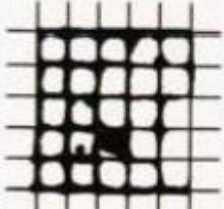


6.3 Zkoušky mechanických vlastností

K ověření mechanických vlastností kataforetických povlaků byly použity dvě metody.

Metoda měření tvrdosti sklerometrem – přístrojem vybaveným normalizovaným hrotem a pružinami o definovaném zatížení. Tento přístroj umožňuje pozorovat sílu, která je potřebná k poškrábání nátěru. Hrot je zvolenou pružinou a zvoleným zatížením tlačěn na testovaný povrch. Při měření byla použita pružina s nejvyšší tuhostí a rozsahem 0-20 N. Naměřená hodnota je zobrazena kurzorem na stupnici. Kurzor se pomocí šroubu upevňuje k tělu přístroje na zvoleném místě podle požadované zátěže. Následně je přístroj pevně přitisknutý k podložce tažen po testovaném povrchu.

Mřížková zkouška – cross cut test – stanovení přilnavosti nátěru mřížkovou metodou (ČSN 67 3085, ČSN ISO 2409)

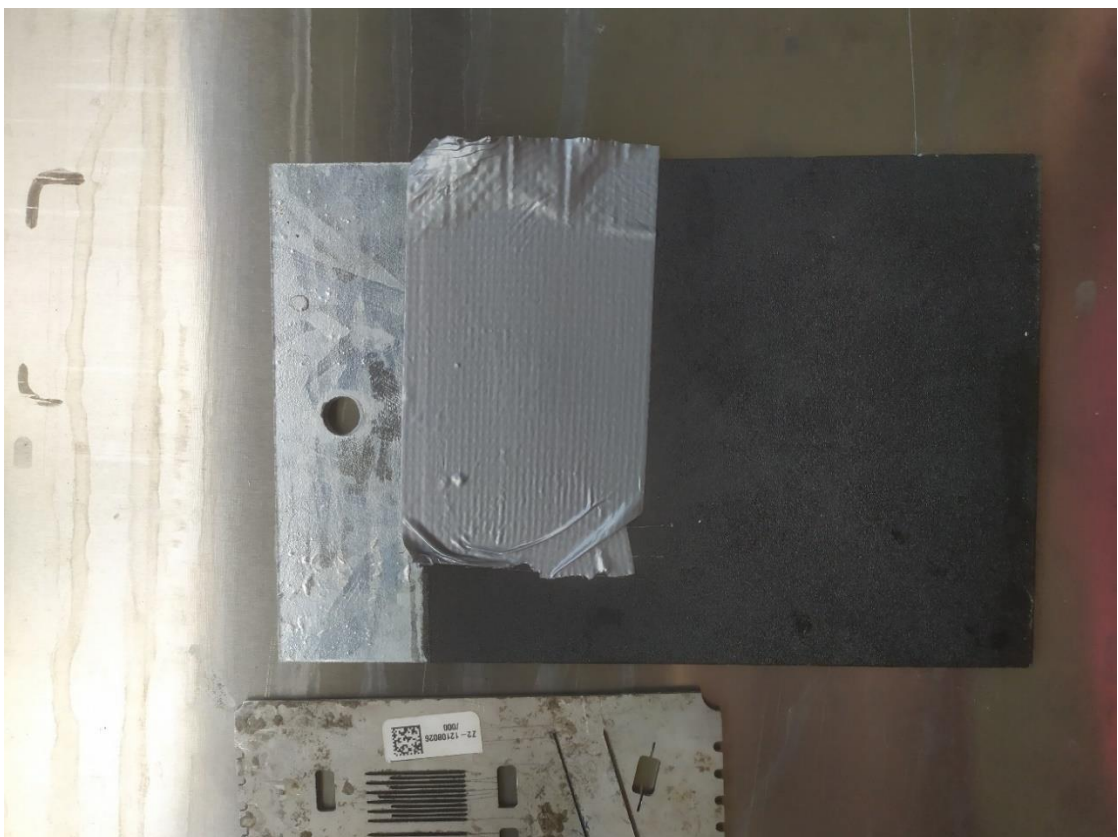
Mřížka se pevně přiloží k testovanému povrchu a pomocí ostrého předmětu (v této práci byl použit nůž) je skrz povlak až na základní materiál vyřezána pravidelná mřížka. Vzhledem k tloušťce povlaku a tvrdému podkladu byla podle normy zvolena mřížka s rozestupy 1 mm. Následně je na takto upravený povrch důkladně přilepena kvalitní lepicí páska, která je pak silou odtržena. Výsledek odtrhu povlaku je hodnocen podle normy ISO 2409.

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem
0	Hrany řezů jsou zcela hladké, žádný čtverec mřížky není poškozen	—
1	Malé kousky povlaku odloupnuty v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5%	
2	Povlak se odlupuje podél řezů anebo v místech křížení řezů. Poškozená plocha je větší než 5%, ale menší než 15%	
3	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech, částečně nebo zcela, anebo se odlupuje částečně nebo zcela na různých místech čtverců. Poškozená plocha je větší než 15%, ale menší než 35%	
4	Povlak se odlupuje podél řezů ve velkých pásech zcela anebo některé čtverce jsou odloupnuty částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35%, ale menší než 65%	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	—

Obrázek 24 – Klasifikace mřížkové zkoušky dle normy ISO 2409 [36]



Obrázek 25 – Pomůcky pro provedení mřížkové zkoušky 1



Obrázek 26 – Pomůcky pro provedení mřížkové zkoušky 2

6.4 Zkoušené vzorky

Celkem bylo testováno 14 vzorků. Šlo o sedm skupin plechů s rozdílnými povrchovými úpravami. Každý vzorek byl testován oboustranně, tudíž byla provedena čtyři měření na každé skupině s danou povrchovou úpravou či úpravami viz tabulka č.2. Při níže uvedených parametrech kataforetického lakování vykazovaly vzorky tloušťku povlaku v rozmezí 25-30 μm . Po ukončení lakovacího procesu a oplachu v ultrafiltrátu následovalo sušení vzorků při 50 °C po dobu 10 min v horkovzdušné peci. Takto upravené vzorky s povrchovou úpravou byly následně mechanicky testovány proti otěru a prodření povlaku na základní materiál.

Tabulka 2 - Testované vzorky a jejich parametry

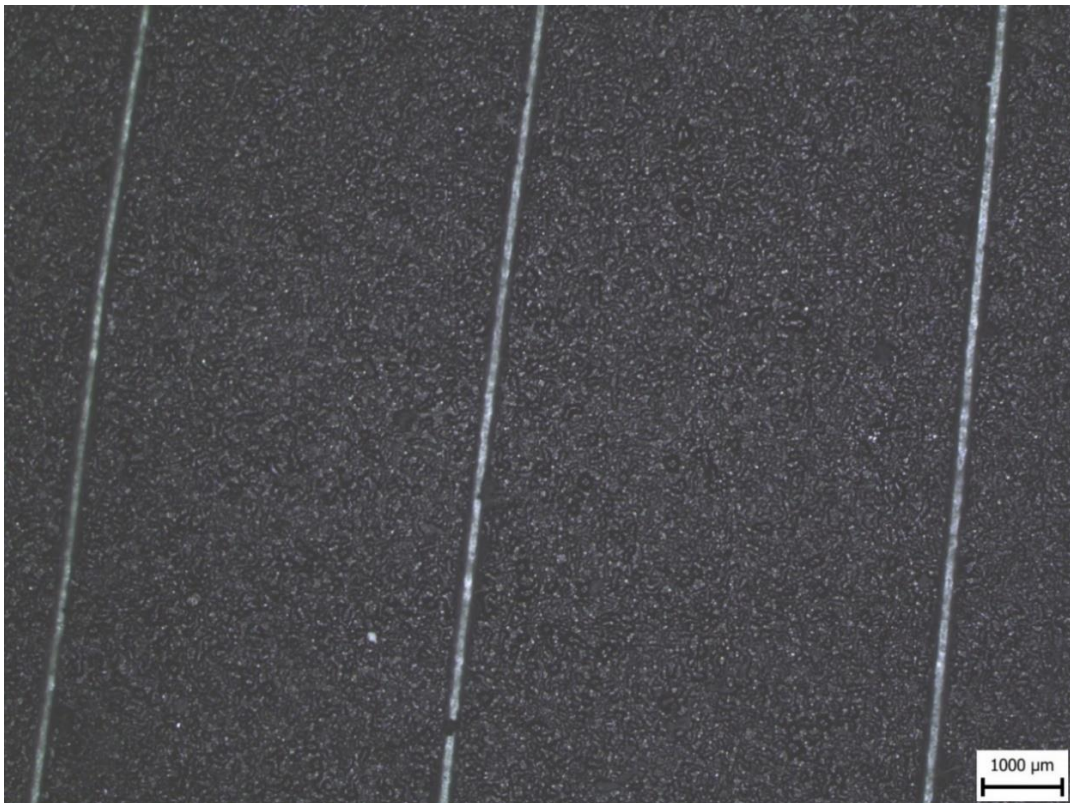
Skupina vzorků č.	Základní materiál – Drsnost povrchu	Zvolená předúprava	Technologické parametry předúpravy	Technologické parametry PÚ – KTL
1 Vzorek č. 1.1, 1.2	Žárově zinkovaná ocel ponorem Ra 1,12 μm		Dle technologického listu dodavatele	2 A, 165 V, 28 °C Zasychání 50 °C, 10 min.
2 Vzorek č. 2.1, 2.2	Žárově zinkovaná ocel ponorem Ra 1,02 μm	organosilan	Ponor do lázně organosilanu, 6 min., 20 °C	2 A, 165 V, 28 °C Zasychání 50 °C, 10 min.
3 Vzorek č.	Ocel S 235 JR	Moření	17% HCl, 12 min., 20 °C	2 A, 165 V, 28 °C

3.1, 3.2	Ra 1.65 μm			Zasychání °C, 10 min.	50
4 Vzorek č. 4.1, 4.2	Žárově zinkovaná ocel ponorem Ra 0,95 μm	Zn – fosfát	Ponor do lázně zn – fosfátu, min., 55 °C	2 A, 165 V, °C Zasychání °C, 10 min.	28 50
5 Vzorek č. 5.1, 5.2	Ocel – Q-panel Ra 1,35 μm	Zn – fosfát	Dle technologického listu dodavatele	2 A, 165 V, °C Zasychání °C, 10 min.	28 50
6 Vzorek č. 6.1, 6.2	Žárově zinkovaná ocel ponorem Ra 1,10 μm		Dle technologického listu dodavatele	2 A, 165 V, °C Zasychání °C, 10 min. Polymerizace – 180 °C, 15 min.	28 50

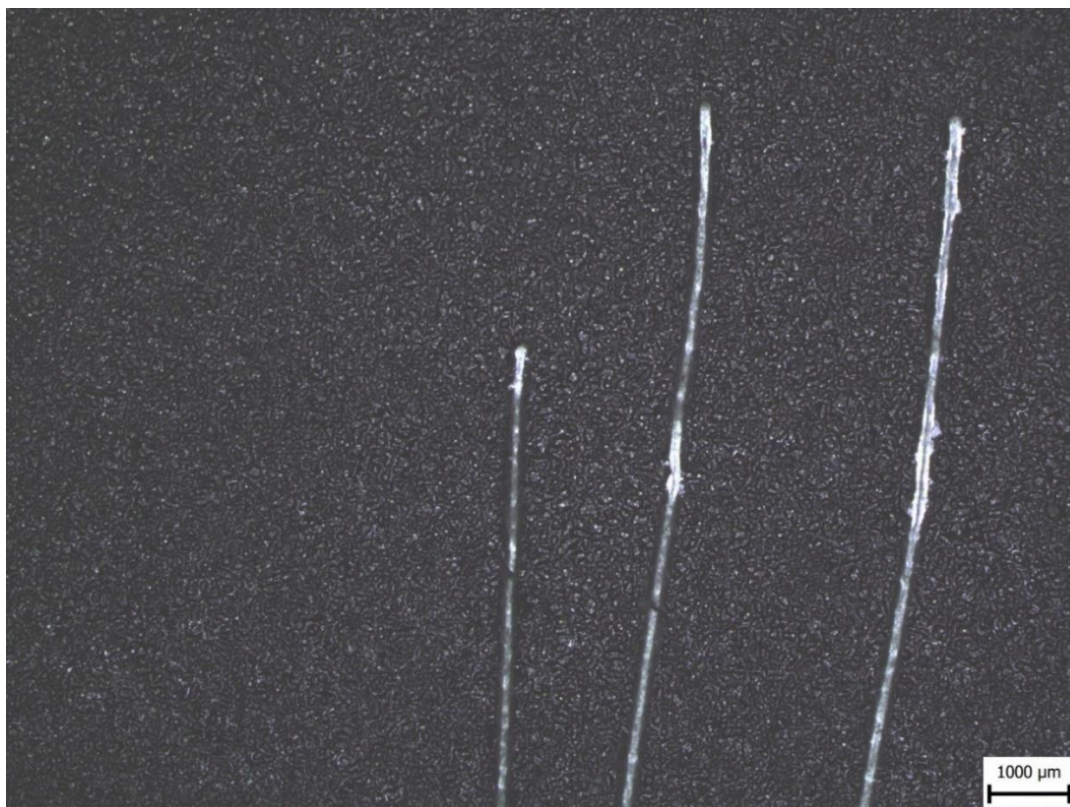
Skupina č.1 – Žárově zinkované ocelové plechy 5 mm – vzorek č. 1.1 a 1.2

Tabulka 3 – Základní údaje 1. testované skupiny vzorků

Základní materiál	Úprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocel	Žárové zinkování ponorem	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 1,12 μm				Nepolymerizovaný



Obrázek 27 – Ocelový plech žárově zinkovaný. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva)



Obrázek 28 – Ocelový plech žárově zinkovaný. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva)



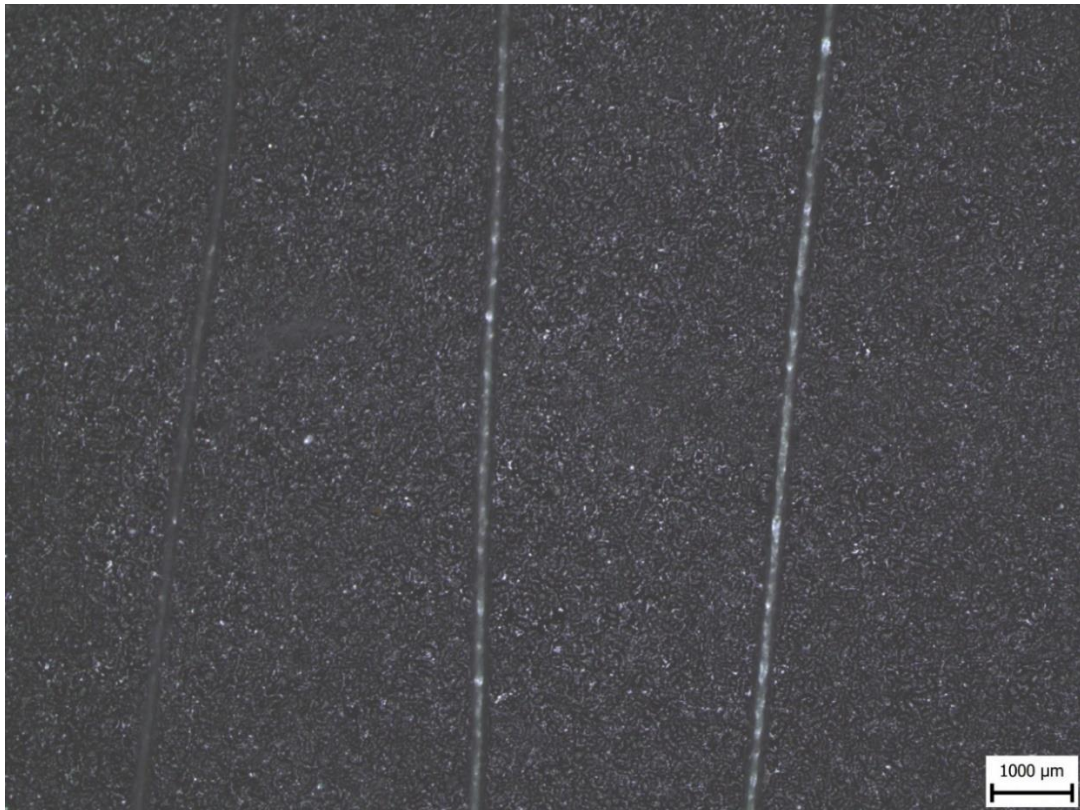
Obrázek 29 – Ocelový plech žárově zinkovaný – mřížková metoda – klasifikace 1

Rýhy na zinkovaném plechu začaly dosahovat základního materiálu již při poměrně nízkých hodnotách nastavené síly, zhruba od 12 N výše. Při 15 N bylo již vždy dosaženo základního materiálu. Mřížková zkouška dopadla u prvního vzorku klasifikací 1, u druhého již šlo o klasifikaci 2, což byl nejhorší výsledek ze všech měření. Odolnost proti odtržení povlaku byla tedy na zinkovaném plechu nejhorší ze všech provedených úprav. Obecně nízká adheze byla pravděpodobně způsobena nízkou drsností pouze zinkovaného povrchu. Pohledová kvalita byla lepší ve srovnání s plechy potaženými fosfátem nebo organosilanem, ale horší oproti ocelovým plechům bez úpravy i proti zinkovaným q-panelům. Vyskytovaly se drobné kapky a nepravidelnosti.

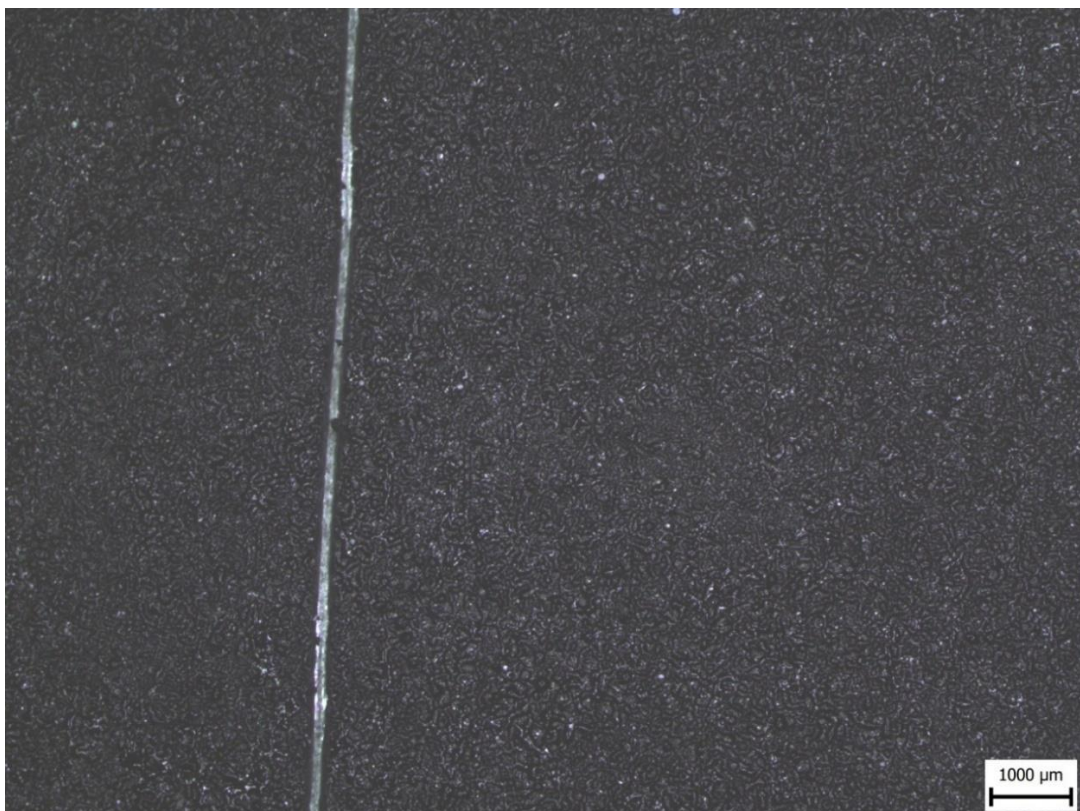
Skupina č.2 – Žárově zinkované ocelové plechy 5 mm s vrstvou organosilanu – vzorek č. 1.1 a 1.2

Tabulka 4 – Základní údaje 2. testované skupiny vzorků

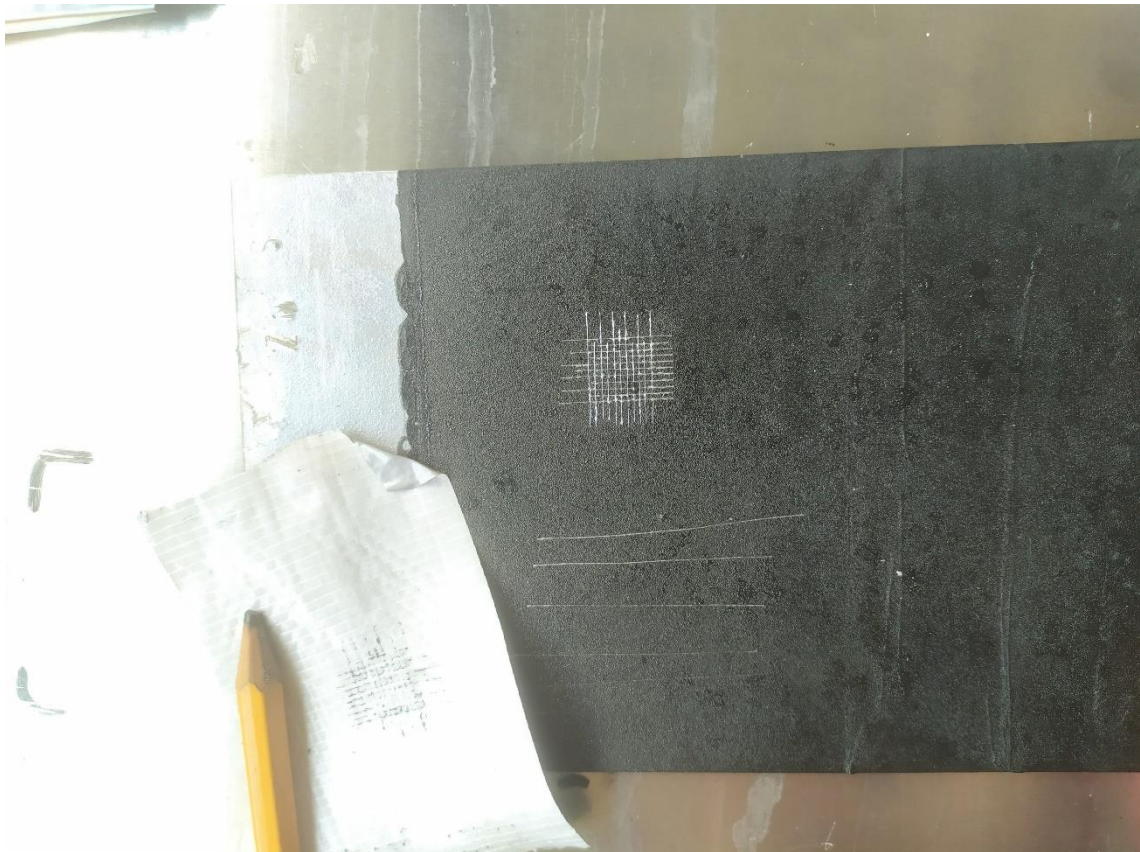
Základní materiál	Úprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocel	Žárové zinkování ponorem	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 1,02 μm	organosilan			Nepolymerizovaný



Obrázek 30 – Ocelový plech žárově zinkovaný s organosilanem. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva)



Obrázek 31 – Ocelový plech žárově zinkovaný s organosilanem. Zatížení 18 N



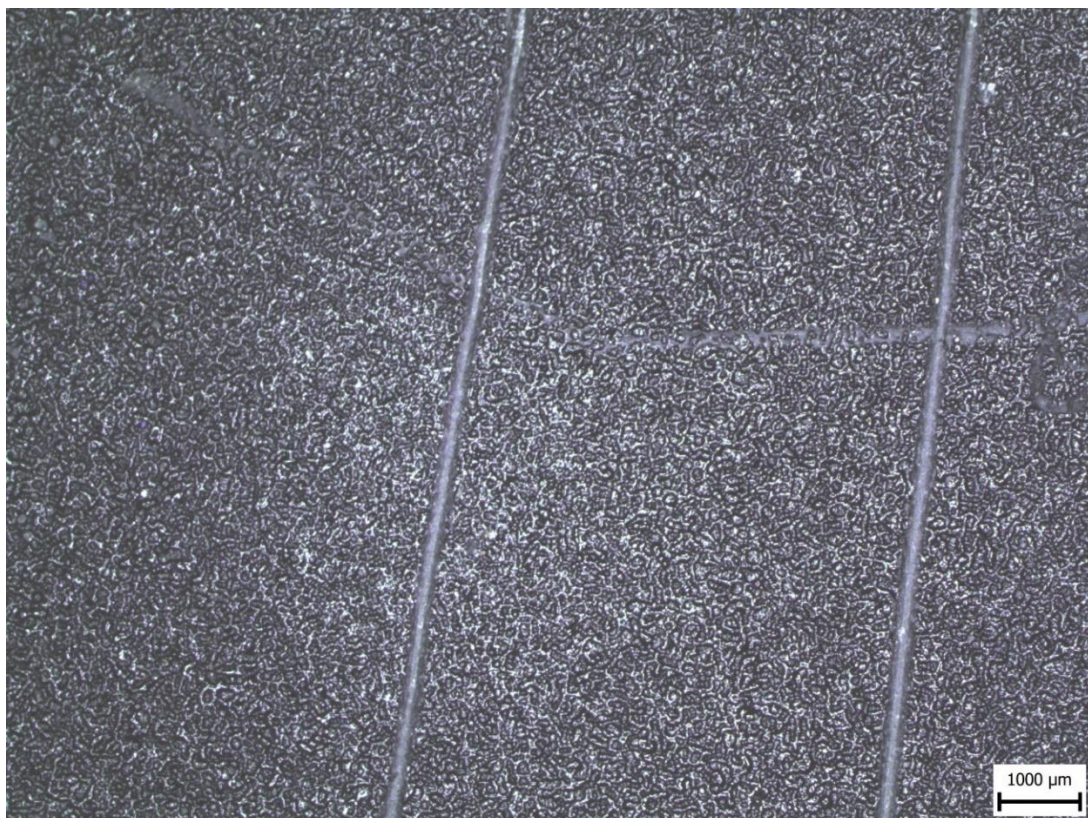
Obrázek 32 – Žárově zinkovaný ocelový plech s organosilanem – mřížková metoda – klasifikace 1

Organosilany jsou považovány za ekologická adhezivní činidla, která by měla postupně nahrazovat méně ekologické konverzní vrstvy jako například fosfáty. Ve srovnání se vzorky opatřenými samotným zinkovým povlakem byly vlastnosti vzorků s nanesenou vrstvou organosilanu skutečně lepší. K vytvoření rýhy dosahující základního materiálu byla zapotřebí síla minimálně 15 N, tedy o 3 N více proti samotnému zinku, a síly kolem 10 N vůbec povlakem nepronikly, na rozdíl od povlaku na samotném zinku. I mřížková zkouška dopadla lépe – obě mřížky dosáhly kvalifikace 1. Lze tedy konstatovat, že organosilany mají pozitivní vliv na adhezi povlaku. Pokud ovšem srovnáme organosilany s další vrstvou, jež má napomáhat přilnavosti nátěrů – fosfátovou, pak již organosilany značně ztrácí. Dosáhly sice v našich podmínkách lepších pohledových vlastností, ovšem adhezi se zinečnatému fosfátu nerovnají.

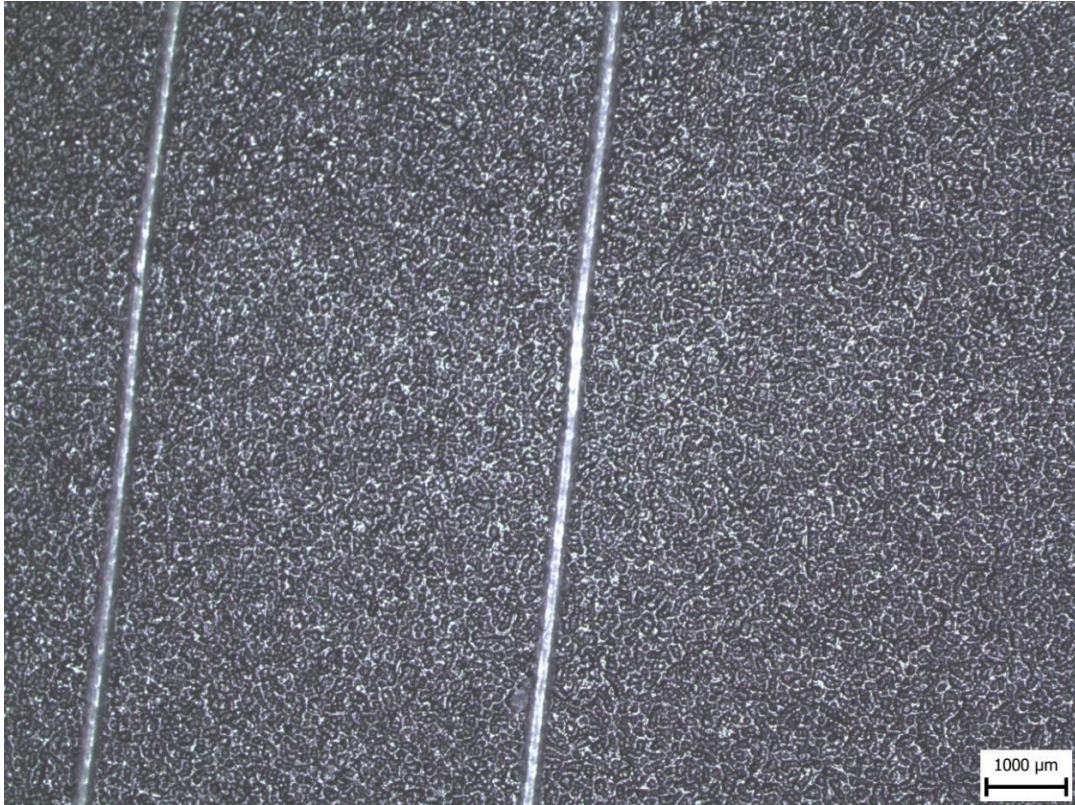
Skupina č.3 – Ocelové plechy 5 mm odmořené, bez dalších úprav – Vzorek č. 3.1

Tabulka 5 – Základní údaje 3. testované skupiny vzorků

Základní materiál	Předúprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocel	Moření – 12 min. v 17% HCL při 20 °C	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 1.65 μm				Nepolymerizovaný



Obrázek 33 – Ocel samotná – Zatížení 10 a 12 N (zleva)

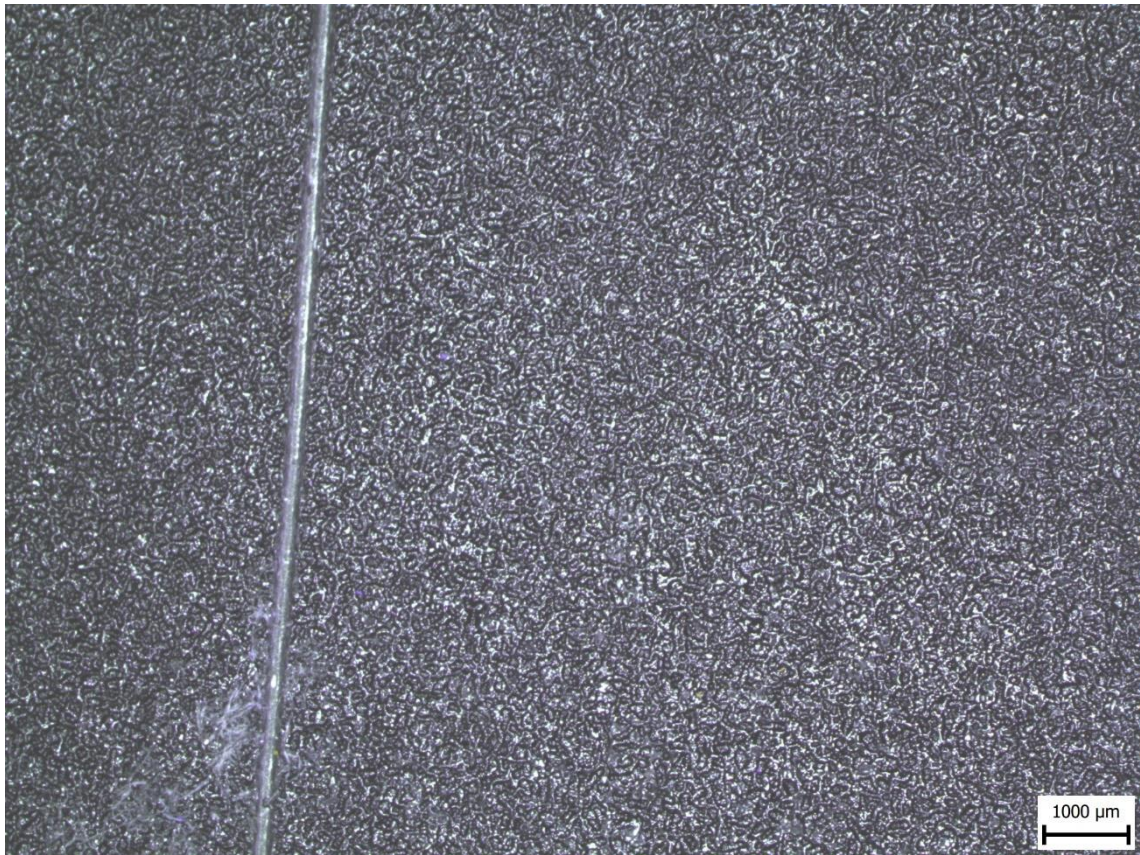


Obrázek 34 – Ocel samotná – zatížení 18 a 20 N (zleva)



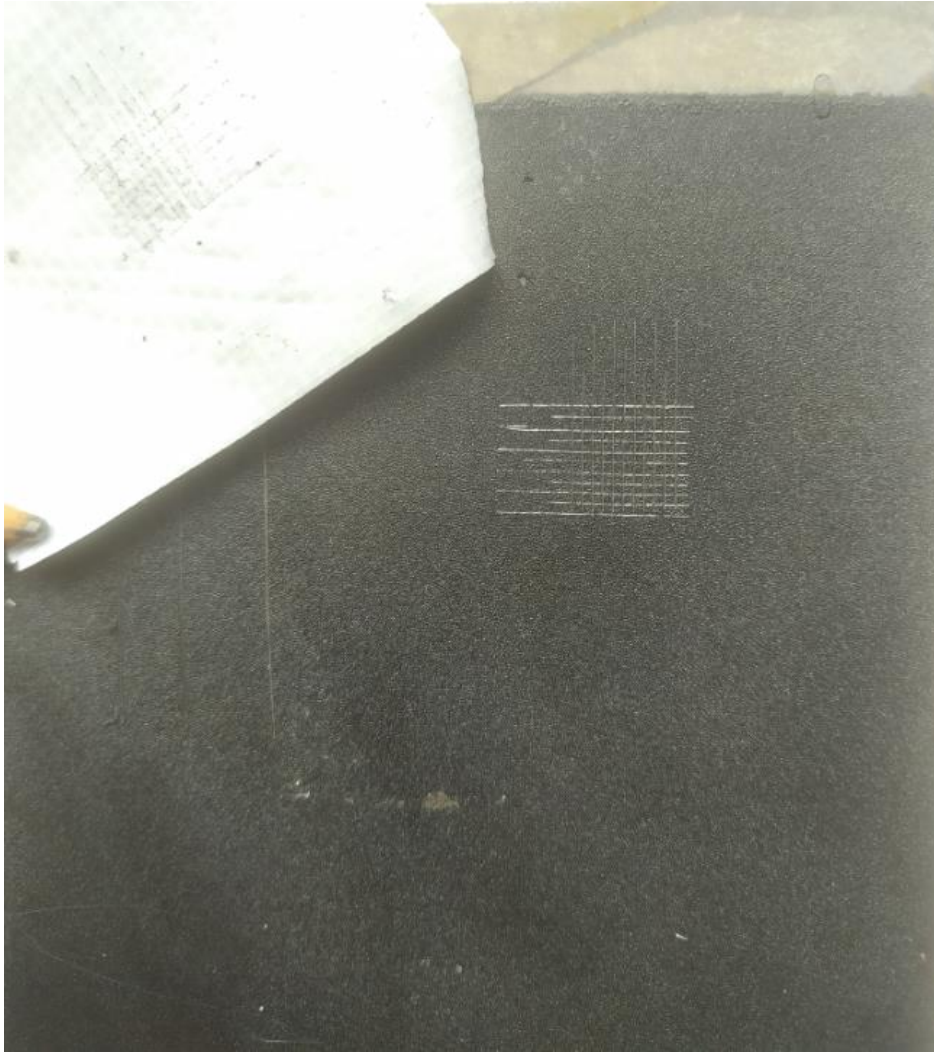
Obrázek 35 – Ocelový plech č.1 bez dalších úprav – mřížková zkouška – klasifikace 0

Skupina č.3 – Ocelové plechy 5 mm odmořené, bez dalších úprav – Vzorek č. 3.2



Obrázek 36 – Ocel samotná – zatížení 20 N, druhý plech

Zde je vidět určitý rozdíl v odolnosti proti vrypům oproti prvnímu ocelovému plechu. Ani nejvyšší možná síla 20 N nebyla schopna plně proniknout povlakem až na základní materiál. Ocelové vzorky obecně velmi překvapily svou odolností, která byla zřejmě způsobena vysokou adhezí díky hrubšímu povrchu a moření, které aktivovalo a otevřelo povrch. Kataforetický nepolymerizovaný povlak sice dokázalo mírně porušit i malé zatížení kolem 10 N, ale k úplnému prodření na základní materiál docházelo až při maximálních zatíženích a ne vždy.



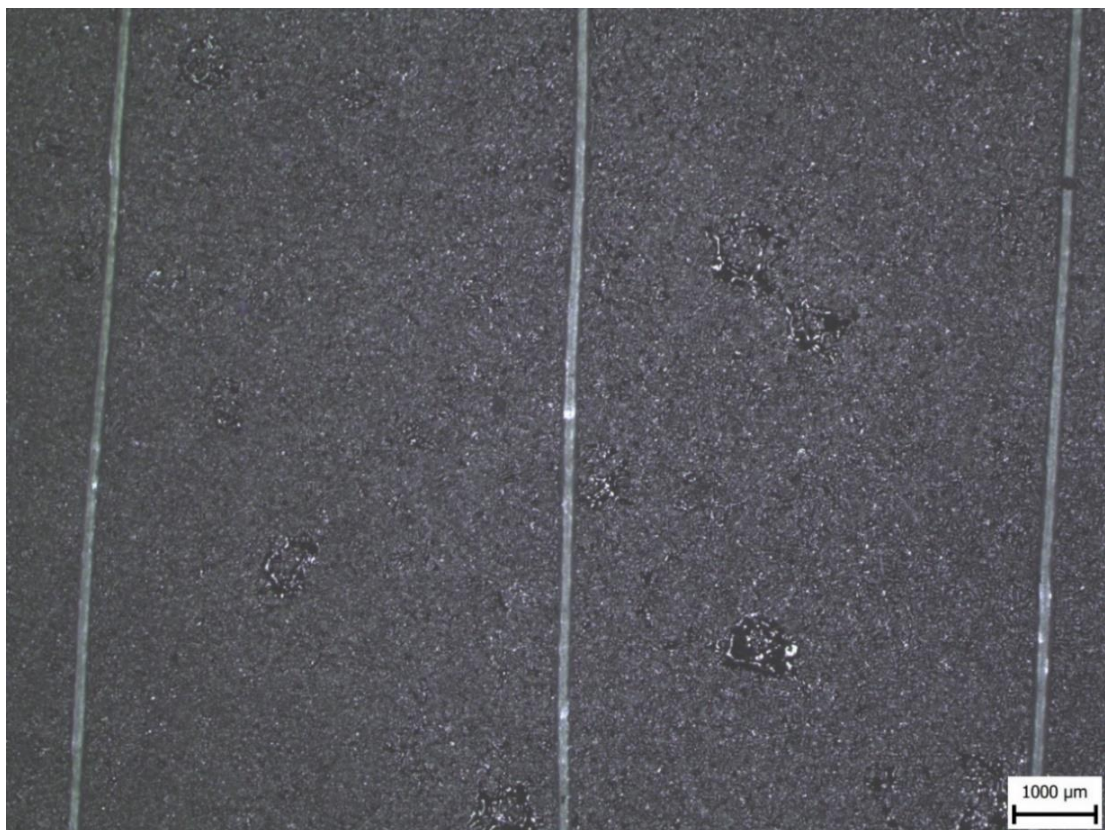
Obrázek 37 – Ocelový plech č.2 bez dalších úprav – mřížková metoda – klasifikace 0

Mimořádná kvalita a adheze povlaku na ocelových vzorcích se potvrdila i u mřížkové metody, kdy oba zkoušené vzorky vykazaly klasifikaci 0 bez viditelného odtržení materiálu v okolí mřížky. Pohledová kvalita byla u ocelových plechů bez úprav také velmi vysoká, což může být přisuzováno opět vyšší drsnosti povrchu ($R_a 1,65 \mu\text{m}$) a jeho odmořením, díky čemuž povlak lépe ulpěl, nestékal, a proto dosáhl pravidelné struktury.

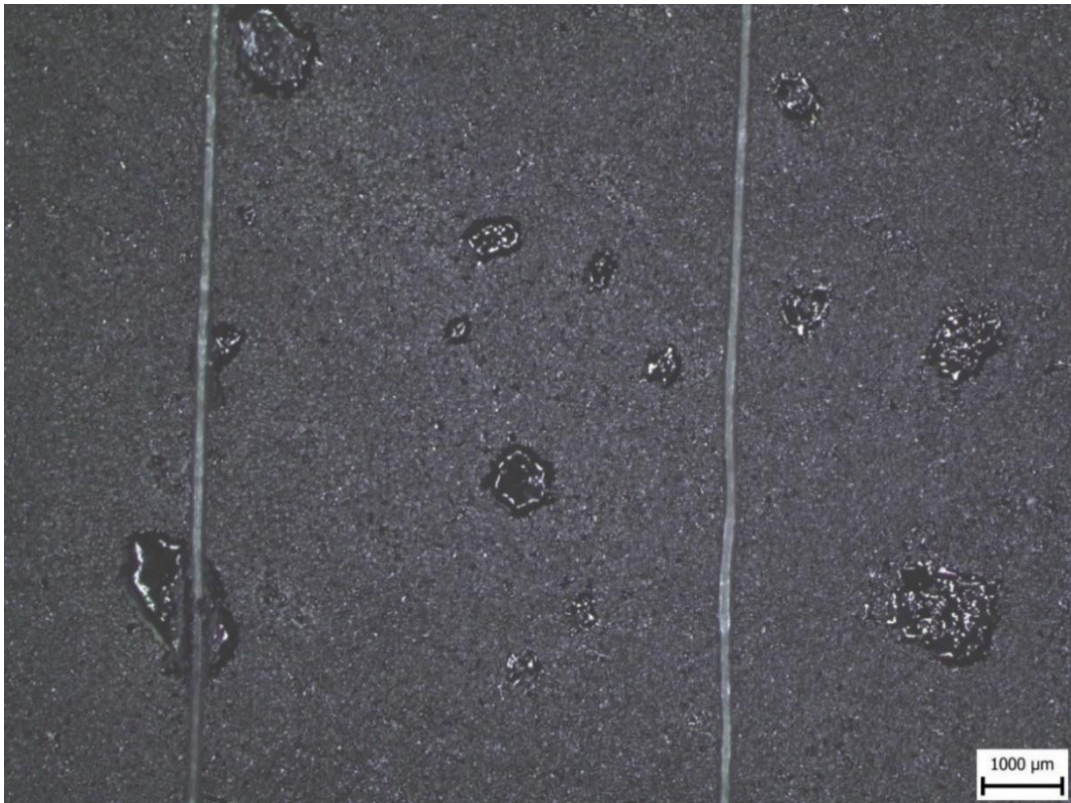
Skupina č.4 – Žárově zinkované ocelové plechy 5 mm s vrstvou zinečnatého fosfátu – vzorek č. 4.1 a 4.2

Tabulka 6 – Základní údaje 4. testované skupiny vzorků

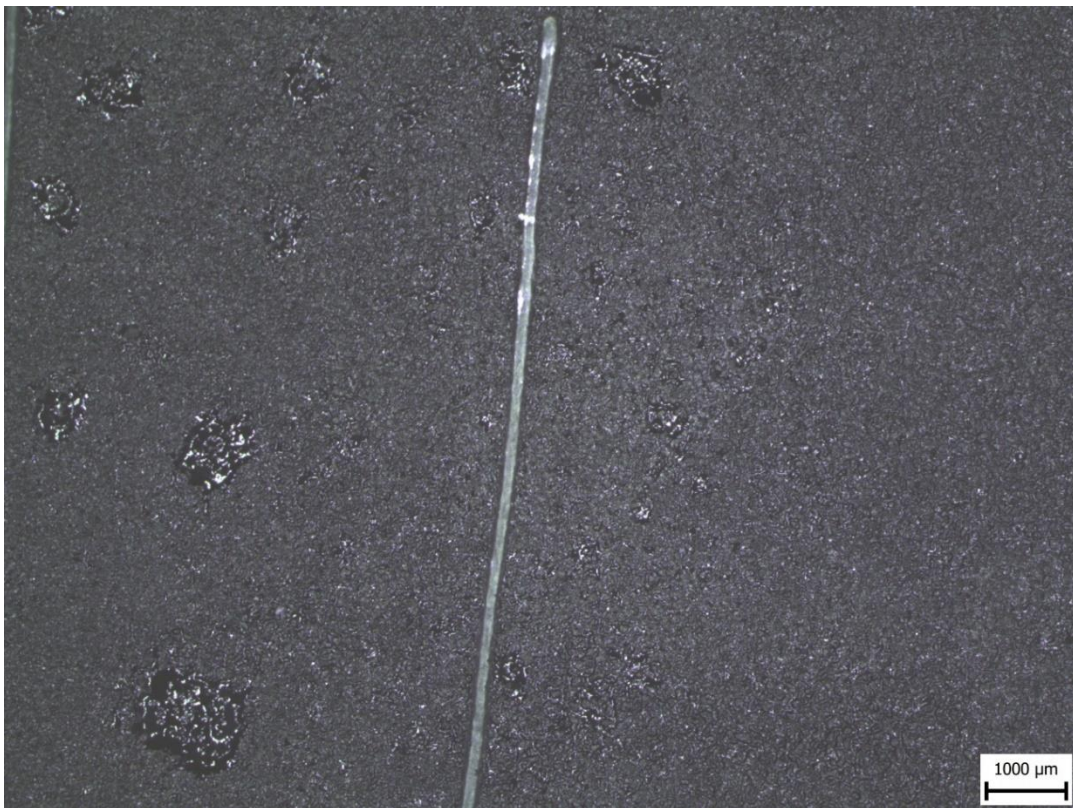
Základní materiál	Úprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocel	Žárově zinkování ponorem	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 0,95 μm	Zinečnaté fosfátování			Nepolymerizovaný



Obrázek 38 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – 12, 15, 18



Obrázek 39 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – 15, 18 N



Obrázek 40 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – zatížení 20 N

Vzorky s nanesenou fosfátovou vrstvou na pozinkovaném plechu se vyznačovaly tím, že tloušťka a hloubka rýh nebyly příliš úměrné zatížení jako u ostatních vzorků. I relativně malé zatížení 12 N bylo schopné vytvořit viditelnou rýhu, která ale neprošla na základní materiál. Velice obdobné výsledky následovaly při zvyšování zátěže až k maximálnímu možnému – 20 N. To již dokázalo dosáhnout základního materiálu, ale jen místy. Vrstva kataforetického povlaku velmi pevně ulpívala svými zbytky ve fosfátové vrstvě. Hrot se tedy poměrně snadno dostal skrz většinu tloušťky KTL povlaku, nicméně skrz zbytek povlaku v kombinaci s fosfátem již projít nemohl. Lze tedy tvrdit, že fosfátová vrstva poskytne nanesenému kataforetickému povlaku velmi vysokou adhezi srovnatelnou s povrchem odmořených ocelových vzorků. Nicméně docházelo ke vzniku kapek a pohledových nedokonalostí, které však neměly výrazný vliv na mechanickou odolnost povlaku. Tyto nedokonalosti se odstraní polymerizací.



Obrázek 41 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – mřížková zkouška – klasifikace 1

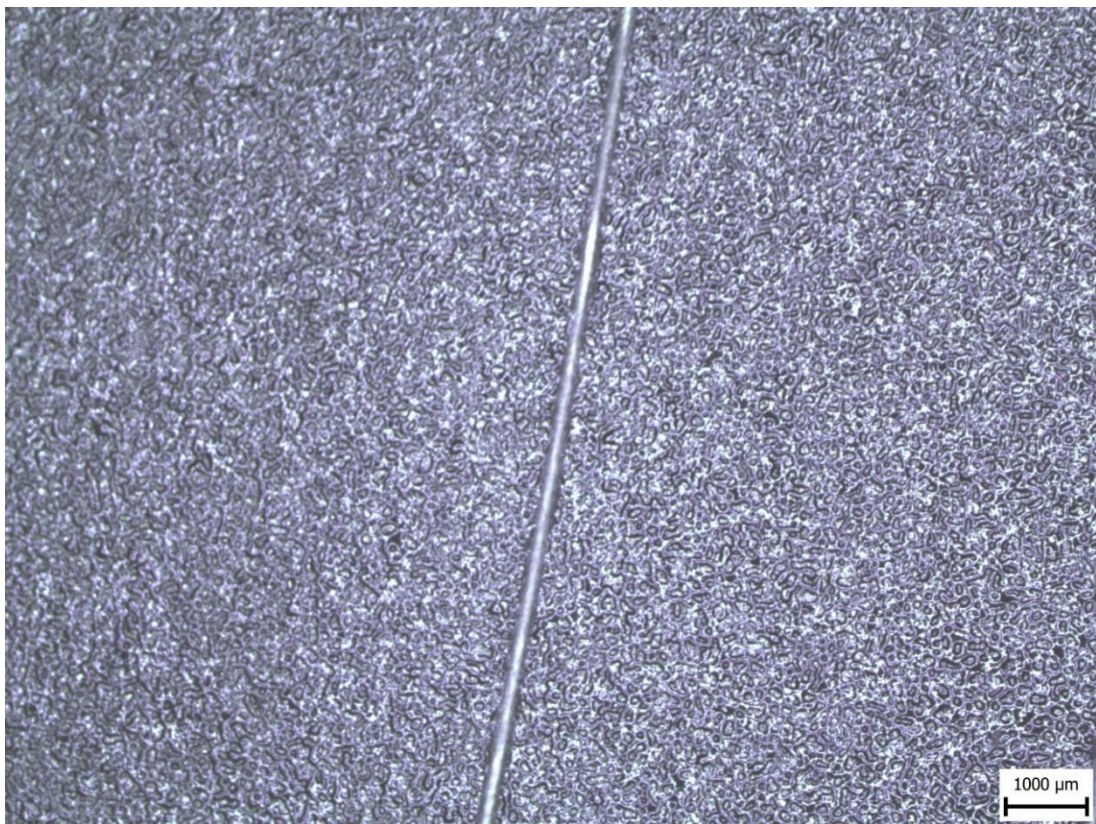
Mřížková zkouška potvrdila vynikající vlastnosti KTL s fosfátovou předúpravou. Ačkoliv nebyl povrch bez viditelných vad, jak tomu bylo například u povlaku na ocelových nezinkovaných vzorcích, dosáhla mřížka jako jediná na pozinkovaném plechu klasifikace 0. Při zkoumání mřížky na dalším vzorku tohoto druhu byla klasifikace již 1, nicméně šlo o klasifikaci hraniční a odtrh materiálu byl opravdu minimální. Lze tvrdit, že Zn-

fosfátování přináší vskutku vynikající adhezní vlastnosti a je téměř nepostradatelné jako mezivrstva mezi vrstvami zinku a dalšího nátěru.

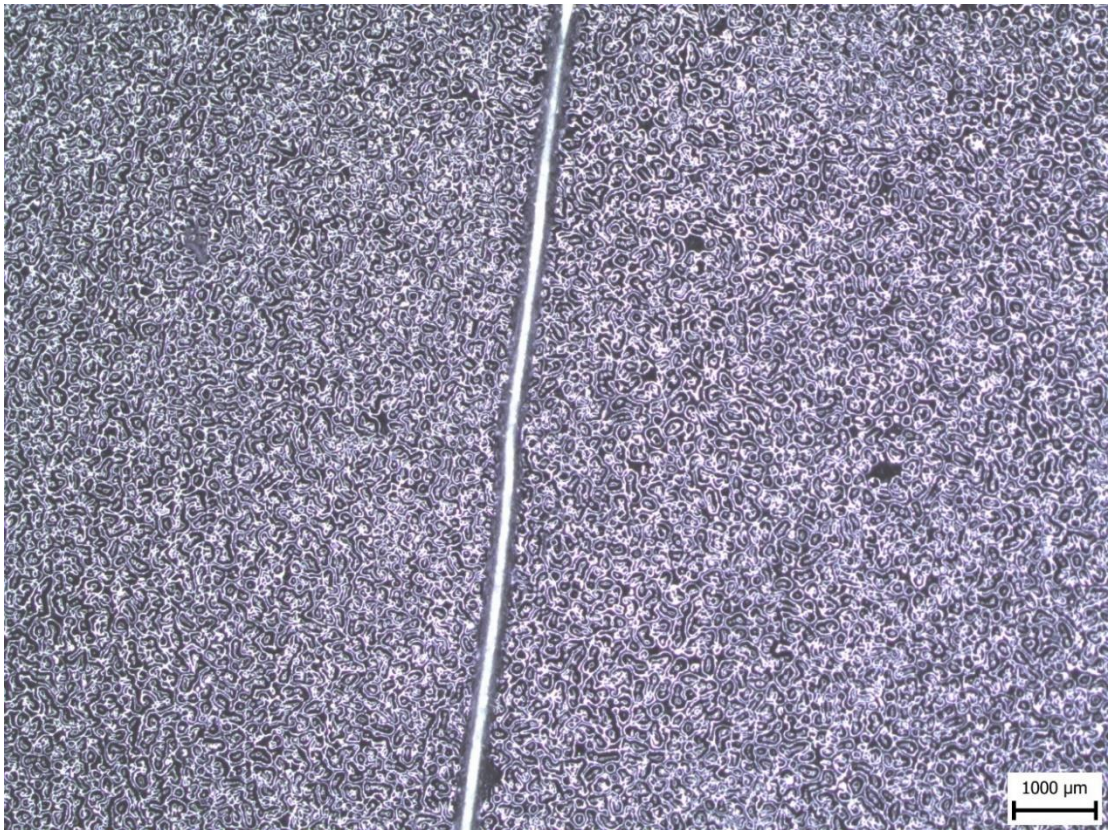
Skupina č.5 – Q-panely – tenké ocelové plechy s vrstvou zinečnatého fosfátu – vzorek č. 5.1 a 5.2

Tabulka 7 – Základní údaje 5. testované skupiny vzorků

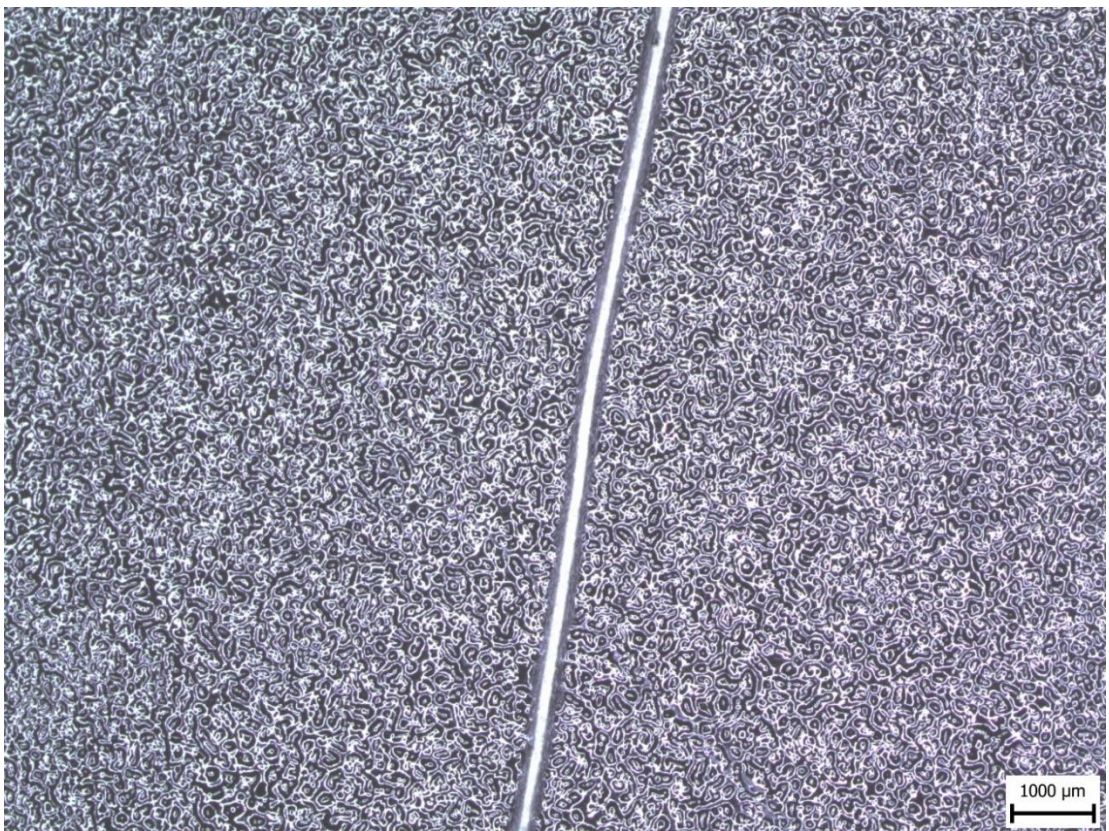
Základní materiál	Úprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocelové Q-panely	Zinečnaté fosfátování	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 1,35 μm				Nepolymerizovaný



Obrázek 42 - Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 10 N

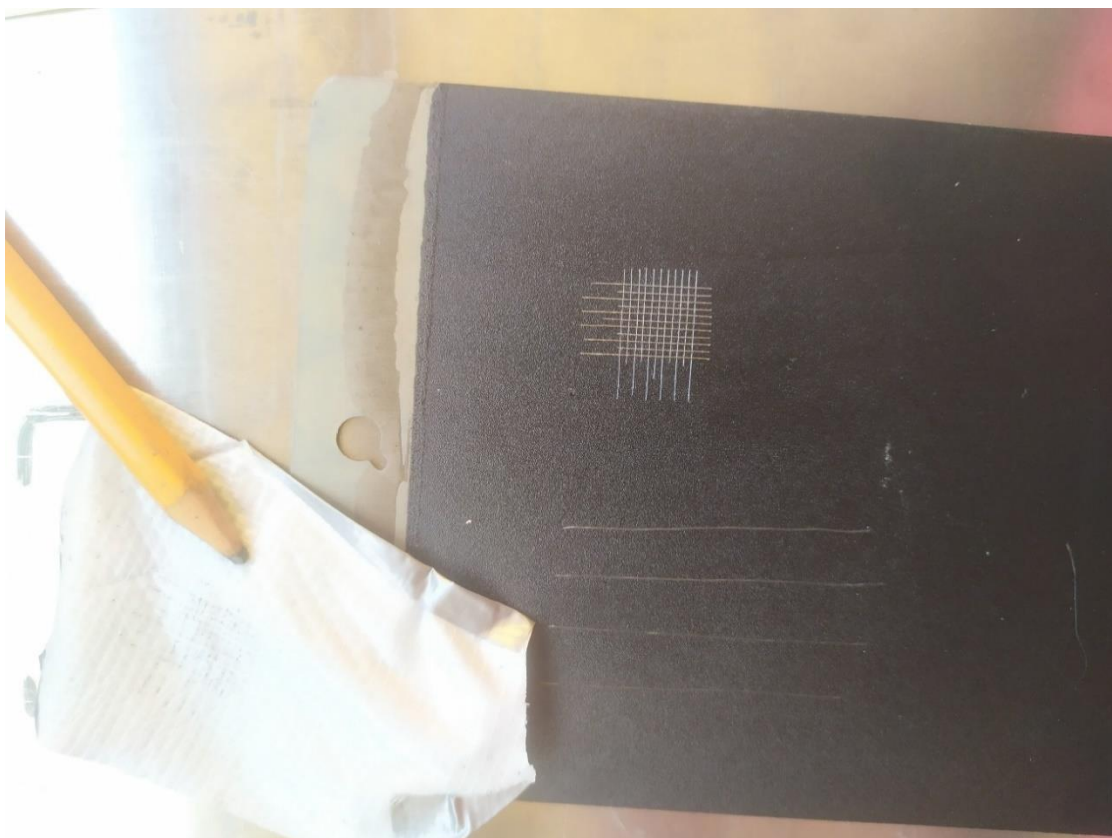


Obrázek 43- Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 13 N

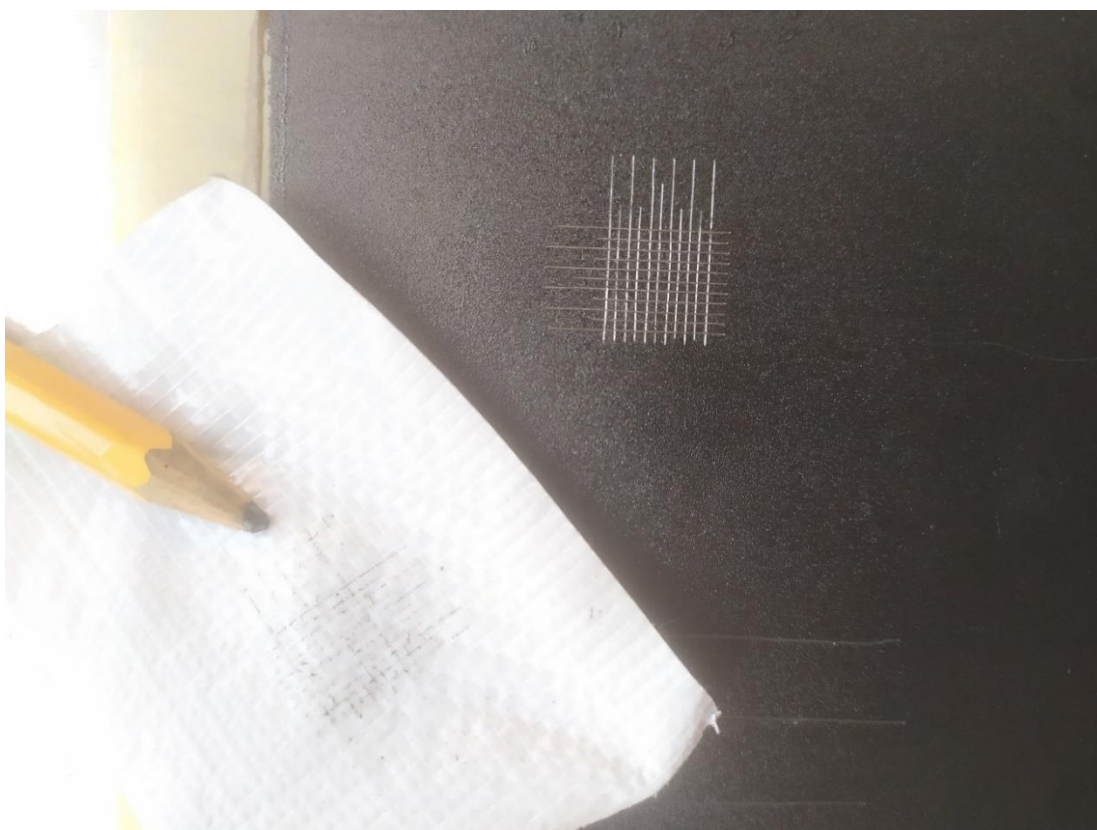


Obrázek 44 - Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 15 N

Z předchozích obrázků je patrná závislost velikosti vrypů na nastaveném zatížení. Při zatížení 10 N nedošlo k úplnému prodření povlaku na základní materiál, při 13 N už ano, což následný vryp provedený při zatížení 15 N jasně potvrdil. Nabízí se zde srovnání s tlustšími pozinkovanými ocelovými vzorky taktéž vybavenými fosfátovou vrstvou. Ty však měly za sebou ještě zinkování, které do značné míry snižuje drsnost povrchu a tím i adhezi. To ale srovnání nebrání, protože Q-panely byly z výroby poměrně hladké (R_a 1,35 μm). Nízká drsnost q-panelů byla pravděpodobně rozhodujícím faktorem, který zapříčinil poměrně nízkou odolnost proti vrypům navzdory fosfátování. Naproti tomu dokonale pravidelný povrch napomohl pohledové kvalitě, která byla proti silnějším fosfátovaným, a navíc pozinkovaným vzorkům podstatně lepší.



Obrázek 45 – Fosfátovaný tenký ocelový q-panel č.1 – klasifikace mřížky 0



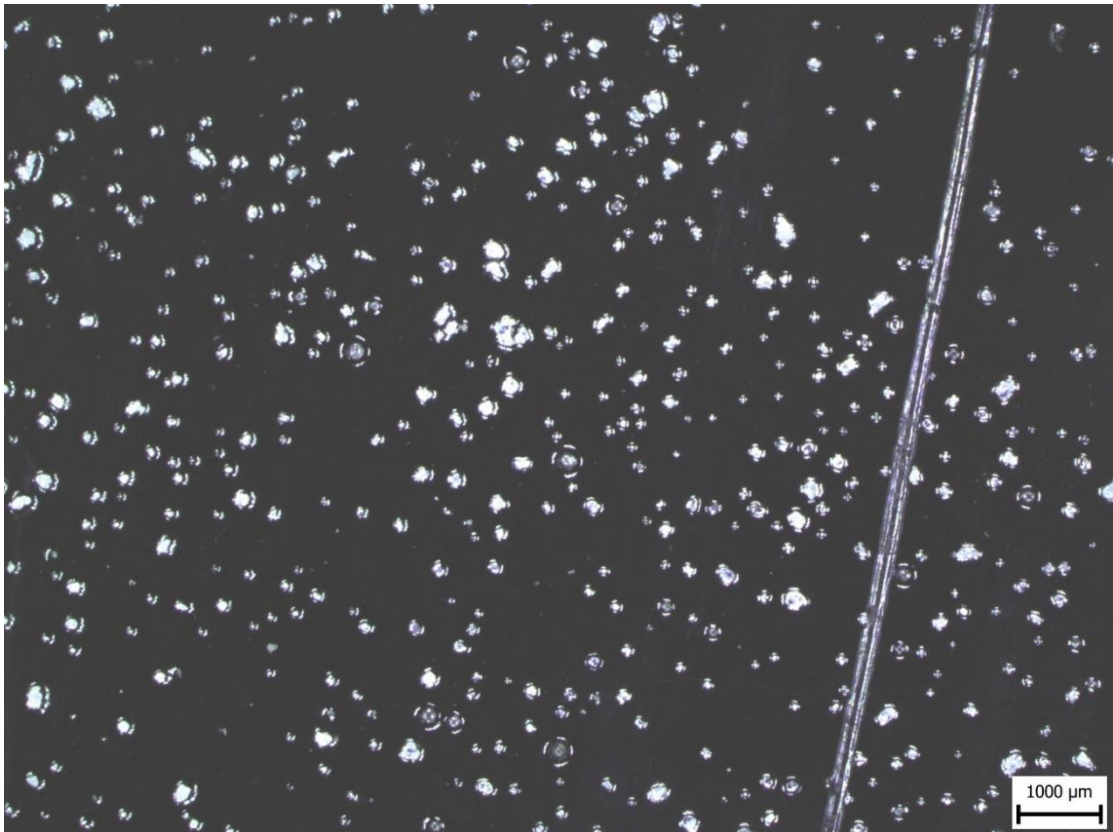
Obrázek 46 – Fosfátovaný tenký ocelový q-panel č.2 – klasifikace mřížky 0

Při mřížkové zkoušce obstály fosfátované q-panely stejně dobře jako silné ocelové plechy s vyšší drsností bez fosfátování – obě hodnocené mřížky dosáhly klasifikace O, což se dá přisuzovat pravidelnosti naneseného povlaku, která byla nejlepší u vzorků bez předchozího zinkování, a také adheznímu povrchu vytvořenému fosfátovou vrstvou.

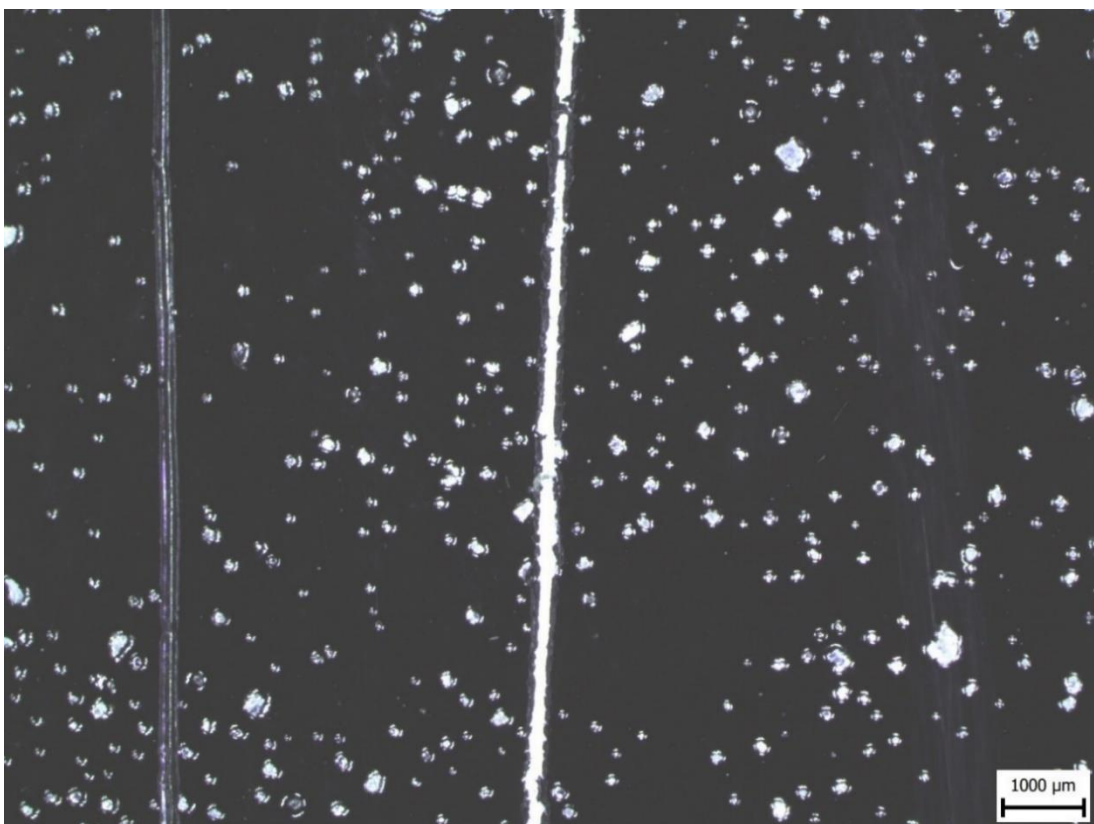
Skupina č.6 – Žárově zinkované ocelové plechy 5 mm s polymerizovaným kataforetickým povlakem – vzorek č. 6.1 a 6.2

Tabulka 8 – Základní údaje 6. testované skupiny vzorků

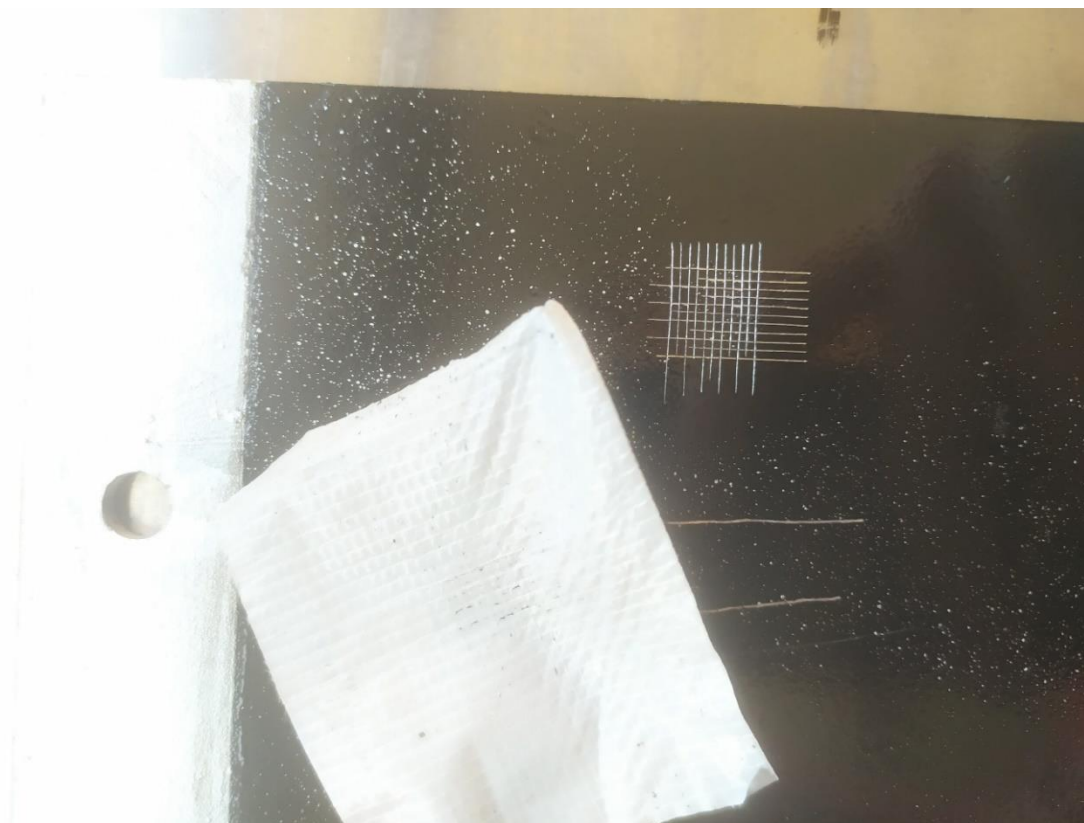
Základní materiál	Úprava povrchu	Parametry proud/napětí	lakování –	Úprava povlaku
Ocel	Žárově zinkování ponorem	2 A	165 V	Sušení – 50 °C/ 10 min
Drsnost: Ra 1,1 μm				Polymerizace, 180 °C, 15 min.



Obrázek 47 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak – zatížení 15 N



Obrázek 48 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak 15 N (vlevo) vs. 18 N (vpravo)



Obrázek 49 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak – mřížková zkouška – klasifikace 1

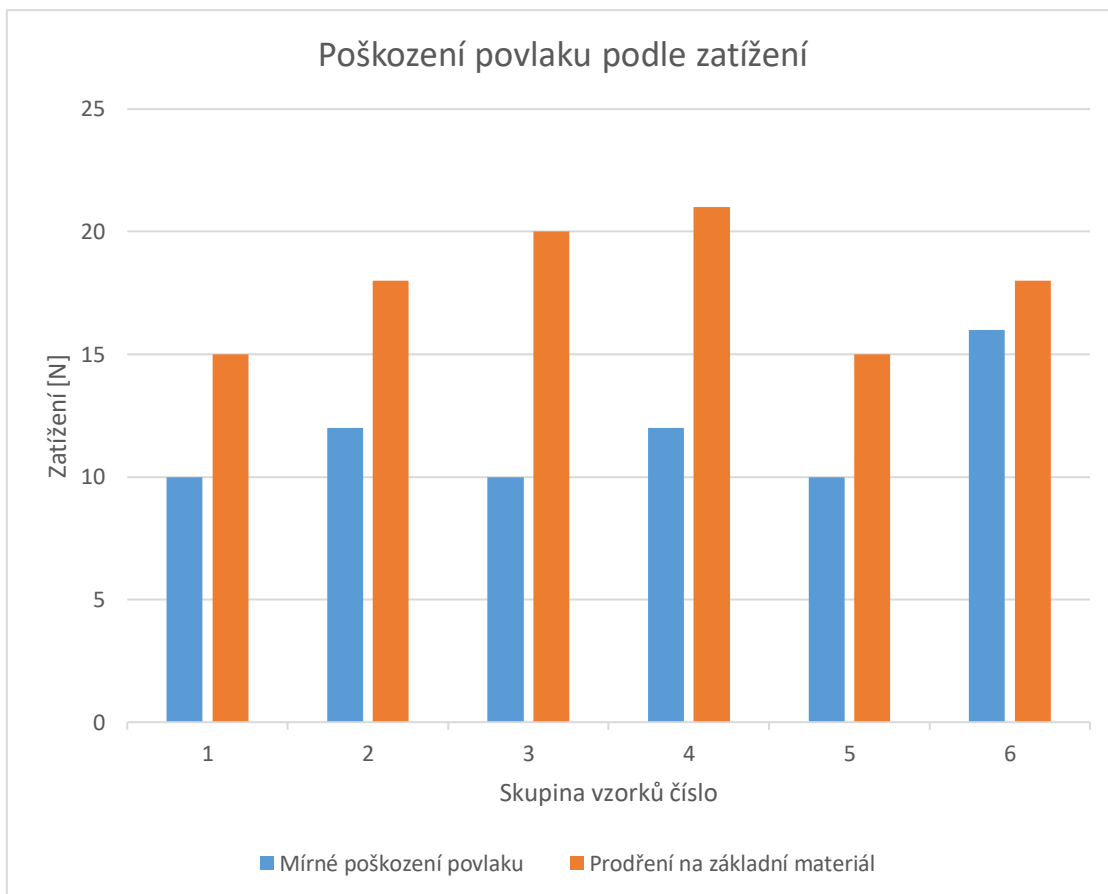
Polymerizovaný povlak získal nepochybně vyšší tvrdost a tím i odolnost proti mechanickým vlivům, avšak pouze do určitého mezního zatížení. U nevytvrzených povlaků stačilo k vytvoření mělké rýhy i malé zatížení kolem 10 N. Vytvrzený povlak téměř neumožňoval vytvoření rýhy nízkým zatížením. Viditelné rýhy, které však byly velice mělké a povlak v nich nebyl vážně poškozen, se tvořily až při zatížení kolem 15 N. Velikost ani hloubka těchto rýh se nijak výrazně neměnila, dokud zatížení nepřekročilo hraniční mez. Po jejím překročení – v rozmezí 18 až 20 N, došlo k protržení a kompletní devastaci laku až na základní materiál. Nutno podotknout, že tento polymerizovaný povlak byl na zinkovaných vzorcích bez dalšího fosfátování. Nepolymerizovaný povlak na identických pleších bez dalších úprav byl výrazněji poškozen již při působení 12 N a mřížkové zkoušky skončily klasifikací 1 a 2. Polymerizovaný povlak došel výrazného poškození až při 18 N a více, a mřížkové zkoušky skončily klasifikacemi 0 a 1.

6.5 Závěr

Následující tabulka ukazuje hodnoty zatížení, které zpravidla vedly k definovanému poškození. Každá skupina se skládala ze dvou vzorků o dvou stranách. Na každé straně proběhla vždy minimálně tři měření sklerometrem, většinou však více. Vzhledem k rozdílnému chování povlaků zejména u zkoušky tvrdosti sklerometrem nebyl vždy proveden stejný počet měření. Z toho důvodu nelze stanovit přesnou průměrnou hodnotu zatížení, která by vzhledem k chování některých povlaků, zejména polymerizovaného, ani nebyla vypovídající. Z toho důvodu tabulka uvádí zatížení, která obvykle způsobila poškození uvedené v levém sloupci tabulky.

Tabulka 9 - Mechanická odolnost jednotlivých povlaků

Skupina vzorků č.	1		2		3		4		5		6	
Zatížení obvykle způsobující mírné poškození povlaku [N]	10		12		10		12		10		15+	
Zatížení obvykle způsobující průnik na základní materiál [N]	15		18		20		20+		15		18	
Mřížková zkouška – klasifikace vzorků č.1 a č.2 ve skupině	1	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1



Obrázek 50 – Graf závislosti poškození povlaku na zatížení – zkouška tvrdosti sklerometrem

Zhodnocení:

Jak ukazuje tabulka a graf, zkouškami mechanické odolnosti nejlépe prošla skupina vzorků číslo 6 – polymerizovaný kataforetický povlak na zinkovaném ocelovém plechu. Tento výsledek nijak nepřekvapil, neboť polymerizace zásadně upravuje fyzikálně-mechanické vlastnosti KTL povlaku. Naopak nejhoršího výsledku dosáhl nepolymerizovaný povlak na identickém základu – skupina vzorků číslo 1 – nepolymerizovaný kataforetický povlak na pozinkovaném plechu. Výsledky obecně ukázaly pozitivní vliv předúprav povrchu a zejména konverzních vrstev na odolnost a přilnavost povlaků.

Zinkování bez následného nanesení adhezivní mezivrstvy vytváří až příliš hladký povrch, na kterém se kataforetický povlak vyznačuje nízkou přilnavostí a nevyhovujícími

mechanickými vlastnostmi. Naproti tomu má samozřejmě zinkování své opodstatnění v boji proti korozi a při použití fosfátové mezivrstvy jsou mechanické vlastnosti plně dostačující a srovnatelné s drsnějším povrchem, jakým při testování byly například pouze odmořené silné ocelové plechy bez dalších úprav.

Srovnání organosilanu s fosfátem dopadlo po stránce mechanické odolnosti jednoznačně ve prospěch fosfátové vrstvy, jakkoliv je používání organosilanů opodstatněné a nepochybně přináší zlepšení adheze a tím i mechanické odolnosti.

Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím adhezi povlaku byla drsnost. Nejlepších výsledků mechanické odolnosti dosahovaly povrchy bez povrchových úprav a povrchy fosfátované.

U mřížkové zkoušky hrála roli kromě drsnosti také homogenita a pravidelná struktura povlaku. Nejlepších výsledků dosahovaly i povlaky, které při zkoušce sklerometrem příliš neuspěly, ale měly bezchybný homogenní povrch – zejména hladké q-panely.

Polymerizace povlaku jednoznačně přispívá k výraznému zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností a z technologického hlediska je brána jako samozřejmost. Při nižší zátěži nedochází prakticky k vytvoření trhlin v povlaku. Rýhy od hrotu sklerometru jsou buď minimální hloubky a téměř povlak nepoškodí, nebo jej při překročení hraniční hodnoty zcela zdevastují a hrot úplně odhalí základní materiál. Hraniční hodnota byla při opakovaných měřeních velice podobná. Zde šlo vždy o hodnotu blízko 18 N.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-01-01472-X

[2] *Povrchově aktivní látky* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1411/podzim2014/BLKLC011p/um/Povrchove_aktivni_latky.pdf

[3] MATUŠKA, Miroslav a Marie KUČEROVÁ. *Moderní trendy v katarforéze*. *Povrchové úpravy*. 2018, (2), 15-18.

[4] *Klasifikace fosfátových povlaků* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62012/klasifikace-fosfatovych-povlaku.html>

[5] *Katarforézní lakování* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.lakol.cz/project/katoforeza/>

[6] *Katarforetické lakování* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.mega.cz/cs/katarforeticke-lakovani/>

[7] *Technologie tryskání* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.vykov.cz/aktualne/technologie-tryskani>

[8] *Elektrochemická řada prvků* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/elektrochemicka-rada.html>

[9] *Galvanické pokovování* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.one/lexikon/galvanicke-pokovovani/>

[10] *Technologie alkalického bezkyanidového a slabě kyselého zinkování* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12015/porovnani-technologie-alkalickeho-bezkyanidoveho-a-slabe-kyseleho-zinkovan.html>

- [11] *Technologie žárového zinkování* [online]. [cit. 2020-07-31]. Dostupné z: <http://www.alphaunion.cz/nabidka/zarove-zinkovani>
- [12] *Electrocoating process* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.ppgcoat.com/Process.aspx>
- [13] VELÍŠEK, Josef. *Elektroforesa, elektroosmosa a zjevy inversní*. Praha: Přírodovědecké vydavatelství, 1952. ISBN 78231.
- [14] KORVASOVÁ, I. *Studium mechanismu vytvrzování epoxidových pryskyřic* [online]. 1992 [cit. 2020-08-01]. Diplomová práce. Zlín: VUT FT.
- [15] LIDAŘÍK, M a j. *Epoxidové pryskyřice*. Praha: SNTL, 1983.
- [16] KALEDOVÁ, Andrea. *Technologie nátěrových hmot I: Pojiva, rozpouštědla a aditiva pro výrobu nátěrových hmot*. Univerzita Pardubice, 2004.
- [17] GRIMMER J., MÁLEK M., SANTHOLZER R.: *Organická rozpouštědla*. Praha: SNTL, 1956.
- [18] *Organická rozpouštědla a možnosti jejich zpracování* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/organicka-rozpoustedla-a-moznosti-jejich-zpracovani.html>
- [19] *Xyleny* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/irz/repository/latky/xyleny.pdf>
- [20] *Povrchové úpravy a nátěrové hmoty* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_naterove_hmoty_2018_kubicek.pdf
- [21] HOLOUBEK, Vít. *Kataforetické lakování* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-04-clanek01.htm>

[22] POSPÍŠIL, Ladislav. *Polymery a plasty: Epoxidové pryskyřice* [online]. 2013 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2284187/>

[23] *Polymer crosslinking* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.marmon-ad.com/polymer-cross-linking>

[24] DUCHÁČEK, V. *Polymery – výroba, vlastnosti, zpracování, použití* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/103.html

[25] *Rozdělení a charakteristika polymerů* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/04.html>

[26] *Charakteristika a rozdělení plastů* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Technicke_materialy_GEI.pdf

[27] JANOŠOVÁ, Monika. *Vytvrzování epoxidových systémů* [online]. Zlín, 2011 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16882/jano%C5%A1ov%C3%A1_2011_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. UTB, FT.

[28] BENEŠ, Miroslav. *Kinetika vytvrzování epoxidových pryskyřic* [online]. Zlín, 2005 [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/441/bene%20_2006_bp.pdf?sequence=1. Diplomová práce. UTB, FT.

[29] STOKLASA, Karel. *Makromolekulární chemie I* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/939/mod_resource/content/2/Skripta_MMCH_I.pdf

[30] *Cataphoresis process* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <http://www.grupokataforesis.com/processes-en.html>

- [31] *Adhesion of epoxy cataphoretic coatings on Zn alloys* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/26488883_Adhesion_of_epoxy_cataphoretic_coatings_on_Zn_alloys
- [32] *Laboratorní zdroj KXN-5005D 0-500V/5A* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/laboratorni-zdroje/spinane-pulzni/laboratorni-zdroj-kxn-5005d-0-500v-5a.html>
- [33] *TSCALE QHW* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: https://www.pokladnyvahy.cz/pocitaci-vahy/tscale-qhw--15-30kg-5-10--300mmx230mm/?gclid=EAIaIQobChMIImuWB-Zn66gIVB7TtCh1RWwCeEAQYAiABEgKv6fD_BwE
- [34] *OLYMPUS LEXT OLS 3000* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.olympus-global.com/en/news/2004a/nr040326ols3e.html>
- [35] *Sklerometr* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/45-sklerometr-pro-mereni-tvrlosti-nateru.html>
- [36] *Vyhodnocení mřížkové zkoušky* [online]. [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/44011796-Bakalarska-prace-bachelor-thesis.html>
- [37] *Příručka žárového zinkování* [online]. [cit. 2020-08-03]. Dostupné z: <http://zarova-zinkovna.me.a.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf>
- [38] DROBILÍK, Michal. *Organosilany a jejich aplikační možnosti* [online]. Zlín, 2015 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/33745/drobil%3%adk_2015_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. UTB, FT.
- [39] *Drsnoměr Surftest SJ-210* [online]. [cit. 2020-08-06]. Dostupné z: <https://www.proinex.cz/cs/260-drsnomer-surfest-sj-210.html>

8 SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Technologický postup žárového zinkování máčením – suchý způsob [11]	17
Obrázek 2 - Technologie hromadného odstředivého zinkování [37]	18
Obrázek 3 – Katodické a anodické povlakování [12]	21
Obrázek 4 – Systém elektroforézy [21]	22
Obrázek 5 – Kataforézní uzel [21]	22
Obrázek 6 – Epoxidová pryskyřice s glycidilovou skupinou. [22]	25
Obrázek 7 – Chemická struktura epoxidu glycidolu [22]	26
Obrázek 8 – Epoxidová pryskyřice s epoxidovou skupinou [22]	26
Obrázek 9 – Postup výroby epoxidových pryskyřic [22]	26
Obrázek 10 – Reakce vzniku Bisfenolu A [14]	27
Obrázek 11 – Chemická reakce přechodu propylenu v alylchlorid [14]	28
Obrázek 12 – Chemická reakce dodání kyseliny chlorné na alylchlorid [14]	28
Obrázek 13 – Chemická reakce dehydrogenace dichlorhydrinu [14]	28
Obrázek 14 – Princip polymerace graficky [26]	34
Obrázek 15 – Typy polymerů [25]	35
Obrázek 16 – TTT diagram vytvrzování pryskyřice [27]	36
Obrázek 17 – Epoxidová skupina s elektrofilním charakterem [28]	37
Obrázek 18 – Epoxidová skupina s nukleofilním charakterem [28]	37
Obrázek 19 – ZHAOXIN KXN-5005D [32]	39
Obrázek 20 – TSCALE QHW [33]	40
Obrázek 21 – OLYMPUS LEXT OLS 3000 [34]	40
Obrázek 22 – Sklerometr [35]	41
Obrázek 23 – Mitutoyo SJ-210 [39]	42
Obrázek 24 – Klasifikace mřížkové zkoušky dle normy ISO 2409 [36]	44
Obrázek 25 – Pomůcky pro provedení mřížkové zkoušky 1	45
Obrázek 26 – Pomůcky pro provedení mřížkové zkoušky 2	45
Obrázek 27 – Ocelový plech žárově zinkovaný. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva)	48
Obrázek 28 – Ocelový plech žárově zinkovaný. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva)	49
Obrázek 29 – Ocelový plech žárově zinkovaný – mřížková metoda – klasifikace 1 ...	49

Obrázek 30 – Ocelový plech žárově zinkovaný s organosilanem. Zatížení 10, 12 a 15 N (zleva).....	51
Obrázek 31 – Ocelový plech žárově zinkovaný s organosilanem. Zatížení 18 N	51
Obrázek 32 – Žárově zinkovaný ocelový plech s organosilanem – mřížková metoda – klasifikace 1.....	52
Obrázek 33 – Ocel samotná – Zatížení 10 a 12 N (zleva)	53
Obrázek 34 – Ocel samotná – zatížení 18 a 20 N (zleva)	54
Obrázek 35 – Ocelový plech č.1 bez dalších úprav – mřížková zkouška – klasifikace 0	55
Obrázek 36 – Ocel samotná – zatížení 20 N, druhý plech.....	56
Obrázek 37 – Ocelový plech č.2 bez dalších úprav – mřížková metoda – klasifikace 0	57
Obrázek 38 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – 12, 15, 18.....	58
Obrázek 39 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – 15, 18 N	59
Obrázek 40 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – zatížení 20 N.....	59
Obrázek 41 – Žárově zinkovaný plech s vrstvou fosfátu – mřížková zkouška – klasifikace 1	61
Obrázek 42 - Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 10 N	62
Obrázek 43- Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 13 N .	63
Obrázek 44 - Plech ocelový tenký (q-panel) se zinečnatým fosfátem – zatížení 15 N	63
Obrázek 45 – Fosfátovaný tenký ocelový q-panel č.1 – klasifikace mřížky 0	65
Obrázek 46 – Fosfátovaný tenký ocelový q-panel č.2 – klasifikace mřížky 0	65
Obrázek 47 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak – zatížení 15 N	67
Obrázek 48 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak 15 N (vlevo) vs. 18 N (vpravo)	67
Obrázek 49 – Žárově zinkovaný ocelový plech – polymerizovaný povlak – mřížková zkouška – klasifikace 1.....	68
Obrázek 50 – Graf závislosti poškození povlaku na zatížení – zkouška tvrdosti sklerometrem.....	70

9 SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK

Tabulka 1 – Řada vybraných kovů podle ušlechtilosti [1]	15
Tabulka 2 - Testované vzorky a jejich parametry	46
Tabulka 3 – Základní údaje 1. testované skupiny vzorků	48
Tabulka 4 – Základní údaje 2. testované skupiny vzorků	50
Tabulka 5 – Základní údaje 3. testované skupiny vzorků.....	53
Tabulka 6 – Základní údaje 4. testované skupiny vzorků	58
Tabulka 7 – Základní údaje 5. testované skupiny vzorků	62
Tabulka 8 – Základní údaje 6. testované skupiny vzorků	66
Tabulka 9 - Mechanická odolnost jednotlivých povlaků	69

