

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

**Studium protikorozní ochrany hliníku
tenkým povlakem**

Study of Anticorrosive Protective of
Aluminum with Thin Coating

Student:

Luděk Vyhnánek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Xenie Ševčíková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student: **Luděk Vyhnánek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Studium protikorozní ochrany hliníku tenkým povlakem**
Study of Anticorrosive Protective of Aluminum with Thin Coating
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Studie vlastností hliníku a možností jeho povrchové úpravy.
2. Stanovení vhodné povrchové úpravy s využitím nátěrových systémů.
3. Návrh metodiky experimentálních prací.
4. Realizace experimentálního zkoušení a vyhodnocení.
5. Diskuze a závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. Vydání 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
ČSN EN ISO 12 944. *Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*. Český normalizační institut, 1998, 1999, 2008.
BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P. *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Xenie Ševčíková, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry

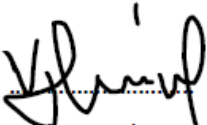



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21.5.2018

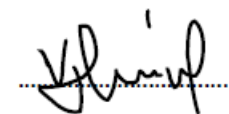


Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále je „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 21.5.2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Luděk Vyhnánek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Sadová 172/15

Šumperk 787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VYHNÁNEK, L. *Studium protikorozní ochrany hliníku tenkým povlakem*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, s. Vedoucí bakalářské práce: Ing. Xenie Ševčíková, PhD.

Bakalářská práce se zabývá studiem protikorozní ochrany hliníku tenkým organickým povlakem. Práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Teoretická část se zabývá studii vlastností hliníku a jeho slitin, možnostmi a stanovením vhodné povrchové úpravy s využitím nátěrových systémů. Experimentální část zahrnuje hodnocení přilnavosti nátěrového systému k zaprášenému povrchu materiálu hliníku různými typy prachů. Zkoušený je jeden typ materiálu a to holý testovací panel, kde jsou dva vzorky zaprášeny zinkovým prachem VP. Na další dva vzorky je nanesen zinkový prach HP a dva vzorky jsou bez znečištění povrchu.

ANNOTATION OF BACHLEOR THESIS

VYHNÁNEK, L. *Study of Anticorrosive Protective of Aluminum with Thin Coating*. VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, p. Advisor master thesis: Ing. Xenie Ševčíková, PhD.

The bachelor thesis deals with the study of anticorrosive protection of aluminum with a thin organic coating. The thesis is divided into the theoretical and the practical part. The theoretical part deals with the study of the properties of aluminum and its alloys and also with the possibilities and determinativ of suitable surface treatment using paint systems. The experimental part includes an assessment of the adhesion of the paint system to the dusty surface of the aluminum material with different types of dust. There is one type of material which is tested and that is a single test panel, where two samples are covered with zinc dust VP. Two more samples are coated with HP zinc dust and two samples without surface contamination.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod.....	9
1. Technologické materiály na bázi hliníku.....	10
1.1. Fyzikální vlastnosti hliníku.....	11
1.2. Mechanické vlastnosti hliníku.....	12
1.3. Chemické vlastnosti hliníku.....	13
1.4. Slitiny hliníku.....	14
1.4.1. Slitiny pro tváření	15
1.4.2. Slitiny pro odlévání.....	18
1.5. Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin	18
1.5.1. Žihání	19
1.5.2. Vytvrzování	20
2. Koroze hliníku	22
2.1. Korozní vlastnosti hliníku a jeho slitin	22
2.2. Druhy koroze u hliníku a jeho slitin.....	23
2.2.1. Důlková koroze.....	24
2.2.2. Mezikrystalická koroze.....	25
2.2.3. Koroze po vrstvách	25
3. Povrchová úprava materiálu na bázi hliníku.....	26
3.1. Eloxování	26
3.1.1. Fyzikálně - chemické vlastnosti anodicky vytvořených vrstev	27
3.1.2. Stejnoseměrný proud - metoda kyseliny sírové.....	27
3.2. Povlaky.....	28
3.2.1. Anorganické povlaky.....	29
3.2.1. Organické povlaky.....	29
4. Návrh metodiky experimentálních prací.....	33
5. Provedení experimentálních prací	34
5.1. Příprava vzorků	34
5.2. Měření drsnosti povrchu před odmaštěním.....	34
5.3. Odmaštění	36
5.4. Měření drsnosti vzorků po odmaštění	37
5.5. Měření povrchového napětí.....	37
5.6. Určení zaprášení povrchu a zaprášení povrchu.....	39
5.7. Aplikace nátěru	42

Bakalářská práce	Luděk Vyhnánek
5.8. Měření tloušťky nátěru.....	44
5.9. Křížový řez.....	46
5.10. Korozní zkouška.....	50
5.11. Křížový řez po korozní komoře.....	51
Závěr.....	55
Seznam použité literatury.....	58
Seznam obrázků.....	59
Seznam tabulek.....	60

Seznam použitých značek a symbolů

E	Modul pružnosti v tahu	MPa
HP	Zinkový prach	
L	Vyhodnocovací délka	mm
pH	Vodíkový exponent	
Ra	Průměrná aritmetická odchylka profilu	μm
Rm	Pevnost v tahu	MPa
Rz	Výška nerovnosti profilu	μm
T	Teplota	°C
VP	Zinkový prach	
λ_c	Filtr profilu	
ΔH_t	Teplo tání	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
ΔH_v	Teplo varu	$\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Úvod

V průmyslu je využití hliníku stále častější, ať už díky jeho nízké hmotnosti, snadnému tváření za tepla i za studena, tepelné i elektrické vodivosti, či velké odolnosti proti korozi. Hliník je nejčastěji využíván ve formě slitin. Nejznámější slitinou je dural. Oproti čistému hliníku je dural až 5x pevnější v tahu a tvrdší při zachování nízké hmotnosti.

Široké využití hliníku v současnosti je v elektrotechnice, ve stavebnictví, strojírenství, potravinářském a chemickém průmyslu, ale největším spotřebitelem hliníku je oblast dopravy konkrétně letecký průmysl. I když je snaha o jeho nahrazování ještě lehčími materiály na bázi hořčíku, uhlíkovými a skleněnými vlákny kompozitů, zůstává hliník nenahraditelným materiálem, pokud se jedná o komponenty namáhané při vyšších napětích.

Koroze je problém, který zatěžuje mnoho materiálů a hliník je jedním z nich, i když ne v takové míře. Proto vznikají nové a stále vyspělejší metody ochrany. Například ve formě antikoročních povlaků i nátěrů. Důležitým faktorem je příprava povrchu před aplikací nátěrů a dodržet bezprašné prostředí.

1. Technologické materiály na bázi hliníku

Hliník v přírodě je třetí nejrozšířenější prvek. Tam se jako čistý nevyskytuje a tvoří velké množství sloučenin. Nejdůležitější minerál pro zhotovení hliníku je bauxit. Bauxit je směsí hydratovaných forem oxidu hlinitého, kde převažuje böhmit ($\text{Al}_3\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), význačné použití má také kryolit (Na_3AlF_6 - hexafluorohlinitantrisodný) a korud (Al_2O_3 - oxid hlinitý).^{3,4}

Hliník je neušlechtilý kov stříbřitě šedé barvy s atomovým číslem 13, který krystalizuje v kubické plošně centrované mřížce. Teplota tání $660,32^\circ\text{C}$ a teplota varu 2519°C . Nevýhodou hliníku je v jeho nízkých pevnostních vlastnostech, které omezuje použití v širším měřítku, ale existují možnosti zvýšení pevnostních vlastností ze stránky fyzikální metalurgie, kromě deformačního zpevnění. Substitučním zpevněním mřížky Al vytvořením tuhého roztoku α , velký praktický význam má precipitační zpevnění - vytvrzování a disperzním zpevněním.^{3,4,8}

Hliník a jeho vlastnosti závisí především na obsahu nečistot a tepelném zpracování. Při styku s oxidačním prostředím (voda, vzduch, pára) se na povrchu vytváří tenká vrstva oxidu hlinitého a kov se stává stabilním. Tato vrstva zabraňuje přístupu kyslíku k povrchu, což znemožňuje budoucí degradaci.^{4,5}



Obrázek 1 - Základní materiál⁹

1.1. Fyzikální vlastnosti hliníku

Hliník má dobré plastické vlastnosti za studena i za tepla díky kubicky plošně centrované mřížce K12. Skluzové rovin skluzové roviny jsou roviny $\{111\}_a$, skluzové směry $\langle 110 \rangle_a$. V tabulce 1 jsou shrnuty některé fyzikální vlastnosti. ⁴

Tabulka 1 – Fyzikální vlastnosti hliníku ⁴

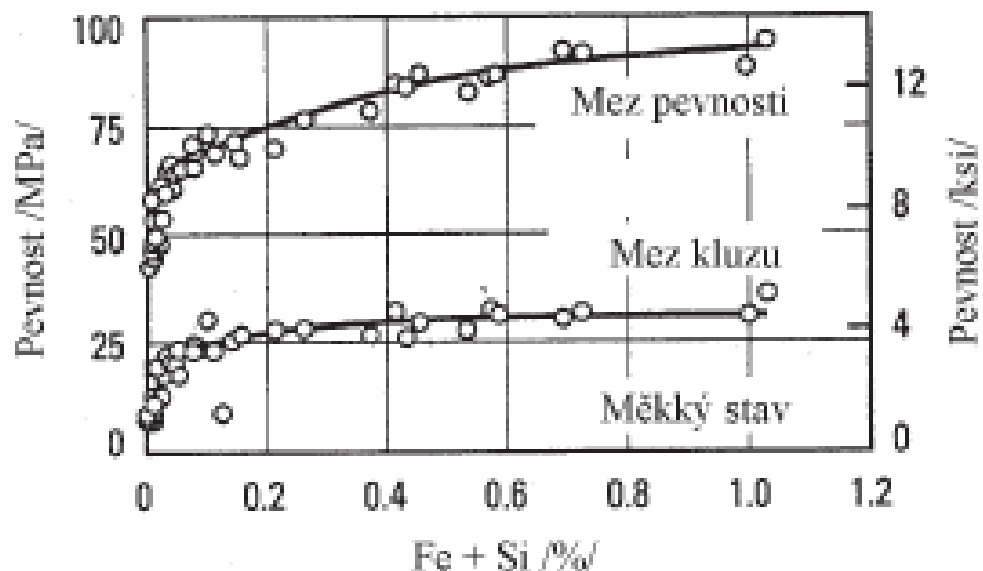
Vlastnosti	Hodnoty
Parametr mřížky	$a = 0,404958 \text{ nm}$
Hustota	$2,6989 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (při 20°C)
Teplota tavení	$660,4^\circ\text{C}$
Teplota varu	2494°C
Tepelná vodivost	62 % IACS (Al 99,8) 65-66% IACS (Al 99,999+)
Latentní teplo tavení	$397 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Latentní teplo varu	$10,78 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	
Specifické teplo	$0,900 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K}$ (při 25°C) $1,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ (při $660,4^\circ\text{C}$)
Spálené teplo	$31,05 \text{ MJ/kg}$
Elektrický odpor	$26,2 \text{ n}\Omega \cdot \text{m}$ (Al 99,999+ při 20°C)
Teplota supravodivosti	$1,2 \text{ K}$
Účinný průřez pro neutrony	$0,2 \text{ b/atom}$ pro energii neutronu $0,02 \text{ V}$ $0,65 \text{ b/atom}$ pro energii neutronu 100 MV

Tyto fyzikální vlastnosti mají využití v jednotlivých oborech. Například v energetickém průmyslu má využití tepelná vodivost, elektrická vodivost v elektrotechnice, účinný průřez pro neutrony v aplikaci slitin v jaderné energetice atd. ⁴

1.2. Mechanické vlastnosti hliníku

Jedním z nejdůležitějších kritérií, podle kterého se určuje vhodný materiál a jeho použití jsou mechanické pevnostní vlastnosti. Ve většině případů návrhu použití materiálu jsou požadovány další vlastnosti, a to únavové (rychlost šíření únavové trhliny, vysokocyklonová únava) nebo fyzikální (elektrická a tepelná vodivost, korozní odolnost). Do základních mechanických vlastností řadíme zkoušky tahem, tlakem, zkoušky tvrdosti a rázem v ohybu (vrubová houževnatost). Nejčastěji používáme zkoušky tahem, tvrdosti a rázem v ohybu ty jsou uvedeny v evropských normách převzatých do českých norem ČSN EN 10 002-1, ČSN EN 10 003-1, resp. ČSN EN 10 045-1. K těmto základním normám navazují další týkající se ověřování a kalibrace zkušebních strojů a zařízení.⁴

Obsah prvků ovlivňuje mechanické vlastnosti, které se vyskytují ve slitinách hliníku jako nečistoty nebo jsou legovány v desetinách procenta. To je zobrazeno na obr. 2, na kterém je vyneseno rostoucí vliv obsahu Fe+Si na pevnost a mez $R_{p0,2}$ hliníku. Zvyšování pevnosti je dáno tím, že rozpustnost železa při pokojové teplotě je cca 0,04 %. Železo se vyskytuje ve formě intermetalických fází s Al a dalšími prvky.⁴



Obrázek 2 - Vliv obsahu Fe + Si na zvýšení pevnostních hodnot hliníku⁴

1.3. Chemické vlastnosti hliníku

Hliník se společně s borem, indiem, galiem a thaliem nachází v periodické tabulce ve skupině III A. Na rozdíl od boru je typickým kovem a v přírodě se vyskytuje pouze jeden izotop hliníku. Standardní elektronový potenciál poskytuje informaci o ušlechtilosti kovu, což je potenciálem elektrody, tvořené daným kovem, umístěným v roztoku jeho iontů o jednotkové aktivitě. Hliník je kov neušlechtilý, neboť má záporný standardní elektronový potenciál s tendencí tvořit ionty Al^{3+} . Základní fyzikálně-chemické vlastnosti hliníku jsou shrnuty v tabulce 2. ⁴

Tabulka 2 – Fyzikálně-chemické vlastnosti hliníku ⁴

Vlastnosti	hodnota
Atomové číslo	13
Počet přírodních izotopů	1
Atomová hmotnost	26,98
Atomový poloměr [pm]	143
Elektronová konfigurace	[Ne] $3s^2 3p^1$
elektronegativita	1,47
Ionizační energie [kJ mol^{-1}]	
I	577,4
II	1816,1
III	2744,1
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	660,4
Teplota varu [$^{\circ}\text{C}$]	2467
Hustota (20°C) [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	2,699
Teplo tání ΔH_t [$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$]	10,50
Teplo varu ΔH_v [$\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$]	290,8
Standardní elektronový potenciál	
$E_0 (\text{Al}^{3+} + 3e \leftrightarrow \text{Al})$ [V]	-1,662

1.4. Slitiny hliníku

Slitiny hliníku mají na rozdíl od čistého hliníku výrazně lepší mechanické vlastnosti, proto mají široké uplatnění v konstrukci (např. stavba mostů, jeřábů, dopravních prostředků apod.). Největší zastoupení má hliník a jeho slitiny v letecké výrobě a v poslední době i ve výrobě ostatních dopravních prostředků.⁵

Základní znalosti a využití chemického složení, tepelného zpracování a tváření má vliv na chemické, mechanické, fyzikální a technologické vlastnosti hliníku a jeho slitin. Vlastnosti Al můžeme zlepšovat pomocí legováním prvků. Výběr legur záleží na oblasti aplikace slitiny a na tom, které vlastnosti mají být za tímto účelem zlepšeny (např. svařitelnost, odolnost proti korozi, pevnost). Zlepšování některé z vlastností může zapříčinit zhoršení jiné.^{4,5}

Žádané i nežádané legující prvky ve slitinách hliníku:

Antimon je legován pro zvýšení odolnosti proti korozi ve slané vodě. Snižuje náchylnost ke vzniku trhlin za tepla u slitin Al – Mg.⁴

Bismut se používá jako legura za účelem zlepšení mechanické obrobiteľnosti.⁴

Bor zvyšuje elektrickou vodivost u technicky čistého hliníku v důsledku precipitace V, Ti, Cr, Mo z tuhého roztoku α , zjemňuje strukturu a zlepšuje schopnost zachytávat neutrony z hlediska použití Al v jaderném průmyslu.⁴

Hořčík se používá k zvýšení pevnostních vlastností u slitin Al – Mg – Si, Al – Cu – Mg. Slitiny jsou pak, ale náchylné k interkrystalické korozi.⁴

Chrom se přidává k snížení náchylnosti na růst zrn u slitin Al – Mg, zvyšuje kalitelnost u vytvrditelných slitin. Zpomaluje proces rekrystalizace u slitin Al – Mg – Si, Al – Mg – Zn.⁴

Indium se využívá k zpomalování procesu stárnutí u slitin Al – Cu při pokojové teplotě a naopak zrychluje proces stárnutí za zvýšených teplot při koncentraci od 0,05 – 0,2 hm %.⁴

Kobalt je aplikován za účelem zvýšení plastických a pevnostních vlastností u slitin Al – Si za přítomnosti Fe.⁴

Lithium u slitiny Al – Cu – Mg – Li zvyšuje pevnostní vlastnosti a modul E. Prvek má nízkou specifickou hmotnost a proto se používá k legování lehčích slitin.⁴

Mangan nám zjemňuje zrno, snižuje kalící teplotu, zvyšuje pevnostní vlastnosti a teplotu rekrystalizace.⁴

Měď zvyšuje pevnostní vlastnosti vytvrzováním. Nejčastěji se leguje s Mg, protože snižuje odolnost proti korozi.⁴

Nikl je legován pro zvýšení pevnostních vlastností za vyšších teplot, zlepšuje odolnost vůči korozi a snižuje koeficient teplotní roztažnosti.⁴

Olovo u slitin Al – Cu – Mg je považováno jako nepříznivý prvek v důsledku segregace v procesu tuhnutí, kde způsobuje vznik trhlin za tepla. Výhoda použití olova jako legovacího prvku u slitin Al je zvýšení obrobiteľnosti.⁴

Zirkon vytváří jemné precipitáty, které blokují procesy rekrystalizace a zotavení. U slitin Al – Zn – Mg zjemňuje strukturu.⁴

Železo se považuje jako nečistota v hliníku. Rozpustnost v tuhém stavu je nízká (0,04 hm%), to má za následek intermetalickou sloučeninu s Al. U slitiny Al – Cu železo snižuje pevnostní vlastnosti. Naopak u slitin Al – Cu – Ni železo za vyšších teplot pevnostní vlastnosti zvyšuje.⁴

Obvyklé rozdělení slitin hliníku je do dvou základních skupin:

- slitiny pro tváření,
- slitiny pro odlévání.⁵

1.4.1. Slitiny pro tváření

Bývají to obvykle slitiny, které jsou za vyšších teplot tvořeny homogenním tuhým roztokem a za nižších teplot se objevuje v jejich struktuře další fáze, většinou sloučeniny vzniklé segregací a lze je zařadit podle EN 573-1 (viz. tabulka 3).^{4,5}

Tabulka 3 – rozdělení podle EN 573-1⁴

Hlavní legující prvek	Označení série
Hliník čistoty minimálně 99,00%	1000
Měď	2000
Mangan	3000
Křemík	4000
Hořčík	5000
Hořčík a křemík	6000
Zinek	7000
Jiné prvky	8000
Nepoužitá skupina	9000

Aplikace hliníku o čistotě minimálně 99,00% je převážně v oblastech vyžadující vysoké hodnoty fyzikálních vlastností (např. vysoká elektrická a tepelná vodivost a vysoká odolnost vůči korozi). Jedná se o obalovou techniku, architekturu, chemický a elektrotechnický průmysl a energetiku.⁴

U série 2000 je hlavním legujícím prvkem Cu. Slitiny dosahují maximálních pevnostních vlastností, ale jejich odolnost vůči korozi je špatná. Z důvodu, aby nedocházelo k interkrystalické korozi slitiny plátujeme fóliemi z Al vysoké čistoty, nebo slitinami ze série 6000.⁴

U série 3000 slitiny nejsou tepelně zpracovatelné. Je možné zvýšit pevnostní vlastnosti o cca 20% oproti sérii 1000. Použití těchto slitin je zejména v oblasti výměníků tepla a v architektuře.⁴

Slitiny série 4000 obvykle nejsou tepelně zpracovatelné. Jejich obsah Si je do 12 % a používají se při svařování jako svářecí dráty. Při eloxování má povrch tmavě šedou barvu.⁴

U série 5000 je hlavním legujícím prvkem Mg, který je efektivnější z hlediska substitučního zpevnění α matrice než Mn. Jeho použití je zejména v potravinářství, architektuře, zařízení pro kryogenní techniku a v komponentech pro dopravu.⁴

Pro sérii 6000 je charakteristickou vlastností výborná schopnost ke tváření, odolnost vůči korozi, svařitelnost, mechanická obrobiteľnosť při středních pevnostních vlastnostech. Oblast použití slitin je v segmentech mostních konstrukcí, komponentech pro dopravu a v oblasti sportovních výrobků (např. rámy jízdních kol).⁴

Hlavním legujícím prvkem série 7000 je zinek v množství 1 až 8 %. Dalším legujícím prvkem může být Mg, kde po tepelném zpracování dosahují slitiny nejvyšších pevnostních vlastností ze všech hliníkových slitin, ale snižuje se odolnost vůči korozi. Hlavní aplikace je v automobilovém a leteckém průmyslu.⁴

Tabulka 4 – Příklady některých slitin hliníku pro tváření⁶

ČSN	EN	Označení ČSN	Rm [MPa]
42 4412	AW - 5051	AlMg2	140 - 255
42 4413	AW - 5074	AlMg3	170 - 280
42 4415	AW - 5019	AlMg5	200 - 420
42 4400	AW - 56082A	AlMgSi1Mn	270 - 330
42 4401	AW - 6060	AlMgSi	130 - 280
42 4432	AW - 3103	AlMn1	130 - 220
42 4201	-	AlCu4Mg	180 - 430
42 4251	-	plátovaný	260 - 390
42 4203	AW - 2024	AlCu4Mg1	210 - 350
42 4253	-	plátovaný	390 - 430
42 4250	-	AlCu4Mg1Mn	180 - 360
42 4204	AW - 2117	AlCu2Mg	300
53 5318	AW - 2618A	AlCu2Mg2Ni	190 - 420
42 4206	-	AlCu2SiMn	200 - 410
42 4254	-	AlCu4BiPb	370
42 4261	-	AlCu8FeSi	260 - 320
42 4237	-	AlSi12Ni1Mn	160 - 320
42 4222	AW - 7075	AlZn6Mg2Cu	200 - 580

1.4.2. Slitiny pro odlévání

Slitiny Al pro odlitky jsou určeny pro výrobu tvarových odlitků litím do kovových forem, do pískových forem nebo tlakově. Odlitky mají horší mechanické vlastnosti, než slitiny tvářené. Také závisí na způsobu odlévání. Při lití do písku vzniká hrubá struktura, která má nejhorší pevnostní vlastnosti. Při lití do kovových forem nebo tlakovém lití vzniká jemná struktura s lepšími pevnostními vlastnostmi. Výhodami oproti slitinám z jiných kovů je nízká teplota tavení, malý interval krystalizace, dobré vlastnosti povrchu, chemická stabilita (odolnost vůči korozi) aj.^{3,5}

Tabulka 5 - Příklady některých slitin hliníku pro odlitky³

ČSN	EN	Označení ČSN	Rm [MPa]
42 4330	AC - 44200	AlSi12Mn	140 - 180
42 4331	AC - 43000	AlSi10MgMn	140 - 240
42 4332	AC - 42000	AlSi7Mg(Fe)	160 - 210
42 4334	AC - 42100	AlSi7MgTi	230-250
42 4339	AC - 46200	AlSi8Cu2Mn	240
42 4353	AC - 46600	AlSi6Cu2	150 - 160
42 4384	AC - 43200	AlSi10CuMn	120 - 160
42 4352	AC - 46100	AlSi11CuMn	210 - 260
42 4386	-	AlSi20Cu2NiMgMn	150
42 4361	-	AlCu8FeSi	160 - 200
42 4519	-	AlMg10SiCa	240

1.5. Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

Při tepelném zpracování hliníku a jeho slitin dochází u výrobku a jeho částí v tuhém stavu k jednomu nebo více žihacím cyklům. Účelem je zlepšení vlastností a dosažení požadované struktury produktu. Aby nedocházelo ke vniknutí defektů, je třeba správně volit rychlost ohřevu a ochlazování. Důležitým požadavkem také je doba výdrže na určité teplotě. Rozlišujeme dvě základní skupiny tepelného zpracování - žihání a vytvrzování.⁵

1.5.1. Žihání

Jednotlivé způsoby žihání členíme do základních skupin:

- rekrystalizační žihání,
- stabilizační žihání,
- žihání na odstranění vnitřního pnutí,
- žihání na zotavení,
- žihání homogenizační,
- žihání na rovnovážný stav.⁵

a) Rekrystalizační žihání

U rekrystalizačního žihání se slitina blíží k rovnovážnému stavu. Pevnost a tvrdost se snižuje na nejnižší hodnotu a současně se zvyšuje houževnatost a tažnost, proto je snahou získat co nejmenší velikost zrna. Toho dosáhneme, když dodržíme požadavek rychlého ohřevu na rekrystalizační teplotu, zkrácení prodlevy na teplotě na co možná nejkratší dobu. Volba teplot u tohoto žihání (250 – 500°C) závisí na velikosti předcházející deformace za studena a také na čistotě hliníku. Tento způsob žihání je často nahrazen jiným z ekonomických důvodů.⁵

b) Stabilizační žihání

Účelem žihání je stabilizace vlastností (např. mechanických a chemických) a stabilizace rozměrů produktu. Provádí se u slitin, u kterých předpokládáme, že budou za provozu více tepelně namáhány. Teplota žihání je 240 - 350°C podle druhu slitiny. U odlitků nahrazujeme stabilizační žihání jinými způsoby tepelného zpracování.⁵

c) Žihání na odstranění vnitřního pnutí

Vnitřní pnutí se vyskytuje po svařování vlivem lokálního přehřátí, u odlitků různých tloušťek po nerovnoměrném ochlazení nebo vlivem smršťování v nepoddajné formě. Žihání při teplotách 200 - 250 °C dosáhneme jen snížení vnitřního pnutí a neodstraní se chemická heterogenita ani nerovnoměrné vyvinuté zrno. Při vyšších teplotách 250 - 350 °C dochází k úplnému odstranění vnitřního pnutí a může docházet k snížení pevnostních vlastností.⁵

d) Žihání na zotavení

Žihání na zotavení probíhá za nižších teplot, než je teplota rekrytalizační. Projevem snížení vnitřního pnutí je růst houževnatosti a změna fyzikálních vlastností. Je to konečnou operací tepelného zpracování výrobků zpevňovaných zastudena.⁵

e) Homogenizační žihání

Žihání homogenizační se používá u slitin v nerovnovážném stavu za účelem odstranění chemické homogenity. Teplota žihání probíhá v oblasti tuhého roztoku. Žihací čas záleží na druhu a stavu slitiny. Delší prodlevu na teplotě vyžadují slitiny s velkou koncentrací přísad a často se provádí homogenizace dvoustupňová. U tvářené slitiny je možno dosáhnout žiháním homogenního stavu za 20 až 60 minut naopak u slévárenských slitin je čas žihání daleko delší 3 až 16 hodin. Prodloužení doby žihání dochází k hrubnutí zrna a to má za následek zhoršení mechanických vlastností. Možnost zakončení homogenizačního žihání je ochlazení. U hliníku Al 99,5 ochlazujeme po homogenizaci rychleji, aby byl zachován přesycený homogenní tuhý roztok, kde zůstanou veškeré nečistoty a to má za následek zvýšení odolnosti proti korozi a zlepšení vzhledu.⁵

f) Žihání na rovnovážný stav

Žihání se aplikuje u slitin, které byly vytvrzeny kvůli dosažení rovnovážného stavu. Žihat můžeme slitiny tvářené i odlévané. Teploty žihání jsou od 300 - 400 °C. Následné ochlazování probíhá nejdříve v pecích na teplotu nejméně 200 °C a pak následuje rychlé ochlazování na vzduchu.

1.5.2. Vytvrzování

Vytvrzování používáme u slitin s výraznou změnou rozpustnosti legujících prvků v rovnovážném diagramu. Můžeme ovlivňovat fyzikální a mechanické vlastnosti slitin. Tato technologie se skládá ze tří na sebe navazujících procesů:

- rozpouštěcí žihání,
- ochlazení slitiny,
- stárnutí.⁵

a) Rozpouštěcí žíhání

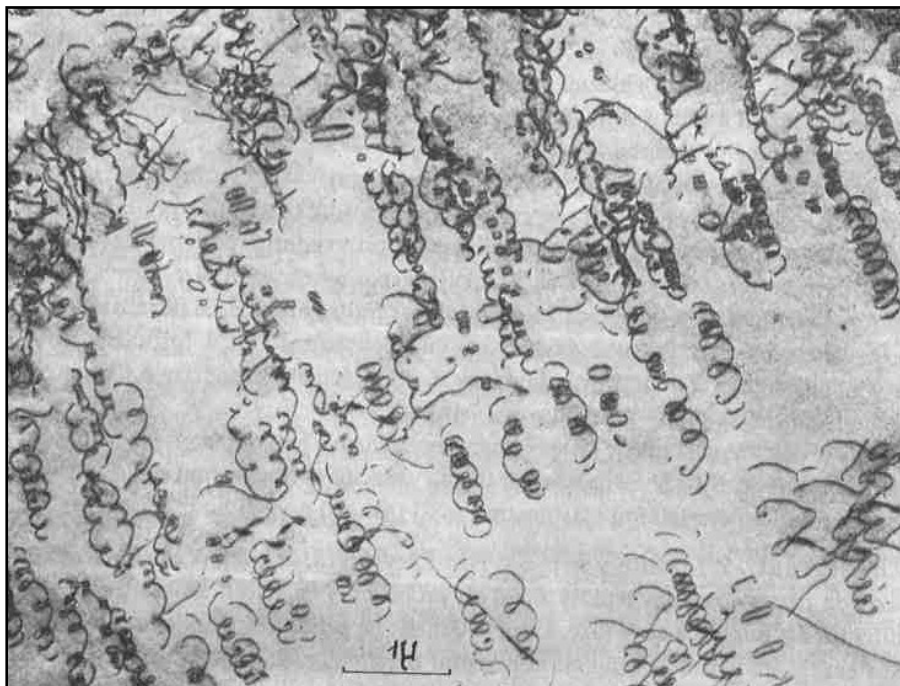
Jedná se o přípravu před ochlazením. Slitiny, které jsou v rovnovážném stavu za normální teploty heterogenní, se během žíhání mění na homogenní. Jedná se tedy o rozpouštěcí ohřev asi na 10 °C pod teplotou solidu dané slitiny a setrvání dostatečně potřebné doby na této teplotě. Důležité je dodržet přesné teploty, její překročení má za následek znehodnocení slitiny (tavení hranic zrn a hrubnutí zrna). Naopak při nízkých teplotách dochází ke špatnému rozpuštění agregátů a tím se nedostaví očekávané zlepšení mechanických vlastností.⁵

b) Ochlazení slitiny

U slitin hliníku se nejčastěji provádí ochlazení ve vodě při 20 °C. U součástí, kde mohou vznikat vnitřní pnutí, se ochlazování provádí ve vodě 40 až 50 °C. Účelem ochlazování je zabránit segregaci na hranicích zrn. Požadavkem je ochladit slitinu ihned po vyjmutí z pece (do 5 sekund) jinak dochází k částečné segregaci na hranicích zrn a to má za následek zhoršení odolnosti proti korozi, snížení tažnosti a pevnosti.⁵

c) Stárnutí

U některých slitin probíhá stárnutí při normální pokojové teplotě (přirozené), naopak při zvýšených teplotách se jedná o stárnutí umělé. Precipitace při umělém stárnutí probíhá značně rychleji. Při umělém procesu stárnutí může docházet k řadě dislokací, např. ke spirálové dislokaci u slitiny Al - Cu se 4 % Cu.⁵



Obrázek 3 - Spirálová dislokace ve slitině Al - Cu po rychlém ochlazení.⁵

2. Koroze hliníku

2.1. Korozní vlastnosti hliníku a jeho slitin

Hliník je neušlechtilý kov a disponuje mimo jiné i malou hustotou a dobrou elektrickou a tepelnou vodivostí také vysokou odolností proti korozi výhradně v atmosférických podmínkách. To má i své omezení, při jejich překročení dochází k vysoké korozní degradaci.^{4,7}

Obecně nejvyšší odolnost proti korozi má čistý hliník, příměsi jako Na, Ce, Co, Pt, Ag, Th, V, Hg, Ca, Cr, Sn, a Cd snižují jeho odolnost proti korozi, s výjimkou Mn kde jsou vůči Al katodou. V tabulce 3 jsou uvedené rychlosti koroze hliníku různé čistoty v 0,3 mol·l⁻¹ Na OH žíhaného při teplotě 300 °C.^{4,7}

Tabulka 6 - Rychlost koroze⁷

Čistota [%]	99,998	99,990	99,97	99,57	99,20
Rychlost koroze [g·m⁻²·d⁻¹]	7,7	28,6	36,3	53,3	664,4

Maximální dlouhodobé korozní úbytky Al podle ČSN EN ISO 9223 a ČSN EN ISO 9224 jsou shrnuty v tabulce 7. Většinou se v silně znečištěných atmosférách (C4 - vysoká agresivita, C5 - velmi vysoká agresivita a CX - extrémní agresivita) koroze Al projeví jako bodová, nejsou zde uvedeny žádné hodnoty.^{3,7}

Tabulka 7 - Maximální korozní úbytky hliníku³

Stupeň korozní agresivity	Korozní úbytky (μm)		
	1 rok	10 let	20 let
C1	Zanedbatelná	0,10	0,10
C2	0,02	0,25	0,20
C3	0,7	2,00	2,00
C4	1,8	nelze hodnotit	nelze hodnotit
C5	3,6	nelze hodnotit	nelze hodnotit
CX	nelze hodnotit	nelze hodnotit	nelze hodnotit

2.2. Druhy koroze u hliníku a jeho slitin

Odolnost proti korozi u hliníku a jeho slitin je příčinou fyzikálně-chemická stabilita ochranné oxidické vrstvy na povrchu materiálu.⁴

Rozlišujeme tři druhy působení korozního prostředí:

- napadení není výrazné, pasivní vrstva je rovnoměrná a brání další korozi,
- na porušených místech pasivní vrstvy nebo na hranicích zrn vzniká lokální napadení, které se dále může šířit do materiálu,
- pasivní vrstva se působením prostředí rozpouští.⁴

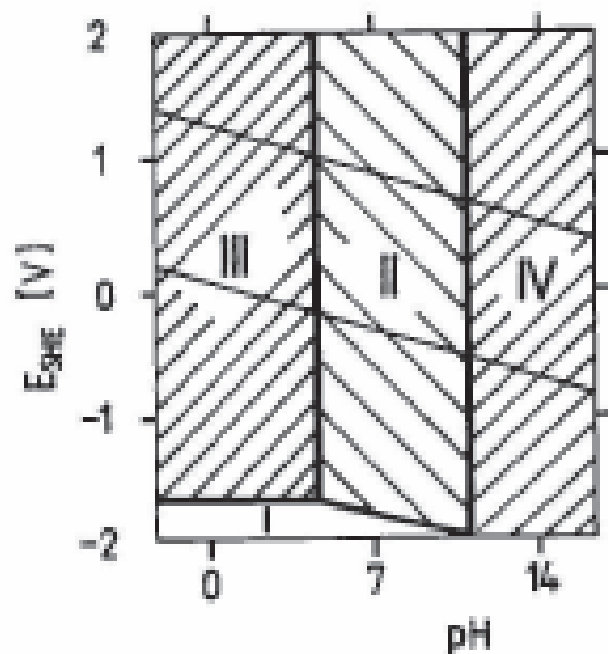
Přítomnost aniontů v korozním prostředí může způsobovat poruchu ochranné oxidické vrstvy, různorodost struktury pasivní vrstvy a přítomnosti napětí, což vede ke ztrátě její integrity. Za těchto předpokladů dochází k destrukci materiálu některou ze specifických korozních forem.:

- bodovou a důlkovou (pittingovou) korozi,
- korozi mezikrystalickou,
- koroze po vrstvách.^{3,4}

Za působení mechanického napětí může docházet ke koroznímu praskání v podmínkách tahového statického napětí, ke korozní únavě při cyklickém zatěžování nebo

k vibrační korozi. Dále ke specifickým druhům koroze Al a slitin Al lze přiřadit poruchy související s konstrukčním řešením (galvanická koroze ve vodivém kontaktu s jiným kovem), korozi v kontaktu s nekovy nazýváme štěrbinovou a koroze pod ochrannými nátěry je nitková.⁴

Oxidová vrstva chrání základní materiál před další degradací. Výsledná tloušťka povlaku cca 2,5 nm závisí na podmínkách prostředí (pH, teplota, přítomnost aniontů, kationtů). Oxidy jsou stabilní a mají dobrou přilnavost. Tuto vrstvu můžeme dále zesílit eloxováním. To má za následek zlepšení ochranných účinků a povrch získá zvýšenou tvrdost.^{3,4}



Obrázek 4 - Diagram potenciál pH pro hliník⁴

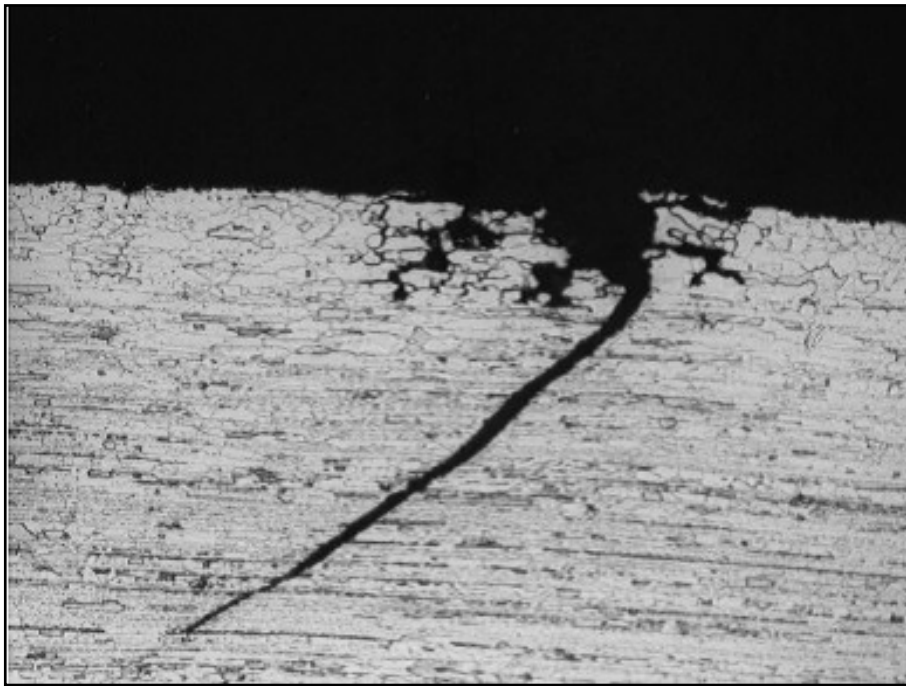
2.2.1. Důlková koroze

Korozní napadení důlkové je kombinací znečištění SO_2 a NaCl , který má synergický vliv na průměrnou korozní rychlost Al. Naproti tomu důlková koroze vyvolaná chloridy je vlivem SO_2 částečně potlačeno, protože vznikají hydratované sírany Al, které se méně rozpouští než chlorid hlinitý.³

2.2.2. Mezikrystalická koroze

Mezikrystalická koroze je jedna forma napadení s možností vyvolání bodovou korozí. Tento termín se uplatňuje jen u rekrystalizovaných struktur a na nerekrystalizovaných to je koroze po malouhlových hranicích subzrn s vysokou koncentrací dislokací.⁴

Koroze mezikrystalická při určitých podmínkách (ve vodě při 160 °C) napadá Al i v jeho čisté formě. Je to zapříčiněno absorpcí příměsí na hranicích zrn. Příklad této koroze s trhlinou u slitiny AlZn7Mg2.5Cu obrázek 5.⁴



Obrázek 5 - Mezikrystalická koroze s následnou trhlinou⁴

2.2.3. Koroze po vrstvách

Je to druh povrchové koroze, která se vyskytuje u výkovků a vývalků z hliníkových slitin. Může probíhat transkrystalicky nebo po hranicích zrn. Většinou se vyskytuje u vysoce pevných slitin hliníku s nerovnoměrným rozdělením anebo s vysokou koncentrací legur a příměsí. Náchylnost ke korozi zvyšují legury Fe, Cr a jejich součty s dalšími prvky Mn, V, Zr, a Ti. Zvláště zvýšené obsahy Fe, Cr a Mn snižují odolnost vůči korozi nejvíce.⁴

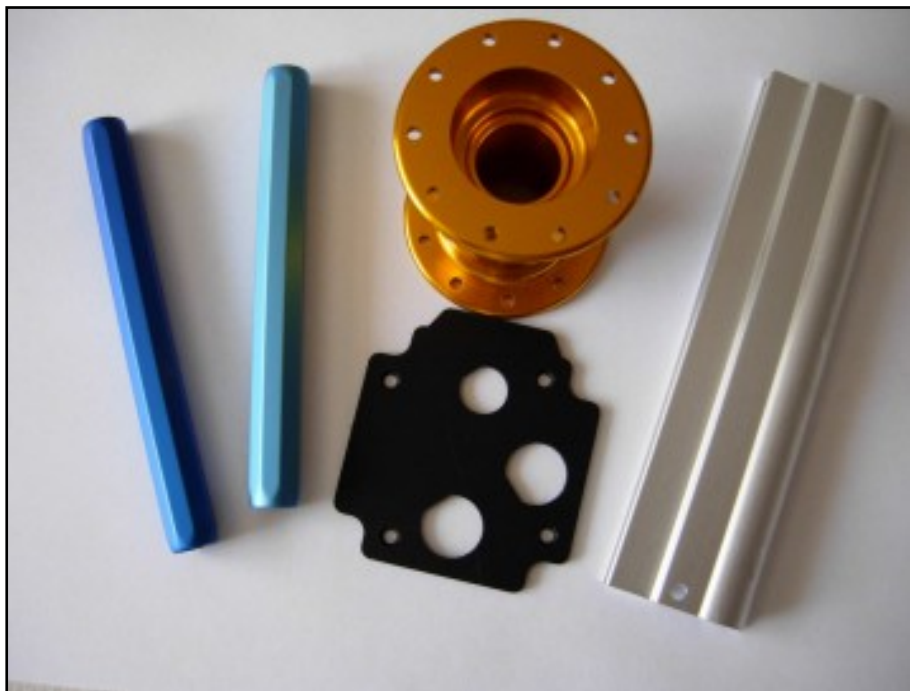
3. Povrchová úprava materiálu na bázi hliníku

Cílem povrchových úprav je zlepšování vlastností povrchu základního materiálu. Čistý hliník má dobrou odolnost vůči korozi díky oxidické vrstvě, která vzniká na jeho povrchu reakcí s okolním prostředím. Přirozená oxidická vrstva po několika měsících dosahuje síly 0,1 až 0,5 μm a nemá velkou tvrdost. Výsledná vrstva se snadno mechanicky poškodí a nemá dobrý vzhled, a proto dále provádíme eloxování.⁴

3.1. Eloxování

Anodická oxidace vytváří kompaktní vrstvu oxidů hliníku na povrchu materiálu. Tyto tvrdé povrchy mají strukturu korundu a chrání eloxovaný hliník proti korozi a mechanickému poškození. Různými postupy eloxování můžeme zajistit i barevnost oxidické vrstvy (Al_2O_3).⁴

Tloušťka vrstvy ovlivňuje odolnost proti korozi a je nutné zvolit vhodnou technologickou metodu, aby vnikající oxidická vrstva vzrostla o cca 1/3 nad původní kovový povrch. Další podmínkou dosažení dobrých protikorozních vlastností je utěsnění pórů.^{1,4}



Obrázek 6 - Výrobky povrchově upravené eloxováním¹⁰

3.1.1. Fyzikálně - chemické vlastnosti anodicky vytvořených vrstev

Důležité parametry ovlivňující vlastnosti vrstev vznikající během procesu eloxování jsou pracovní podmínky, složení elektrolytu atd. Následující vlastnosti se týkají především oxidických vrstev vytvořené metodou stejnosměrného proudu v elektrolytu kyseliny sírové.⁴

Anodická oxidická vrstva je pevně vázána v základním materiálu Al a nemůže být odstraněna, aniž by byl mechanicky poškozen základní materiál. Oxidickou vrstvu z kovu neodstraníme ani mechanickým tvarováním, ale dochází k roztažnosti materiálu a k tvorbě mikrotrhlin od 0,2 do 0,4 %. Ty jsou závislé na zatížení anodizovaného hliníku změnou teploty.⁴

Tvrdost oxidické vrstvy je závislá na podmínkách anodické oxidace. Čím je nižší hodnota koncentrace a teploty elektrolytu, tím je tvrdší oxidická vrstva. Za vysokých teplot a koncentrací dochází ke zpětnému rozpouštění vytvořené vrstvy zpět do elektrolytu. Tyto vrstvy vykazují tvrdost podobnou korundu. U tvrdých eloxovaných vrstev HV 300 - 600 a u dekorativních vrstev HV 250 - 350.⁴

Tloušťky oxidické vrstvy ovlivňuje druh použitého materiálu a výběr technologické metody. V tabulce 8 je uvedena tloušťka Al_2O_3 pro danou metodu.¹

Tabulka 8 - Tloušťky oxidických vrstev⁴

Technologická metoda	Tloušťka oxidické vrstvy [μm]
roztok kyseliny chromové	3 - 6
roztok kyseliny sírové (stejnosměrný proud)	5 - 30
roztok kyseliny šťavelové	10 - 60
tvrdá anodická oxidace	40 - 300

3.1.2. Stejnosměrný proud - metoda kyseliny sírové

Tato metoda patří mezi nejrozšířenější techniku anodické oxidace, a proto se označuje jako standardní metoda. Probíhá v koncentraci kyseliny sírové 180 - 200 g/l. Oxidické vrstvy jsou odolné proti opotřebení a maximálně stálé vůči klimatickým vlivům. Nejčastější využití v průmyslu je v oblastech stavebnictví. Do roztoku kyseliny sírové můžeme přidávat přísadu kyseliny šťavelové, to umožňuje vytvořit tvrdší vrstvu.

V porovnání s ostatními metodami se metoda s kyselinou sírovou a šŕavelovou stala oblíbenou z důvodů: ⁴

- z ekonomických,
- vysoká spolehlivost,
- nízká spotřeba energie,
- nízké pracovní napětí. ⁴



Obrázek 7 - Moderní eloxovací zařízení ⁴

3.2. Povlaky

Funkcí povlaků je, chránit základní materiál a zlepšovat jeho vlastnosti. To jsou například: zvýšená odolnost proti korozi a opotřebení, zlepšení třecích a elektrických vlastností a v neposlední řadě nám povlaky řeší i výsledný design. Optimální povlak je takový, aby splňoval dané požadavky s minimálními finančními náklady na vytvoření a údržbu. V konečném důsledku se hodnotí náklady na pořízení povlaku dle dané technologie, ekologické odbouratelnosti odpadních produktů, dopravy, energie, surovin a materiálu. ¹

Povlaky rozdělujeme do dvou základních skupin podle charakteru vytvořené vrstvy na anorganické a organické. Anorganické povlaky můžeme dále rozdělit na kovové

a nekovové. Používanější jsou organické povlaky. Jedná se o ochranu nátěrovými hmotami, které oddělují základní materiál od okolního prostředí.¹

3.2.1. Anorganické povlaky

Základní rozdělení anorganických povlaků je na kovové a nekovové. Funkcí kovových povlaků z ušlechtilých i neušlechtilých kovů je ochrana neušlechtilých kovů (hliník, ocel, zinek), před působením vnějšího agresivního prostředí. Cílem je zlepšit vlastnosti (odolnost vůči opotřebení, tvrdost, abrazivní odolnost, vodivost, svařitelnost) a za určitých podmínek i estetiku povrchu materiálu. Nejdůležitějšími kritérii pro vyhodnocení ochranné funkce povlaků, na kterých závisí životnost, je poréznost a tloušťka povlaku.¹

Princip nekovových anorganických povlaků je bariérově chránit základní materiál případně na principu změny korozní odolnosti. Vytvořit nekovové povlaky můžeme např. nátěrem, konverzním povlakem nebo smaltováním.¹

3.2.1. Organické povlaky

Nejpoužívanější a nejekonomičtější způsob ochrany jak zvýšit odolnost proti korozi a tím prodloužit jejich životnost jsou organické povlaky na bázi nátěrových hmot a plastů, které zamezují přístup vody a agresivních látek k povrchu materiálu. Povlaky neobsahují antikorozní pigmenty a musí být bezpórovité, z důvodu bariérového mechanismu jejich ochranného působení.¹

Technologie nátěrových hmot chráníme povrch materiálu vytvořením nátěru a jedná se o nejvyužívanější ochranu proti korozi. Nátěr se skládá s jedné nebo několika vrstev zaschlé nátěrové hmoty na povrchu materiálu a je nanášen na materiál za různými účely (ochranný, dekorativní, maskovací, bezpečnostní nebo speciální). Nátěrové hmoty rozdělujeme na transparentní - průhledný lak a na pigmentované - neprůhledný email, tmel a barva.^{1,2}

Složky tvořící nátěrové hmoty:

- a) Filmotvorné složky nebo-li pojiva, jsou netěkavé látky se schopností vytvořit tenkou souvislou vrstvu a vázat pigmenty. Pojiva se odlišují chemickým složením a fyzikálními vlastnostmi. Mezi filmotvorné látky řadíme vysychavé oleje, přírodní a umělé živice, deriváty celulózy a kaučuku, asfalty. ¹
- b) Těkavé látky používáme na rozpouštění pojiv. Upravujeme konzistenci při aplikaci. Nejpoužívanější rozpouštědla jsou benzény a jeho homology, benzíny, ketony, alkoholy, estery kyseliny octové, terpentýnové silice, glykolétery. ¹
- c) Pigmenty mohou být anorganické nebo organické částičky, které se nachází v pojivě a zajišťují nátěrům barevný odstín, tvrdost, zvyšují tepelnou a korozní odolnost, snižují stárnutí nátěrů. Pigmenty rozdělujeme podle funkce na inhibitorové pigmenty - pro základové nátěrové hmoty, neutrální pigmenty - používá se pro vrchní nátěry na zlepšení fyzikálních vlastností, stimulační pigmenty - používá se pro vrchní nátěry na zpomalení stárnutí. ¹
- d) Plnidla upravují technologické vlastnosti povlaků (např. zabraňují smrštění povlaku po uschnutí). Jsou to minerální látky rozemleté na jemný prášek (mastek, křída, těživec), který není rozpustný v pojivu. ¹
- e) Aditiva jsou přísadou do nátěrových hmot a upravují jejich technologické a fyzikální vlastnosti. Příkladem některých aditiv jsou emulgátory, sušidla, zvláčňovadla, stabilizátory. ¹

Nátěrové hmoty označujeme dle normy ČSN 67 3067. U rozdělení podle filmotvorných složek, označuje první písmeno druh nátěrové hmoty (tabulka 9). Následuje čtyřmístné číslo udávající druh nátěrové hmoty (tabulka 10). Druhým čtyřmístným číslem označujeme barevný odstín. První číslo udává barvu a druhá sytost (tabulka 11). ¹

Tabulka 9 - Písemné označení nátěrových hmot ¹

Označení	Filmotvorné složky
A	Asfaltové
B	Polyesterové
C	Celulózové
H	Chlórkaučukové
K	Silikónové
L	Lihové
O	Olejové
S	Syntetické
U	Polyuretanové
V	Emulzní - vodové

Tabulka 10 - číselné označení nátěrových hmot ¹

Označení	Druh nátěrové hmoty
1000	Fermeže
2000	Pigmentované barvy emailu
3000	Pasty
4000	Nástřikové hmoty
5000	Tmely
6000	Ředidla
7000	Sušidla, tužidla, katalyzátory
8000	Pomocné přípravky

Tabulka 11 - Označení barevných odstínů ¹

Označení	Barva
0000 - 0999	Bez barvy
1000 - 1999	Šedé
2000 - 2999	Hnědé
3000 - 3999	Fialové
4000 - 4999	Modré
5000 - 5999	Zelené
6000 - 6999	Žluté
7000 - 7999	Oranžové
8000 - 8999	Červené
9000 - 9999	Ostatní

Nejdůležitějším faktorem je správná volba technologie nanášení nátěrových hmot. Technologií nanášení je spousta a správný výběr ovlivňuje jakost a celkovou životnost nátěrů. Volbu technologie nanášení ovlivňuje povaha nátěrové hmoty a povaha natíraného předmětu. Přihlížíme k velikosti a množství součástí, ke kvalitě povrchu materiálu, k výsledným vlastnostem finálního nátěru a k ekonomickému řešení technologií nanášení. ^{1,2}

Běžné způsoby nanášení nátěrových hmot je dostačující, avšak s jistým omezením. Mezi ty nejběžnější patří nanášení štětcem, který patří mezi nejstarší způsoby nanášení a je třeba počítat se stopami po tahu štětcem. Dále pro rovinné plochy je vhodné navalování. U namáčení je třeba dbát na míchání lázně. Dnes nejpoužívanější metoda je pneumatické stříkání, která se dá snadno automatizovat. Dále můžeme nanášet vysokotlakým stříkáním nebo za pomoci elektrických sil. ^{1,2}

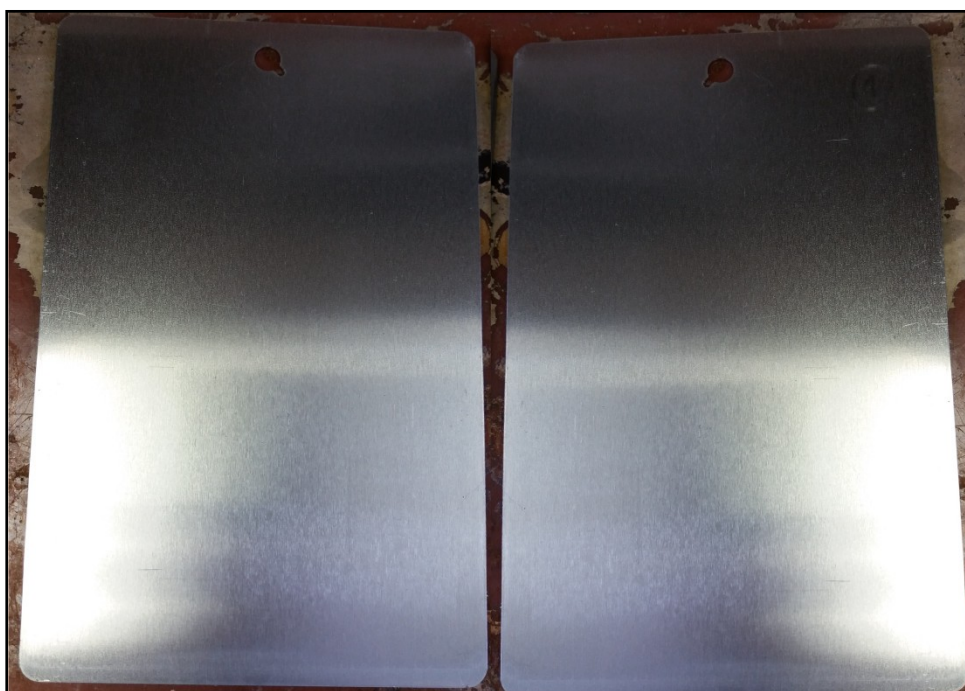
4. Návrh metodiky experimentálních prací

1. Příprava vzorků
2. Měření drsnosti povrchu vzorků před odmaštěním
3. Odmaštění
4. Měření drsnosti povrchu vzorků po odmaštění
5. Měření povrchového napětí
6. Určení zaprášení povrchu a zaprášení povrchu
7. Aplikace nátěru
8. Měření tloušťky nátěru
9. Křížový řez
10. Vložení vzorků do korozní komory
11. Křížový řez po korozní komoře

5. Provedení experimentálních prací

5.1. Příprava vzorků

Pro experimentální část bylo připraveno 6 hliníkových testovacích panelů typu A-46 od firmy Labimex CZ s.r.o. Vzorky mají hladký, holý, válcovaný povrch. Rozměry jsou 102x152 mm a tloušťka 0,64 mm. Kvůli přehlednosti jsou vzorky zařazeny do tří skupin (tabulka 12).



Obrázek 8 - Vzorek v dodaném stavu

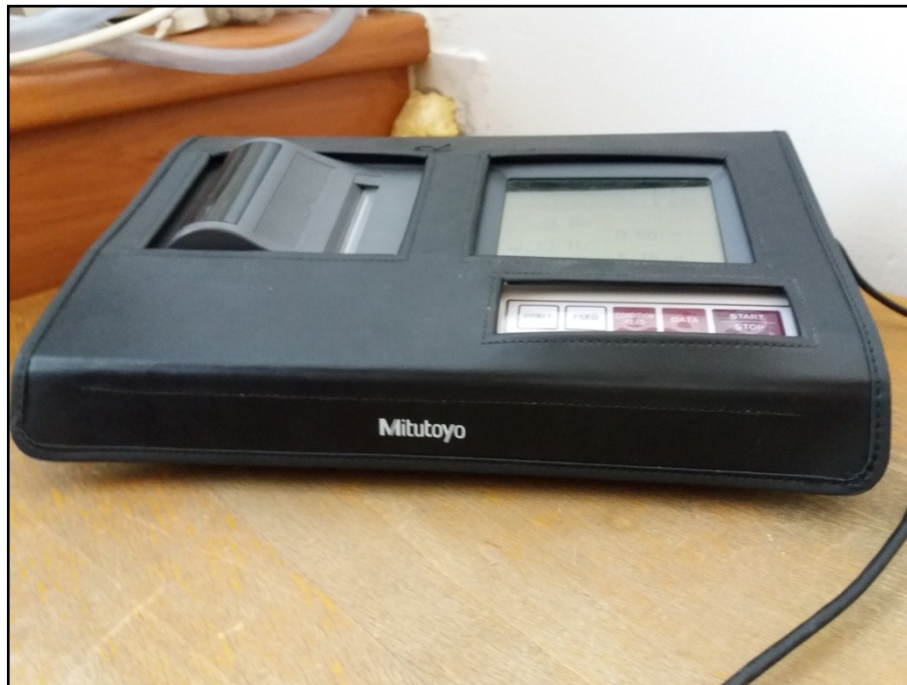
Tabulka 12 - Značení a popis vzorků

Skupiny vzorků	Znečištění
1 - 2	Zinkový prach VP
3 - 4	Zinkový prach HP
5 - 6	Bez znečištění

5.2. Měření drsnosti povrchu před odmaštěním

V souladu s normou ČSN EN ISO 4287 bylo naměřeno pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ 301 šest měření na šesti vzorcích. Měření bylo provedeno vždy v horní, střední a dolní

části vzorku a to tři v příčném směru a tři v podélném směru. V měřicím přístroji byla uložena norma pro standardní měření ISO 1997. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 13. Měření drsnosti kontrolních vzorků $\lambda_c = 0,8$ a $L = 4$ mm



Obrázek 9 - Měřicí přístroj MITUTOYO 301

Tabulka 13 - Hodnoty naměřené přístrojem MITUTOYO 301 před odmaštěním

Vzorek		Příčné			Průměr	Podélné			Průměr
		a	b	c		a	b	c	
1	Ra[μm]	0,59	0,50	0,61	0,57	0,42	0,38	0,56	0,45
	Rz[μm]	3,37	2,76	3,65	3,26	2,61	2,65	5,10	3,45
2	Ra[μm]	0,54	0,56	0,71	0,60	0,55	0,52	0,27	0,45
	Rz[μm]	3,06	3,15	4,42	3,54	3,10	3,93	1,91	2,98
3	Ra[μm]	0,43	0,72	0,55	0,57	0,40	0,44	0,55	0,46
	Rz[μm]	2,46	5,41	3,48	3,78	2,78	2,95	3,66	3,13
4	Ra[μm]	0,59	0,60	0,54	0,58	0,40	0,62	0,31	0,44
	Rz[μm]	3,66	3,58	3,43	3,55	2,73	4,06	2,27	3,02
5	Ra[μm]	0,49	0,56	0,59	0,55	0,45	0,42	0,56	0,48
	Rz[μm]	2,74	3,68	4,16	3,53	3,05	2,60	3,52	3,06
6	Ra[μm]	0,54	0,61	0,64	0,60	0,50	0,47	0,61	0,53
	Rz[μm]	2,81	3,75	4,23	3,59	3,12	2,67	3,59	3,13

5.3. Odmaštění

Vzorky byly odmaštěny v koncentrovaném roztoku EXTREME SIMPLE GREEN. Každý vzorek se odmašťoval jednotlivě a ponorem v 250 mililitrech roztoku po dobu 5 minut. Následně byly vzorky opláchnuty v H₂O vířením po dobu jedné minuty a dány do sušící pece při 200 °C. Přístrojem Eutech Instruments (50000020635) byla změřena teplota i pH odmašťovacího roztoku a oplachové vody. Měření bylo provedeno před i po daných procesech (tabulka 14).



Obrázek 10 - Přístroj Eutech Instruments

Tabulka 14 - Naměřené hodnoty odmašťovacího roztoku a H₂O

Odmašťovací roztok	pH	T [°C]	Oplachová voda	pH	T [°C]
Před odmaštěním	10,5	22,1	Před oplachem	7,76	23,7
Po odmaštění	10,95	22	Po oplachu	9,13	23,1

5.4. Měření drsnosti vzorků po odmaštění

Postup měření je stejný jako u měření drsnosti vzorků před odmaštěním. Zjištěno bylo, že průměrné hodnoty po odmaštění se snížily.

Tabulka 15 - Hodnoty naměřené přístrojem MITUTOYO 301 po odmaštění

Vzorek		Příčné			Průměr	Podélné			Průměr
		a	b	c		a	b	c	
1	Ra[μm]	0,51	0,45	0,51	0,49	0,24	0,21	0,23	0,22
	Rz[μm]	3,08	2,60	3,21	2,96	2,07	1,73	1,71	1,83
2	Ra[μm]	0,54	0,49	0,45	0,49	0,24	0,39	0,35	0,32
	Rz[μm]	2,87	2,87	2,57	2,77	1,60	2,48	2,62	2,23
3	Ra[μm]	0,60	0,63	0,47	0,56	0,24	0,34	0,41	0,33
	Rz[μm]	3,41	4,45	2,68	3,51	1,77	2,57	2,24	2,19
4	Ra[μm]	0,55	0,48	0,47	0,50	0,39	0,32	0,47	0,39
	Rz[μm]	2,91	2,81	2,48	2,73	2,92	2,13	3,40	2,82
5	Ra[μm]	0,46	0,53	0,66	0,55	0,21	0,23	0,47	0,30
	Rz[μm]	2,68	2,92	3,71	3,10	1,93	1,59	4,10	2,54
6	Ra[μm]	0,56	0,50	0,56	0,54	0,29	0,26	0,28	0,28
	Rz[μm]	3,15	2,67	3,28	3,03	2,14	1,80	1,78	1,91

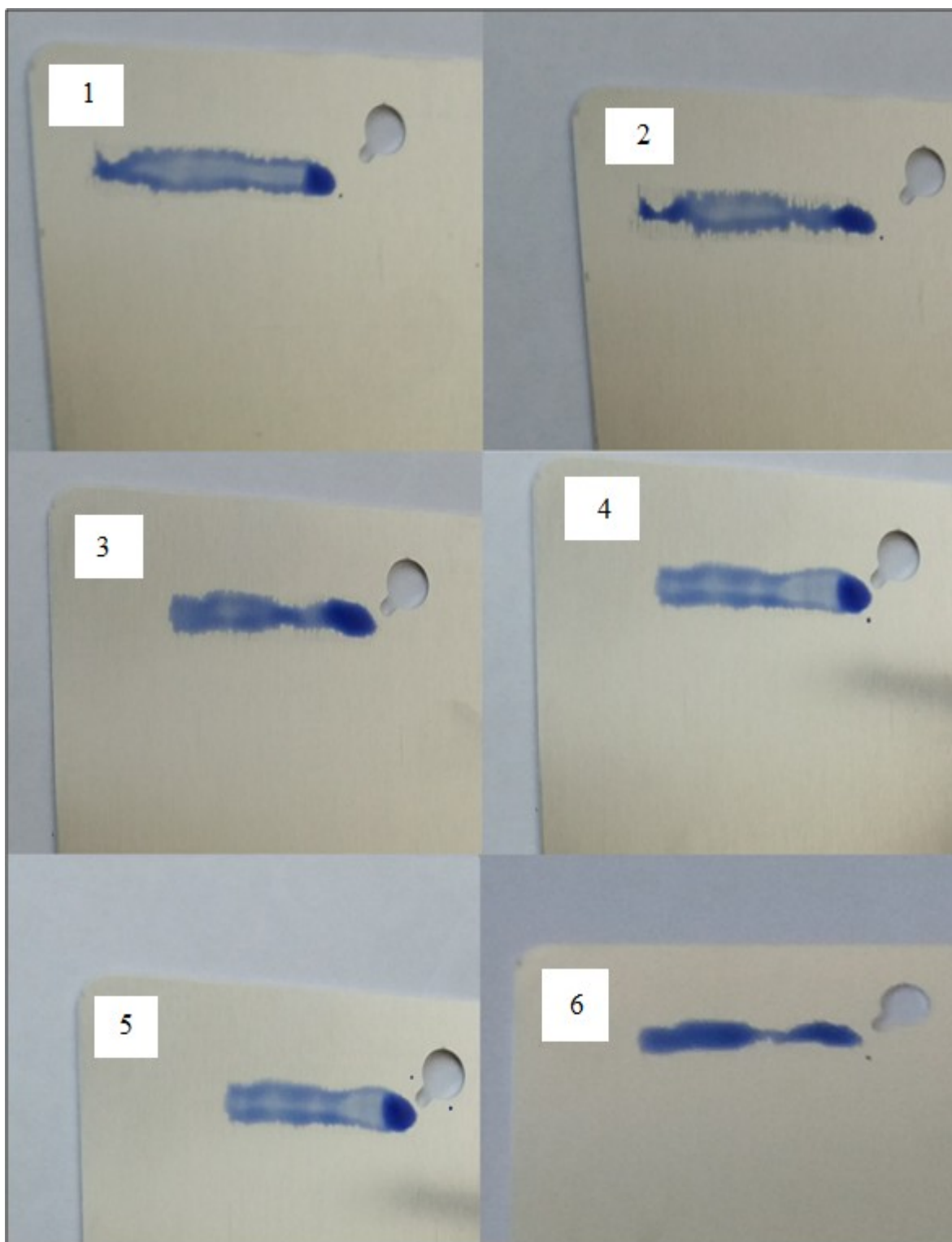
5.5. Měření povrchového napětí

Jedním z rozhodujících kritérií pro přilnavost nátěrů je povrchové napětí. To souvisí s čistotou povrchu. Test byl proveden inkoustem značky Arcotest s hodnotou 38 mN/m.



Obrázek 11 - Inkoust značky Arcotest s hodnotou 38 mN/m

Po nanesení testovacího inkoustu (obrázek 12), byl stanoven časový limit čtyři sekundy. Po stanovenou dobu se linka inkoustu nezměnila v kapky. Povrchové napětí je stejné nebo vyšší než hodnota 38 mN/m.



Obrázek 12 - Nanesený inkoust Arcotest na vzorcích Al

5.6. Určení zaprášení povrchu a zaprášení povrchu

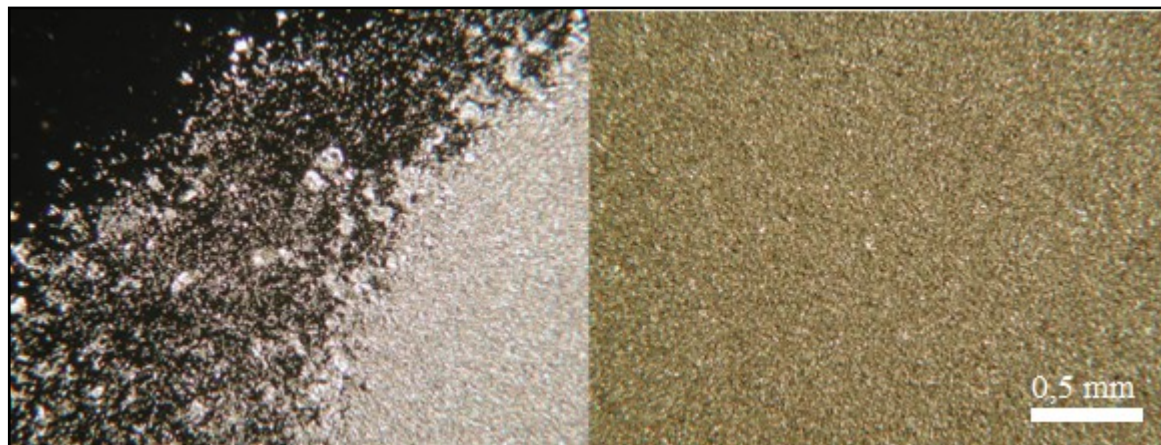
Testované panely z hliníku byly podrobeny nejvyššímu stupni zaprášení C5. Dvěma různými druhy zinkových prachů označeny jako VP a HP. Zinkové prachy nejsou blíže definovány.

Byla realizována mikroskopická zkouška na metalografickém světelném mikroskopu Neophot 2 (obrázek 13) obou prachů. Šířka záběru při zvětšení 20x je 5 mm, při zvětšení 50x je 2 mm a při zvětšení 100x je 1 mm. Fotografie vytváří digitální fotoaparát Nikon E990.

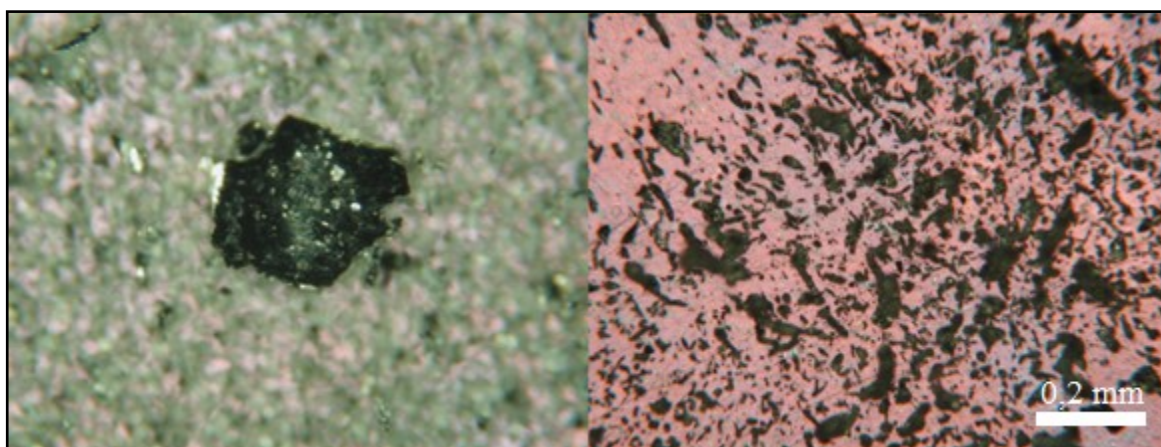
Metoda snímání samolepící páskou na Al zaprášeném povrchu byla převzata z normy ČSN ISO 8502-3.



Obrázek 13 - Mikroskop Neophot 2



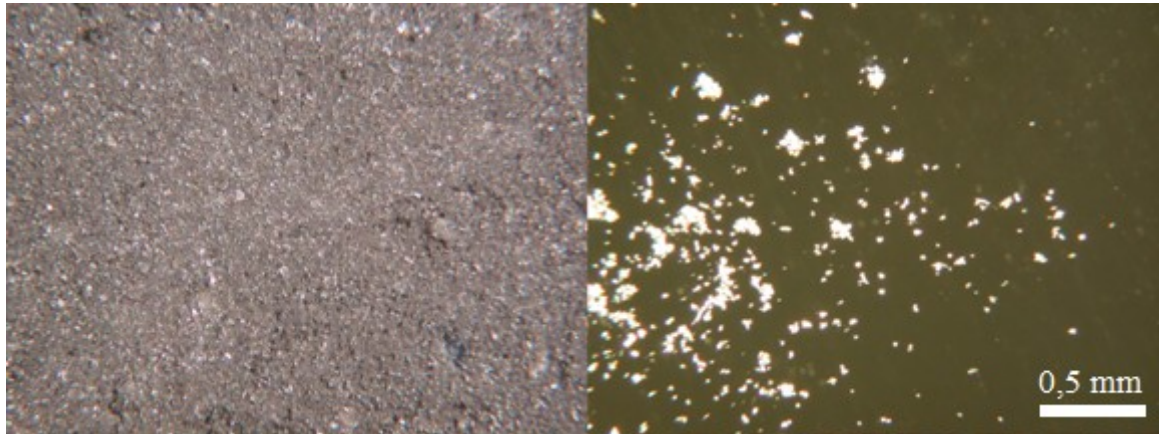
Obrázek 14 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 20x u vzorku 1, 2



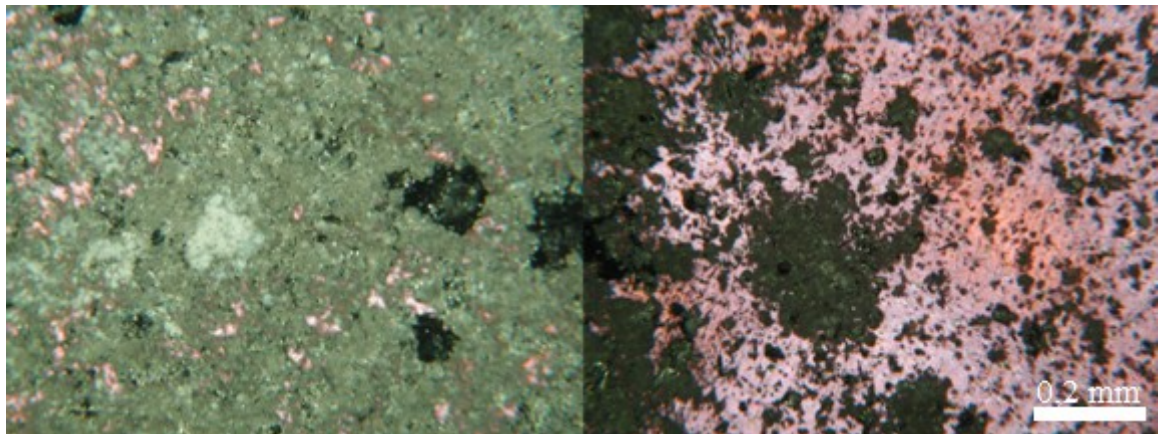
Obrázek 15 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 50x u vzorku 1, 2



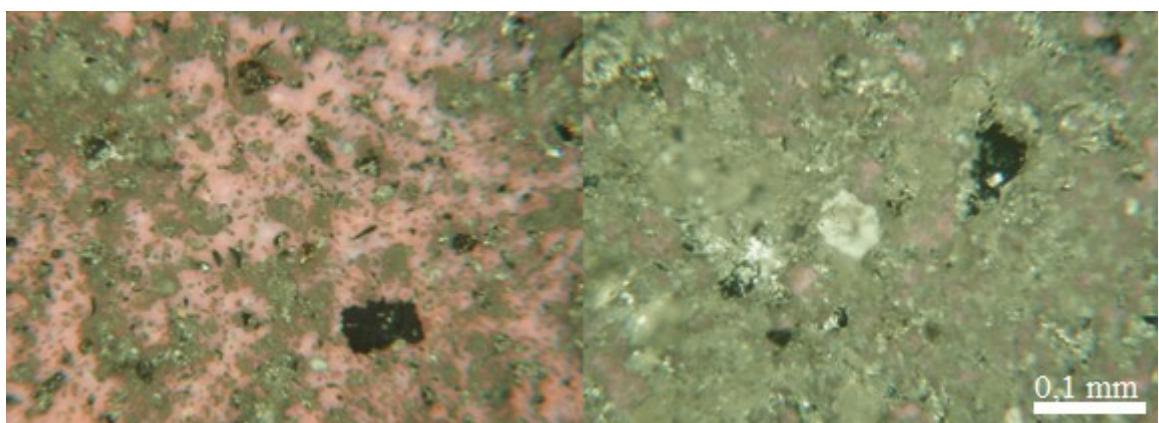
Obrázek 16 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 100x u vzorku 1, 2



Obrázek 17 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 20x u vzorku 3, 4



Obrázek 18 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 50x u vzorku 3, 4


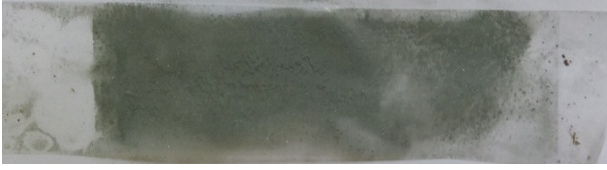


Obrázek 19 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 100x u vzorku 3, 4

Vzorky byly zaprášeny na nejvyšší stupeň zaprášení přes síto, které mělo velikost oka 0,5 mm. Kvůli rozptýlu částic bylo zaprášení provedeno v ochranné vaně. Nejdříve první vzorek s prachem VP poté druhý vzorek s prachem HP. Následně byla přilepena lepící

páska o šířce 25 mm s vysokou adhezí. Dále se obě pásy nalepily na čistě bílý list papíru pro makroskopické vyhodnocení zkoušky.

Tabulka 16 - Makroskopické vyhodnocení prachové zkoušky

Typ prachu	Vysoce adhezní páska	Velikost prachových částic	Množství prachových částic
VP		5	5
HP		5	5

Zaprášení povrchu, před aplikací nátěru mělo stejný průběh jako u metody snímání samolepící páskou. Zaprášeny byly dva vzorky prachem VP, dva vzorky prachem HP a dva vzorky byly bez zaprášení. Přístrojem Elcometr 319 byla zjištěna teplota a vlhkost v laboratoři (tabulka 17).






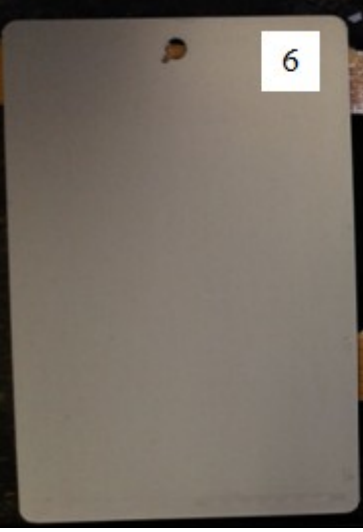
Tabulka 17 - Kinematické podmínky v laboratoři

Teplota vzduchu	23,2 °C
Teplota povrchu	23,1 °C
Relativní vlhkost vzduchu	41,4 %
Teplota rosného bodu	9,4 °C

5.7. Aplikace nátěru

K aplikaci nátěru byla použita metoda nanášení vysokotlakým stříkáním. Stříkací zařízení bylo natlakováno na 2,1 MPa se vzduchovou tryskou o průměru 1,3 mm. Ve vysokotlaké nádobě byla 10 % vodou ředitelná transparentní barva Novax. Aplikace nátěru probíhala ve stříkací kabině s odsáváním (obrázek 18).

Tabulka 18 - Aplikace nátěru na vzorky

Znečištění		
Prach VP		
Prach HP		
Bez znečištění		



Obrázek 20 - Stříkací kabina

5.8. Měření tloušťky nátěru

V průběhu aplikace nátěru i po ní byla měřena mokrá tloušťka nátěru měrkou Bastro dle normy ČSN ISO 2808, aby bylo dosaženo požadované tloušťky 150 μm .



Obrázek 21 - Měrka nátěrů Bastro

Po aplikaci a kontrole požadované tloušťky nátěru se vzorky nechaly volně schnout na vzduchu. Následně byly vloženy na 30 minut do sušící pece na 80 °C. Po vyndání z pece a chládnutí vzorků volně na vzduchu, byla měřena suchá tloušťka nátěru pomocí digitálního tloušťkoměru Elcometer od firmy Gamin s.r.o. Bylo provedeno 10 měření na každém vzorku. Využita byla podložka z Fe. Z naměřených hodnot jsem následně odečetl tloušťku Al vzorku. Hodnoty jsou v následujících tabulkách.



Obrázek 22 - Digitální tloušťkoměr Elcometer

Tabulka 19 - Měření suché tloušťky nátěru s prachem VP

Vzorky zaprášeny prachem VP		
Číslo vzorků	1	2
Počet měření	10	10
Minimální tloušťka [μm]	54	54
Maximální tloušťka [μm]	108	111
Průměrná tloušťka [μm]	70,8	73,3

Tabulka 20 - Měření suché tloušťky nátěru s prachem HP

Vzorky zaprášeny prachem HP		
Číslo vzorků	3	4
Počet měření	10	10
Minimální tloušťka [μm]	28	41
Maximální tloušťka [μm]	59	54
Průměrná tloušťka [μm]	43,8	48,1

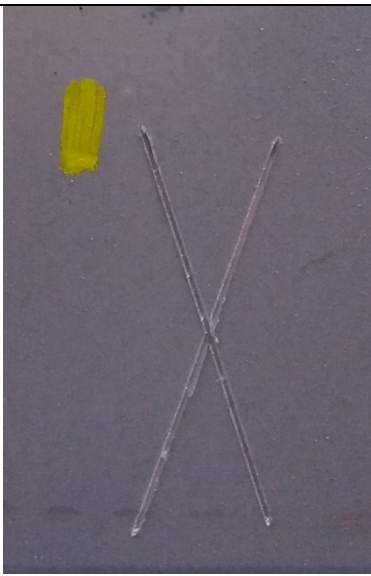
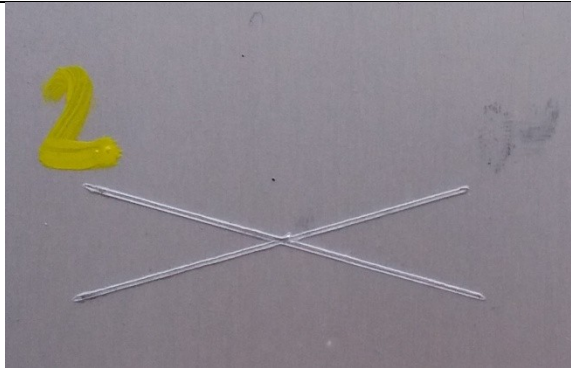
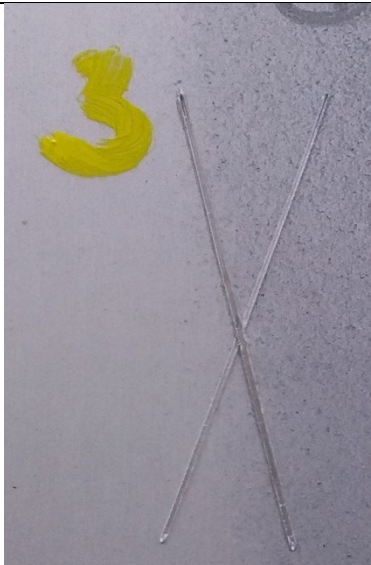
Tabulka 21 - Měření suché tloušťky nátěru bez prachu

Vzorky bez zaprášení		
Číslo vzorků	5	6
Počet měření	10	10
Minimální tloušťka [μm]	28	32
Maximální tloušťka [μm]	51	43
Průměrná tloušťka [μm]	42,9	38,2

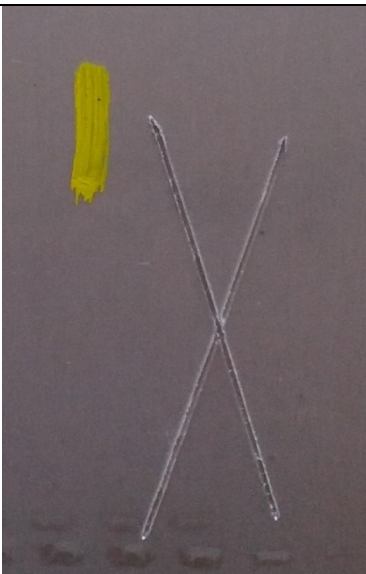
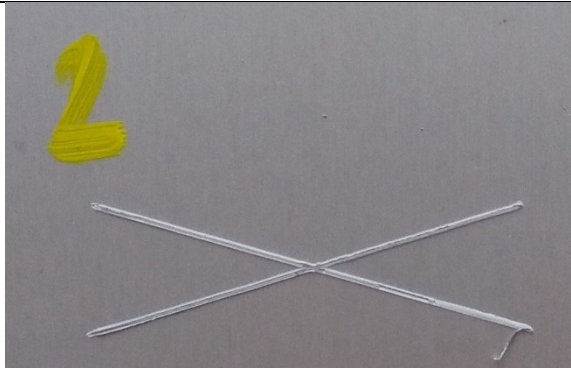
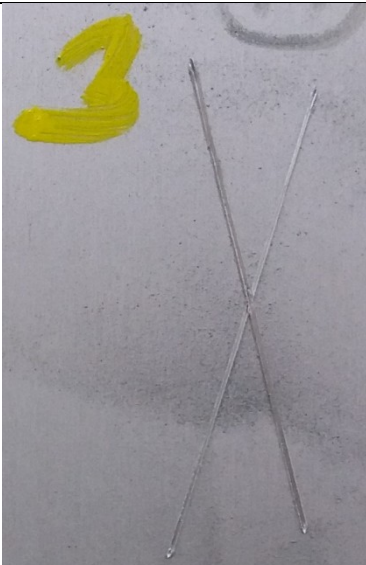
5.9. Křížový řez

Dle normy ČSN ISO 16276-2 jsem provedl a vyhodnotil zkoušku přilnavosti křížovým řezem. Pro křížový řez byla využita šablona s označením SP3000. Řez byl veden ve tvaru X o délce 40 mm. Nástrojem s jedním ostřím. V oblasti řezu byla pevně přitisknuta lepicí páska o délce 75 mm. Následně byla stržena pod úhlem 60° a nalepena na čistě bílý papír pro makroskopické vyhodnocení zkoušky. Křížový řez byl proveden na jednom vzorku z každé skupiny ve třech místech. Nátěr bez prachu vykazuje nejlepší výsledky. V případech nátěru s prachem VP a HP došlo k malému odloupení nátěru ve stupni 1.

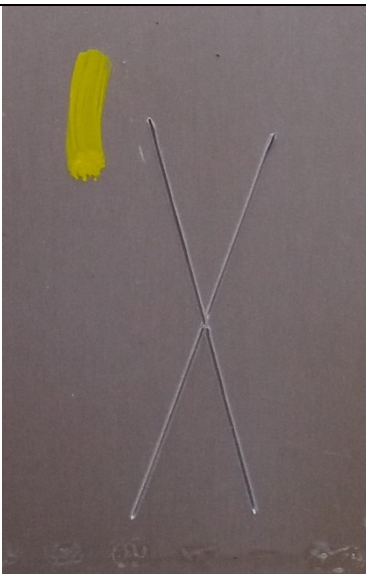
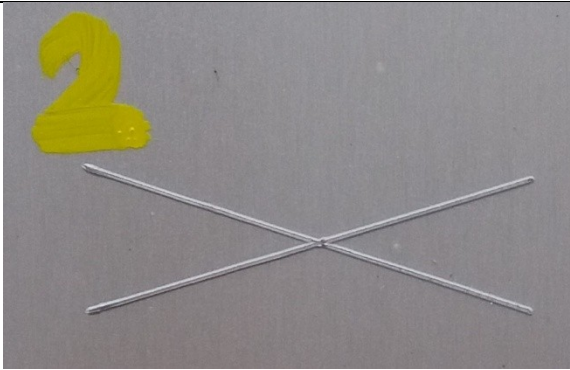
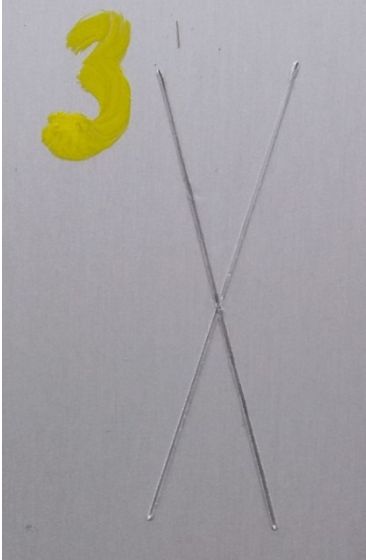
Tabulka 22 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 1 s prachem VP

Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	1
	0
	0

Tabulka 23 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 4 s prachem HP

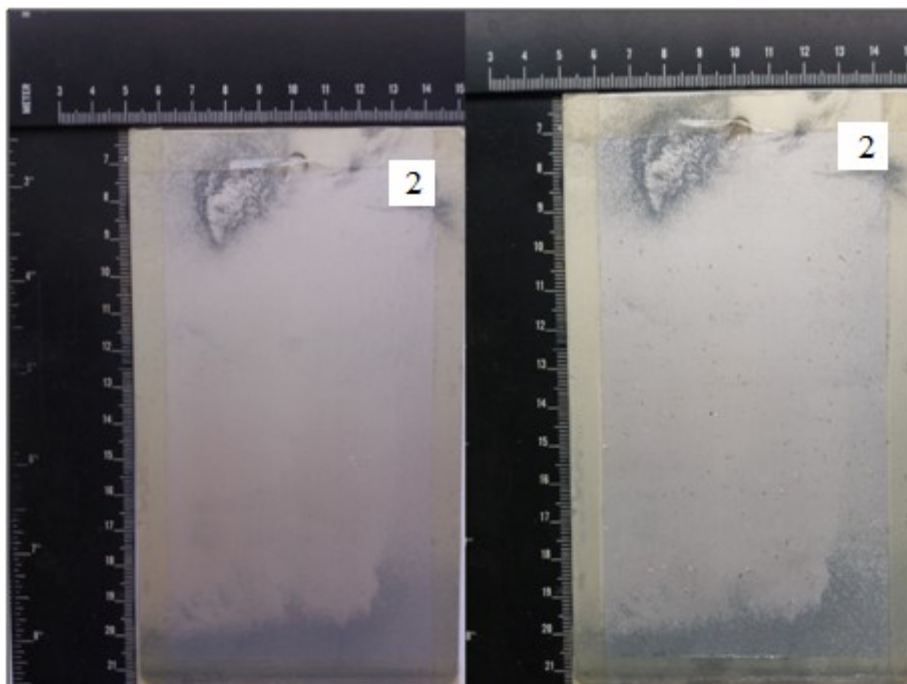
Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	0
	0
	1

Tabulka 24 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 5 bez prachu

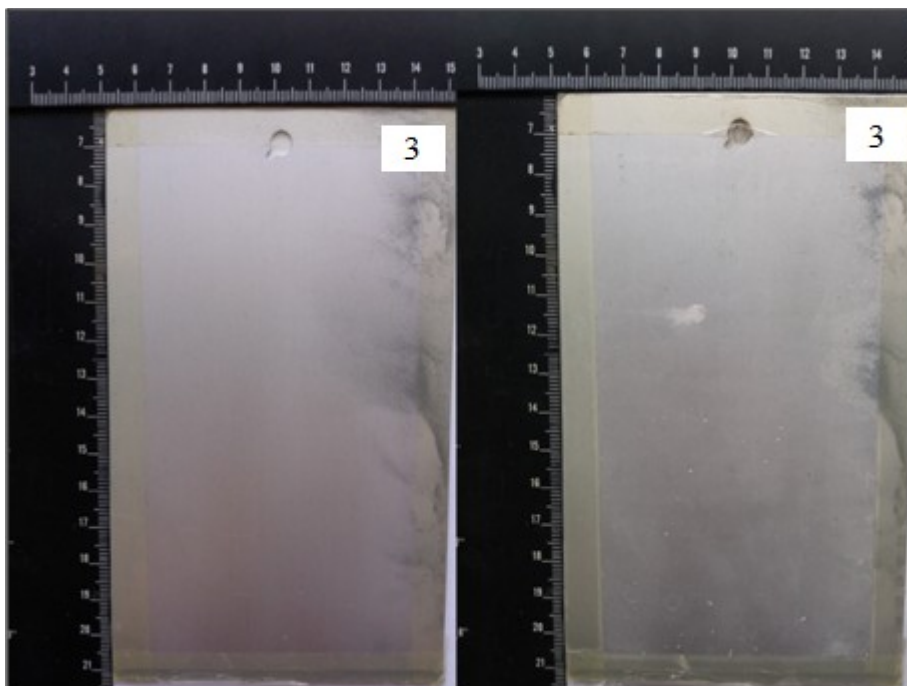
Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	0
	0
	0

5.10. Korozní zkouška

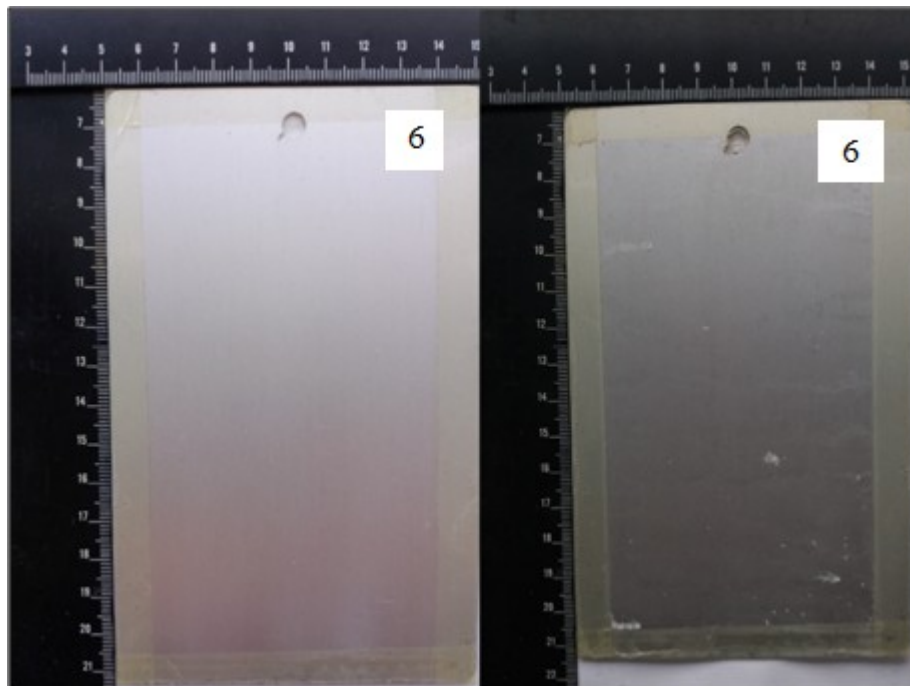
Dle normy ČSN EN ISO 9227 byl umístěn jeden vzorek s každé uvedené skupiny do solné komory na 15 dnů. Tam kde nebyl nanesen nátěr (hrany a zadní část vzorků), byla nalepena lepicí páska. Na vzorcích po vytažení ze solné komory jsou stopy bílé koroze.



Obrázek 23 - Vzorek s prachem VP před a po solné komoře



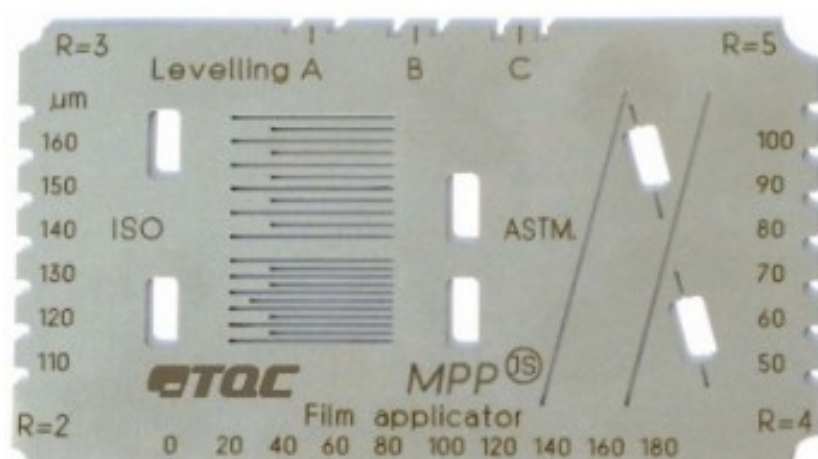
Obrázek 24 - Vzorek s prachem HP před a po solné komoře




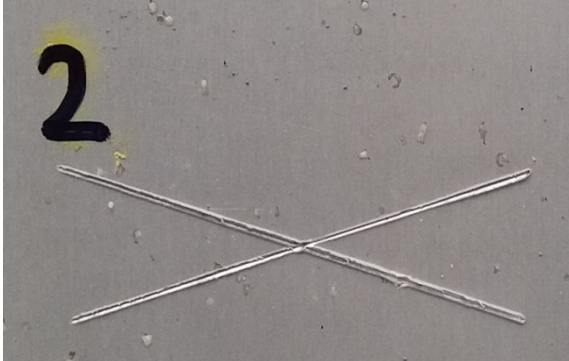

Obrázek 25 - Vzorek bez prachu před a po solné komoře

5.11. Křížový řez po korozní komoře

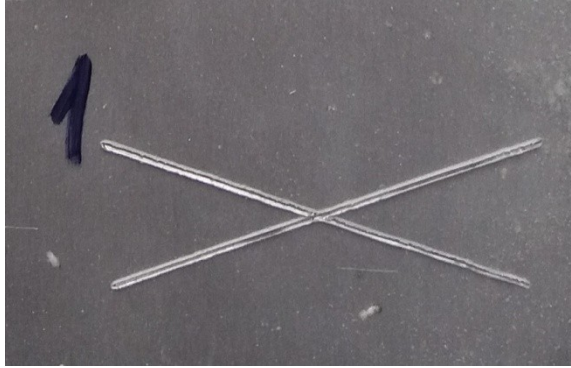

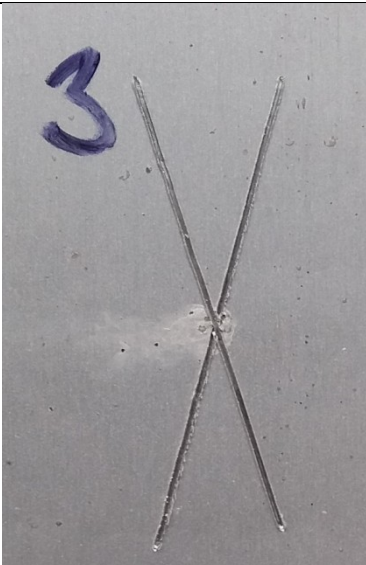
Zde byla prováděna metoda křížového řezu na vzorcích po vytažení s korozní komory dle ČSN EN ISO 16276-2. Zde bylo vidět zhoršení přilnavosti hlavně u zaprášených povrchů. U povrchu s prachem HP byl vyhodnocen stupeň 4.

Obrázek 26 - Multifunkční šablona pro křížovou zkoušku ¹¹


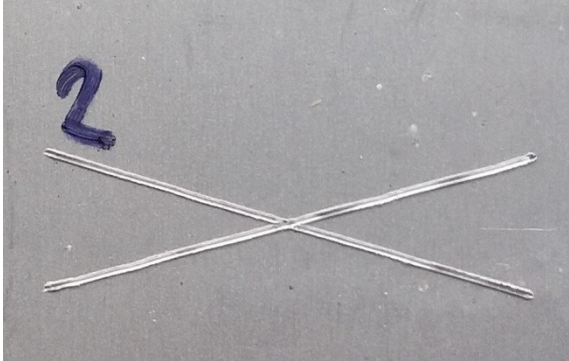
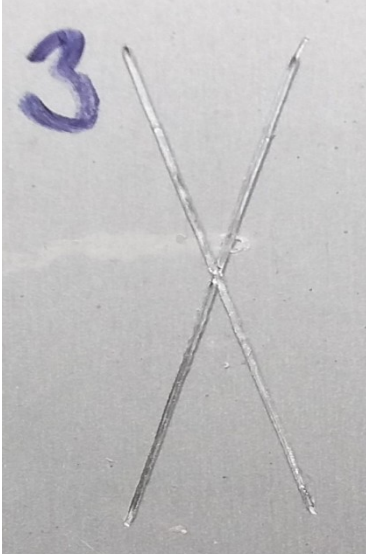
Tabulka 25 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 2 s prachem VP

Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	1
	0
	1

Tabulka 26 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 3 s prachem HP

Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	0
	4
	1

Tabulka 27 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 6 bez prachu

Křížový řez	Vyhodnocení křížového řezu
	0
	0
	0

Závěr

Bakalářská práce se zabývá studiem protikorozi ochrany hliníku tenkým organickým povlakem. V teoretické části byly prezentovány vlastnosti a tepelné zpracování hliníku a jeho slitin. V další kapitole byly uvedeny některé nejčastější případy koroze hliníku. Následuje popis povrchových úprav materiálu na bázi hliníku. Tato kapitola se zaměřuje hlavně na organické povlaky.

Experimentální část je rozdělena do sledu jedenácti průběhů experimentálních činností, na základě kterých byly hodnoceny fyzikálně mechanické vlastnosti základního materiálu a organického povlaku. Vzorky pro realizaci experimentů, byly rozděleny do tří základních skupin viz. tabulka 12. Následně bylo provedeno měření drsnosti na jednotlivých vzorcích, které bylo zapsáno do tabulky 13, dle této tabulky je nejnižší drsnost u vzorku 2, nejvyšší u vzorku 3. V bodu tři byly vzorky odmaštěny v koncentrovaném roztoku odmašťovadla Extreme Simple Green. Následně proběhlo znovu měření drsnosti viz. tabulka 15. Po porovnání bylo zjištěno, že po odmaštění dosahují menších hodnot. Nejmenších hodnot drsnosti po odmaštění dosahuje vzorek 1, nejvyšší vzorek 3. V pátém bodu byl udělán test povrchového napětí inkoustem s hodnotou 38 mN/m. Výsledkem testu byla uspokojivá přilnavost pro nátěry u všech vzorků viz. obrázek 12. Nejlépe v testu dopadl vzorek 4 a 5.

V následujícím bodu byly zaprášeny povrchy dvou vzorků. Pro vyhodnocení čistoty povrchu. Cílem bylo zaprášit povrch na nejvyšší stupeň C5. K vyhodnocení byla využita makroskopická zkouška lepící páskou viz. tabulka 16. U obou prachů byla provedena mikroskopie. Pro zaprášení byly dodány dva zinkové prachy označeny VP a HP. Prachem byly naprášeny povrchy dvou skupin vzorků. Třetí skupina byla bez znečištění. Následně na vzorky všech skupin byl aplikován vodou ředitelný nátěr vysokotlakým stříkáním o mokré tloušťce 150 μm . Měřením suché tloušťky byl zjištěn velký pokles tloušťky nátěru. Nejvíce u vzorků bez zaprášení. Naopak u vzorků s prachem VP došlo k nejmenšímu poklesu tloušťky nátěru. V devátém bodu byla provedena křížová zkouška na jednom vzorku z každé skupiny. U vzorků s prachem byl v jednom řezu vyhodnocen stupeň 1. V ostatních řezech stupeň 0. Zbylé vzorky byly umístěny na 15 dní do korozi komory. To odpovídá vystavení cca pěti letům v atmosférickém prostředí. Po vytažení byly na povrchu stopy bílé koroze. Na vzorcích vytažených s korozi komory byla provedena křížová zkouška. Kde bylo zjištěno zhoršení přilnavosti nátěru u zaprášených povrchů.

Nejhorší přilnavost byla u vzorku s prachem HP. V místě s největší hustotou prachu na povrchu byl proveden řez a vyhodnocen stupněm 4.

Z výsledků experimentální části lze říct, že pro dosažení lepší přilnavosti organického povlaku je obecně preferován povlak s vyšší drsností povrchu. Toto však nelze tvrdit bez ohledu na další možné faktory kvality povrchu jako je čistota nebo vady při výrobě. Jedním z šetřených faktorů je dostatečné odmaštění povrchu. Znečištění prachem VP vedlo k mírnému zhoršení přilnavosti nátěru. Znečištění prachem HP vedlo k velkému zhoršení přilnavosti v místě velké hustoty prachu. Povrchy bez znečištění prokazovali nejlepší výsledky přilnavosti nátěru a odolnosti proti korozi.

Poděkování

Děkuji své vedoucí bakalářské práce, Ing. Xenii Ševčíkové, Ph.D. za její ochotu, skvělý přístup, vstřícnost a podmětné připomínky.

Také bych chtěl poděkovat Ing. Renému Siostrzonkovi, Ph.D. za věnovaný čas a pomoc při experimentální práci a doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za cenné rady.

Poděkování patří i mé rodině, přátelům a přítelkyni za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Seznam použité literatury

1. MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
2. PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*, VŠB-TU Ostrava, 1993, 76 s, ISBN 80–7078–235–8.
3. KREISLOVÁ, Kateřina, KNOTKOVÁ, Dagmar a GEIPLOVÁ, Hana.: *Korozní chování kovů a kovových povlaků v atmosférickém prostředí*, Praha: SVÚOM, 2014, Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-08-5
4. MICHNA, Štefan.: *Encyklopedie hliníku*. Prešov: Adin, 2005. ISBN 80-89041-88-4
5. CENEK, Mojmír a Ladislav JENÍČEK. *Nauka o materiálu*. 2., rozš. a zcela přeprac. vyd. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 1973.
6. SEDLÁČEK, Vladimír. *Neželezné kovy a slitiny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979.
7. KREISLOVÁ, Kateřina, Dagmar KNOTKOVÁ a Hana GEIPLOVÁ. *Korozní chování kovů a kovových povlaků v atmosférickém prostředí*. Praha: SVÚOM, c2014. Metody sledování životnosti. ISBN 978-80-87444-08-5.
8. STRAKA, Jan. Periodická tabulka prvků: Hliník. In: *Tabulka* [online]. ČR: ČR, 2018 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.tabulka.cz/prvky/ukaz.asp?id=13>
9. Hliník. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2018 [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlin%C3%ADk>
10. Anodická oxidace hliníku a jeho slitin – eloxování. *Vývoj technologií EKOCHÉM-PPÚ s.r.o.* 1999, , 11. Dostupné také z: http://www.ekochem-ppu.cz/Materi%C3%A1ly/Anodicka_oxidace_hliniku_a_jeho_slitin.pdf
11. *Proinex.cz* [online]. ČR: PROINEX INSTRUMENTS, S.R.O [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.proinex.cz/cs/20-sada-pro-testovani-prilnavosti-mrizkovou-zkouskou.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Základní materiál ⁹	10
Obrázek 2 - Vliv obsahu Fe + Si na zvýšení.....	12
Obrázek 3 - Spirálová dislokace ve slitině Al - Cu po rychlém ochlazení. ⁵	21
Obrázek 4 - Diagram potenciál pH pro hliník ⁴	24
Obrázek 5 - Mezikrystalická koroze s následnou trhlinou ⁴	25
Obrázek 6 - Výrobky povrchově upravené eloxováním ¹⁰	26
Obrázek 7 - Moderní eloxovací zařízení ⁴	28
Obrázek 8 - Vzorek v dodaném stavu.....	34
Obrázek 9 - Měřicí přístroj MITUTOYO 301	35
Obrázek 10 - Přístroj Eutech Instruments.....	36
Obrázek 11 - Inkoust značky Arcotest s hodnotou 38 mN/m.....	37
Obrázek 12 - Nanesený inkoust Arcotest na vzorcích Al.....	38
Obrázek 13 - Mikroskop Neophot 2	39
Obrázek 14 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 20x u vzorku 1, 2	40
Obrázek 15 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 50x u vzorku 1, 2	40
Obrázek 16 - Mikroskopický pohled na zinkový prach VP zvětšený 100x u vzorku 1, 2 ..	40
Obrázek 17 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 20x u vzorku 3, 4	41
Obrázek 18 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 50x u vzorku 3, 4	41
Obrázek 19 - Mikroskopický pohled na zinkový prach HP zvětšený 100x u vzorku 3, 4 ..	41
Obrázek 21 - Stříkáč kabina	44
Obrázek 22 - Měrka nátěrů Bastro.....	44
Obrázek 23 - Digitální tloušťkoměr Elcometer	45
Obrázek 24 - Vzorek s prachem VP před a po solné komoře.....	50
Obrázek 25 - Vzorek s prachem HP před a po solné komoře.....	50
Obrázek 26 - Vzorek bez prachu před a po solné komoře.....	51
Obrázek 27 - Multifunkční šablona pro křížovou zkoušku ¹¹	51

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Fyzikální vlastnosti hliníku ⁴	11
Tabulka 2 – Fyzikálně-chemické vlastnosti hliníku ⁴	13
Tabulka 3 – rozdělení podle EN 573-1 ⁴	16
Tabulka 4 – Příklady některých slitin hliníku pro tváření ⁶	17
Tabulka 5 - Příklady některých slitin hliníku pro odlitky ³	18
Tabulka 6 - Rychlost koroze ⁷	22
Tabulka 7 - Maximální korozní úbytky hliníku ³	23
Tabulka 8 - Tloušťky oxidických vrstev ⁴	27
Tabulka 9 - Písemné označení nátěrových hmot ¹	31
Tabulka 10 - číselné označení nátěrových hmot ¹	31
Tabulka 11 - Označení barevných odstínů ¹	32
Tabulka 12 - Značení a popis vzorků.....	34
Tabulka 13 - Hodnoty naměřené přístrojem MITUTOYO 301 před odmaštěním	35
Tabulka 14 - Naměřené hodnoty odmašťovacího roztoku a H ₂ O.....	36
Tabulka 15 - Hodnoty naměřené přístrojem MITUTOYO 301 po odmaštění	37
Tabulka 16 - Makroskopické vyhodnocení prachové zkoušky	42
Tabulka 17 - Kinematické podmínky v laboratoři.....	42
Tabulka 18 - Aplikace nátěru na vzorky.....	43
Tabulka 19 - Měření suché tloušťky nátěru s prachem VP	45
Tabulka 20 - Měření suché tloušťky nátěru s prachem HP	46
Tabulka 21 - Měření suché tloušťky nátěru bez prachu	46
Tabulka 22 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 1 s prachem VP	47
Tabulka 23 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 4 s prachem HP	48
Tabulka 24 - Výsledky křížové zkoušky na vzorku 5 bez prachu	49
Tabulka 25 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 2 s prachem VP...52	
Tabulka 26 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 3 s prachem HP...53	
Tabulka 27 - Výsledky křížové zkoušky po korozní komoře na vzorku 6 bez prachu..... 54	