

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Studium vlivu čistoty hliníkového povrchu na
adhezi tenkého nátěru**

**Study of Influence Cleanness Aluminum
Surface on Adhesion of Thin Paint**

Student:

Bc. Martin Bartoš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Bartoš**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Studium vlivu čistoty hliníkového povrchu na adhezi tenkého nátěru**
Study of Influence Cleanness Aluminum Surface on Adhesion of Thin Paint
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti nanopovlaku a mechanismus adheze k substrátu.
2. Prostudujte vlastnosti povrchu substrátu.
3. Prostudujte vliv povrchového znečištění substrátu na adhezi nanopovlaku.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

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.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

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

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



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

Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě 9.5.2017




podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB.TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci 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 odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 9.5. 2017



podpis studenta

Adresa trvalého autora práce:

Martin Bartoš

Dubicko, Na Pekle 317

789 72

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BARTOŠ, M. *Studium vlivu čistoty hliníkového povrchu na adhezi tenkého nátěru*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2017, 65 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku vlivu čistoty povrchu substrátu na adhezi tenkého nátěru. Teoretická část práce je zpracována formou rešerše, kde jsou uvedeny dosavadní poznatky o povrchu materiálu. V úvodu teoretické části jsem se tedy zaměřil na samotný povrch materiálu. Dále jsem se zabýval korozí a její rozdělením. V následující části jsem uvedl některé mechanické a chemické úpravy povrchu. Tvorba a vlastnosti nanopovlaků jsou popsány v závěru teoretické části. Experimentální část práce je zaměřena na ověření vlivu vlastností hydrofobní a hydrofilních částic na adhezi tenkého nátěru na hliníkovém povrchu. Z výsledků je patrné, že hydrofobní částice poměrně ovlivňují adhezi nátěru.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BARTOŠ, M. *Study of Influence Cleaness Aluminum Surface on Adhesion of Thin Paint*. VŠB – Technical University of Ostrava, Department of Mechanical Technology, College of Mechanical Engineering, 2017, 65 p. Supervisor: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The master thesis focuses on the influence of substrate surface cleanliness on thin coating adhesion. The theoretical part of the thesis is elaborated in the form of a research, where is presented the knowledge about the surface of the material. At the beginning of the theoretical part, I focused on the surface of the material itself. Next I was dealing with corrosion and division of corrosion. In the following section, I mentioned some mechanical and chemical surface treatments. The nanopowder formation and properties are described at the end of the theoretical part. The experimental part of the thesis is focused on the influence of the properties of hydrophobic and hydrophilic particles on the adhesion of thin coating to the aluminum surface. From the results it is evident that the hydrophobic particles relatively affect the adhesion of the coating.

Poděkování:

Upřímně bych chtěl poděkovat paní doc. Ing. Jitce Podjuklové, CSc. za její vedení a cenné připomínky při tvorbě této práce. Také bych chtěl poděkovat panu Renému Siostrzonekovi za pomoc při praktické části a velmi cenné rady.

OBSAH

OBSAH	7
SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A JEDNOTEK	9
ÚVOD	11
1. POVRCH	12
1.1. Fyzikální vlastnosti povrchu	12
1.2. Geometrické vlastnosti povrchu.....	13
1.3. Chemické vlastnosti povrchu	13
2. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KOROZE	14
2.1. Rozdělení koroze.....	14
2.1.1. Chemická koroze.....	15
2.1.2. Elektrochemická koroze	15
2.1.3. Atmosférická koroze	15
2.2. Formy koroze	17
3. ADHEZE HLINÍKOVÉHO SUBSTRÁTU A POVLAKU.....	20
3.1. Zkoušky přilnavosti.....	20
3.2. Hliník	21
4. ÚPRAVY POVRCHŮ	22
4.1. Mechanické úpravy povrchů	22
4.1.1. Otryskávání	22
4.1.2. Omílání.....	23
4.1.3. Broušení	24
4.1.4. Leštění	25
4.1.5. Kartáčování	25
4.1.6. Další způsoby	26
4.2. Chemické úpravy povrchu	26
4.2.1. Odmašťování.....	26
4.2.2. Moření	29
5. NANOPOVLAKY	30
5.1. Historie nanopovlaků	30
5.2. Příprava nanočástic	31
5.2.1. Fyzikální metoda.....	31
5.2.2. Chemická metoda.....	32
5.3. Vlastnosti nanopovlaku	32
6. NÁTĚROVÉ SYSTÉMY	34
6.1. Složení nátěrových systémů.....	34
6.2. Formulace problému	34
7. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	35

7.1.	Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému.....	35
7.2.	Aplikace nátěrového systému	35
7.3.	Zkoušky nátěrových systému	35
8.	POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ.....	36
8.1.	Značení experimentálních vzorků	36
8.2.	Měření drsnosti povrchu vzorků	37
8.2.1.	Zhodnocení drsnosti povrchu	40
8.3.	Příprava hydrofilních a hydrofobních částic křídly.....	41
8.4.	Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3.....	41
8.4.1.	Zhodnocení čistoty povrchu substrátu dle ČSN EN ISO 8502-3	43
8.5.	Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808 ..	43
8.5.1.	Stanovení tloušťky mokré vrstvy	43
8.5.2.	Stanovení tloušťky suché vrstvy	45
8.5.3.	Zhodnocení mokré a suché tloušťky nátěru	48
8.6.	Měření přilnavosti nátěru křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2.....	48
8.6.1.	Zhodnocení výsledků přilnavosti před korozní zkouškou solnou mlhou.....	49
8.6.1.	Zhodnocení výsledků přilnavosti po korozní zkoušce solnou mlhou	51
8.7.	Zkouška ohybem dle ASTM D522/D522M – 13.....	53
8.7.1.	Zhodnocení výsledků zkoušky ohybem	56
8.8.	Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227	56
8.8.1.	Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1...	57
8.8.2.	Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2	58
8.8.3.	Hodnocení stupně prorezavění nátěru dle ČSN EN ISO 4628-3	58
8.8.4.	Zhodnocení korozní zkoušky	58
	ZÁVĚR	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM TABULEK.....	65

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A JEDNOTEK

Znak	Popis
α	Poměrná pohltivost
ρ	Poměrná odrazivost
μm	mikrometr
$^{\circ}$	stupeň
$^{\circ}\text{C}$	stupně Celsia
$\%$	procento
λ_c	filtr profilu
kg	kilogram
l	Základní délka měřeného úseku
MPa	Megapaskal
mm	Milimetr
nm	nanometr
Al	Hliník
ASTM	American Society for Testing and Materials
Cu	Měď
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní norma
Mg	Hořčík
NaCl	Chlorid sodný
Ra	Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu [μm]
Ri	Stupeň prorezavění
Rlo	Rozvinutá délka profilu [mm]

Rp	Největší výška výstupku profilu [μm]
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu [μm]
Rq	Kořenová průměrná kvadratická odchylka profilu [μm]
Rz	Maximální výška profilu [μm]
SiO ₂	Oxid křemičitý
TiO ₂	Oxid titaničitý
VOC	Volně těkavé organické látky
Zn	Zinek

ÚVOD

V dnešní době jsou povrchové úpravy jednou z nejdůležitějších technologií. Ochrana materiálu je stále více zdokonalována. Čím hlouběji tuto oblast prozkoumáváme, tím více získáváme lepší a kvalitnější typy nátěrů. Budoucností na ochranu materiálu je nanopovlak, který na bázi nanočástic zdokonaluje schopnosti povrchu odolávat okolním vlivům, a to i za tak malých tloušťek nátěrového systému.

Kvalita povrchu je v dnešní době celosvětovým problémem. Cena úprav povrchu před nanesením povlaku je u některých společností enormní. Ovšem tato úprava je nezbytná a jen díky správným technologiím se vytvoří takový povrch, který umožní povlaku dokonale přilnout. Klíčové vlastnosti pro co nejlepší přilnutí je čistota povrchu a jeho drsnost. I přes kvalitní nátěry, které už na trhu jsou, stále vzniká snaha vytvořit nátěr, který nebude tolik náchylný na mechanické poškrábání, chemickou korozi nebo prach na povrchu atd. Adheze nátěrového systému na povrch je velice důležitá.

Vývoj nanopovlaků nám přináší vytvoření unikátních vlastností povlaku. Zvyšují antikorozi odolnost, odolnost proti poškrábání, stárnutí a extrémnímu počasí. Také jejich přilnavost je stále lepší, a to i na povrchy, které nejsou plně očištěny. Díky těmto vlastnostem se nanopovlaky čím dál více používají ve všech možných odvětvích, ale především ve strojírenství, převážně v automobilovém a leteckém průmyslu.

1. POVRCH

Každý předmět, který je vyroben z kovového nebo nekovového materiálu, je ohraničen jeho povrchem v kontaktu s okolním prostředím. Zde dochází ke vzájemnému styku několika fází, zejména kovových, nekovových, kapalných a plyných. Síly, které působí mezi atomem na povrchu se zbylými sousedy, jsou větší než síly, které působí mezi atomy uvnitř mřížky a jeho sousedy. Tím se materiál ve styku s okolním prostředím rychle pokrývá vrstvami sousedních molekul a atomů, které následně absorbuje. [1] [2]

Povrch substrátu rozdělujeme nejčastěji podle jeho vlastností na tři základní složky:[1]

1. Fyzikální vlastnosti povrchu
2. Geometrické vlastnosti povrchu
3. Chemické vlastnosti povrchu

1.1. Fyzikální vlastnosti povrchu

Mezi typické fyzikální vlastnosti povrchu patří emise. Za určitých podmínek se mohou z povrchu kovu uvolňovat elektrony. Jednak ohřevem na vysokou teplotu, zde mluvíme o tepelné emisi nebo vnějším dopadem elektronů, zde mluvíme o sekundární emisi. Značný vliv na emisní vlastnosti mají adsorbované plyny a nečistoty. Emisi lze samozřejmě i zvýšit, a to pomocí umělých adsorbčních vrstev, které vytváří na povrchu kovu příznivé elektrické pole. [1]

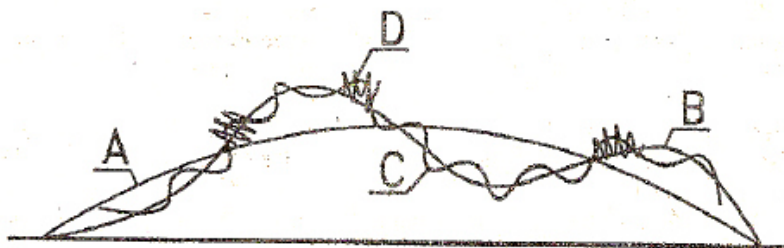
Dopadá-li elektromagnetické vlnění na těleso, energie se rozdělí na tři části: [1]

- Energie odražená
- Energie pohlcená
- Energie propustná

Podíl propustné energie je nevýznamný, bereme tedy v úvahu pouze dva podíly z dopadající energie – poměrná odrazivost ρ a poměrná pohltivost α . Poměr těchto dvou podílů se významně mění dle typu kovů a jejich povrchové drsnosti. [1]

1.2. Geometrické vlastnosti povrchu

Geometrické vlastnosti povrchu jsou v mnoha případech rozhodující nebo alespoň velmi důležité. Odchytky od ideální rovinnosti mohou vznikat při přípravě povrchu nebo během výroby dané součásti, ale také mohou být důsledkem změn vyvolaných vnějšími silami nebo prostředím, ve kterém se nachází. [1]



Obr. 1 – Schéma nerovností povrchu [2]

A – mimořádné nerovnosti (makronerovnosti) – náhodné trhliny, rýhy, nerovnosti vzniklé kováním nebo odléváním.

B – vlnitost povrchu – nerovnost vzniká hlavně při obrábění důsledkem chvění, periodicky se opakuje.

C – drsnost povrchu (mikronerovnost) – odvíjí se od technologického zpracování, periodicky se opakuje.

D – ultramikronerovnosti – zapříčiněny snahou krystalického povrchu dosáhnout co nejstabilnějšího stavu. [2]

1.3. Chemické vlastnosti povrchu

Pod chemickými vlastnostmi rozumíme změny chemického složení nebo oxidačních stavů prvků na mezifázovém rozhraní. Pro pevné látky se jedná především o rozhraní kapalné a plynné. Změny čistého kovu začínají adsorbí (molekuly jsou k povrchu vázány adhezními silami) a chemisorpí (molekuly jsou k povrchu vázány chemickou vazbou). [1]

Základem těchto dějů ve styku s kapalným prostředím je anodická oxidace (rozpuštění kovů) a katodická redukce (redukce kyslíku nebo vylučování vodíku). [1]

2. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KOROZE

Korozi můžeme definovat jako samovolně probíhající nenávratný proces postupného narušování a znehodnocování materiálu fyzikálněchemickými a chemickými vlivy prostředí. V některých případech můžeme zahrnout do koroze i děje vyvolané fyzikálním rozpouštěním nebo vypařováním. Korozi podléhají téměř všechny materiály, nejen kovy a jejich slitiny, ale také plastické hmoty, keramické, sklovité a jiné materiály.[1] [3]

Poškození materiálu může být rozdílné, a to změnou jeho vzhledu (např. ztráta lesku a barvy) až po jeho úplný rozpad (porušení celistvosti). Korozní děje jsou často ovlivňovány i současným působením mechanického namáhání (korozní praskání) nebo elektrickým proudem (korozní bludnými proudy), radiací, bakteriemi, atd.[1]

2.1. Rozdělení koroze

Dle vzájemného působení faktorů koroze (materiál, prostředí, atd.) je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Podle dominujícího faktoru, rozdělujeme na jednotlivé druhy:

a) Podle charakteru probíhajících dějů:

- chemická koroze
- elektrochemická koroze

b) Podle vzhledu:

- rovnoměrná koroze
- nerovnoměrná koroze

c) Podle korozního činitele:

- koroze při napětí
- koroze únavy materiálu

d) Podle prostředí:

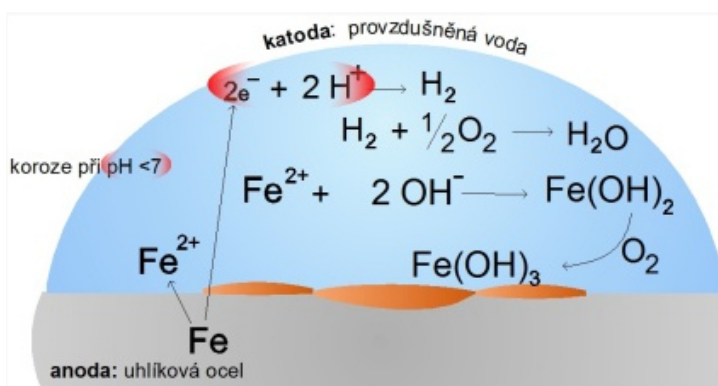
- v atmosféře
- v plynech
- v půdě
- ve vodě [3]

2.1.1. Chemická koroze

Chemická koroze je rozrušení kovových materiálů vlivem chemického působení vnějšího prostředí, patří sem plyny, vzduch, neelektrolyty jako nafta, benzen. Jedním z typických příkladů chemické koroze je oxidace, při které se na povrchu kovu objeví vrstva oxidů. Nachází-li se na kovu pórovitá nebo lehce odpadávající vrstva oxidů, může reakce mezi kovem a prostředím pokračovat, až se celý kov rozruší. Pokud je ovšem vrstva nepropustná nebo dobře přilne, chemická reakce se zastaví nebo alespoň zpomalí. [3]

2.1.2. Elektrochemická koroze

Dochází k ní při styku materiálu s elektricky vodivým prostředím. Elektrochemická koroze se od chemické liší tím, že dochází ke změnám spojeným s přenosem náboje. Prostředí, kde tato koroze vzniká, jsou kapalně roztoky kyselin, zásad a solí, které jsou rozpuštěny ve vodě. Korozní reakce můžeme rozdělit na dvě základní reakce – anodickou a katodickou. Obě tyto reakce probíhají současně a jsou na sebe vázány. O anodickou reakci se jedná, když dochází k oxidaci kovu. Při katodické reakci jsou v roztoku redukovány některé složky korozního prostředí spotřebováním elektronů. [3]



Obr. 2 – Schéma elektrochemické koroze [13]

2.1.3. Atmosférická koroze

Jedná se o nejrozšířenější formu koroze, která je elektrochemická a probíhá s kyslíkovou depolarizací. Základním faktorem, jak rychle bude koroze probíhat, určuje stupeň ovlhčení kovového povrchu. Dále je také závislá na přítomnosti plynných nebo rozpustných tuhých nečistot. [1]

Faktory, na které musíme brát ohled, při posuzování vlivu atmosféry na korozi materiálu:

- Atmosférické srážky a kolísání relativní vlhkosti
- Teplota a její kolísání
- Složení atmosféry
- Sluneční záření
- Biologické činitele [4]

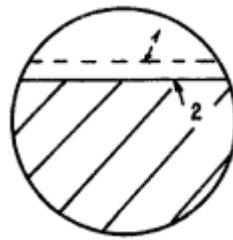
Korozní agresivita		Typická prostředí – příklady	
		Vnitřní	Venkovní
C1	Velmi nízká	Vytápěné prostory s nízkou relativní vlhkostí a nevýznamným znečištěním – školy, kanceláře, apod.	Suché nebo chladné klimatické pásmo, atmosférické prostředí s velmi malým znečištěním a dobou ovlhčení – pouště, Arktida/Antarktida
C2	Nízká	Nevytápěné prostory s měnící se teplotou a relativní vlhkostí, s malým znečištěním – sklady, sportovní haly, apod.	Mírné klim. pásmo, atm. prostředí s malým znečištěním – venkovské oblasti Suché nebo chladné klim. pásmo, atm. prostředí s krátkou dobou ovlhčení
C3	Střední	Prostory se střední četností kondenzace a středním znečištěním – potravinářské závody, prádelny, mlékárny, apod.	Mírné klim. pásmo, atm. prostředí se středním znečištěním – městské oblasti Subtropy a tropy, atmosférické prostředí s malým znečištěním
C4	Vysoká	Prostory s velkou četností kondenzace a velkým znečištěním – průmyslové závody, plavecké bazény, apod.	Mírné klim. pásmo, atm. prostředí s velkým znečištěním SO ₂ nebo vlivem chloridů – znečištěné městské oblasti, pobřežní oblasti (bez postřiku vodou) Subtropy a tropy, atmosférické prostředí se středním znečištěním
C5	Velmi vysoká	Prostory s velmi velkou četností kondenzace a/nebo velkým znečištěním – doly, nevětrané přístřešky v subtropích a tropech	Mírné a subtropické klim. pásmo, atm. prostředí s velmi vysokým znečištěním SO ₂ a/nebo vlivem chloridů – prům. oblasti, pobřežní oblasti
CX	Extremní	Prostory s téměř neustálou kondenzací nebo extrémní vlhkostí a/nebo velkým znečištěním – nevětrané přístřešky ve vlhkých tropech s pronikáním venkovního znečištění vč. chloridů	Subtropické a tropické klim. pásmo, atm. prostředí s velmi vysokým znečištěním SO ₂ a/nebo silným vlivem chloridů – extrémní prům. oblasti, pobřežní oblasti, působení solné mlhy

Obr. 3 – Rozdělení korozního prostředí dle ČSN EN ISO 9223 [19]

2.2. Formy koroze

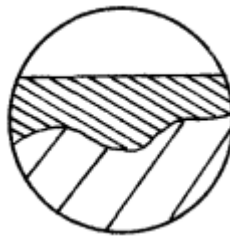
Formy korozního napadení závisí na materiálu (druh, vlastnosti, struktura, čistota), na korozním prostředí a na podmínkách, kterým je daný materiál v prostředí vystaven. Některé typy korozního napadení: [4]

- **Rovnoměrná koroze** – způsobuje rovnoměrný úbytek materiálu po celé napadené ploše. Z hlediska spolehlivosti je tato koroze nejpříznivější. [4]



Obr. 4 – Rovnoměrné napadení (1 – původní povrch, 2 – povrch po korozi) [4]

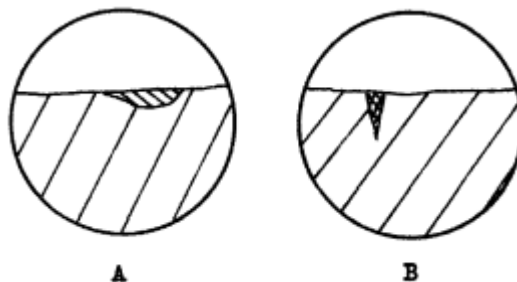
- **Nerovnoměrná koroze** – jsou napadána jen určitá místa materiálu. Vyskytuje se v případech, kdy se z různých důvodů mění složení materiálu. [4]



Obr. 5 – Nerovnoměrné napadení [4]

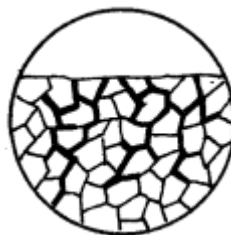
- **Galvanická koroze** – k této korozi dochází, když mají kovy daného systému různý potenciál nebo pokud mezi dvěma kovy existuje vodivé spojení či jsou propojeny elektricky vodivou vlhkou vrstvou elektrolytu. [5]
- **Štěrbinová koroze** – dochází v místech, kde je malé množství elektrolytu částečně odděleno od velkého objemu vnějšího elektrolytu. [6]

- **Důlková a bodová koroze** – porušení na pasivních vrstvách. Koroze napadá v daných bodech do značné hloubky. Důlkové se od bodového liší, že průměr důlku je větší než jeho hloubka. [4]



Obr. 6 – Důlkové napadení (A) a bodové napadení (B) [4]

- **Mezikrystalová koroze** – probíhá po hranách zrn. Velmi nebezpečná, nelze rozpoznat běžným vizuálním pozorováním.



Obr. 7 – Mezikrystalové napadení [4]

- **Transkrystalová koroze** – způsob napadení materiálu je stejný jako u mezikrystalové koroze, zde jsou však napadána i samotná zrna krystalu.



Obr. 8 – Transkrystalové napadení [4]

- **Nítková koroze** – druh koroze, která vzniká pod nátěrem. Její působení je pouze na povrchu materiálu, do hloubky neproniká.

- **Nožová koroze** – vzniká na rozhraní základního materiálu a svarového kovu.
- **Exfoliační koroze** – se objevuje u vrstvených struktur materiálu, když mají jednotlivé rovnoběžné vrstvy odlišné chemické složení. [4]
- **Extrakční koroze** – dochází k napadení převážně jen jedné chemické slitiny. Napadení může probíhat po celém povrchu, ale také pouze na určitých místech. [4]



Obr. 9 – Extrakční napadení [4]

- **Korozní praskání** – typ porušení, který je vyvolán mechanickým napětím. Většinou vzniká v místech, kde byl jiný typ koroze, např. bodová koroze. Šíření trhliny je buď po hranici zrna (interkrystalicky) nebo přes zrna (transkrystalicky).[1]



Obr. 10 – Korozní trhliny [4]

- **Korozní únava** – je korozní napadení, které vzniká při současném mechanickém a korozním namáhání. [1]
- **Vibrační koroze** – vzniká na dotýkajících se površích, které konají vzájemný kmitavý pohyb při určitém specifickém tlaku. Jednoduše řečeno jde o opotřebení ploch, které jsou však v důsledku oxidačních pochodů mnohem více namáhány než při běžném tření. [1]
- **Kavitace** – Během tlakové změny (např. u vodní vrtule) se mikroskopické částice pohybují a intenzivními údery ovlivňují povrch předmětu. [1]

3. ADHEZE HLINÍKOVÉHO SUBSTRÁTU A POVLAKU

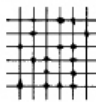
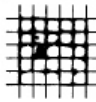
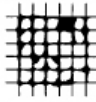
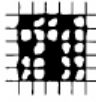
Adheze neboli přilnavost je souhrn chemických, fyzikálních a mechanických sil vztažených na jednotku plochy, kterými je povlakový systém poután k upravovanému povrchu. Je jednou z nejdůležitějších vlastností povrchu pro následné ošetření povlakem. Bez pevného zakotvení povlaku na daný povrch základního materiálu je vyloučena jeho funkčnost.[1]

3.1. Zkoušky přilnavosti

Nejčastěji využívaná metoda pro hodnocení přilnavosti organických nátěrů v praxi je zkouška mřížkovým řezem. Spočívá v proříznutí povlaku několika na sebe kolnými řezy a následnému hodnocení míry odloupení povlaku.[1]

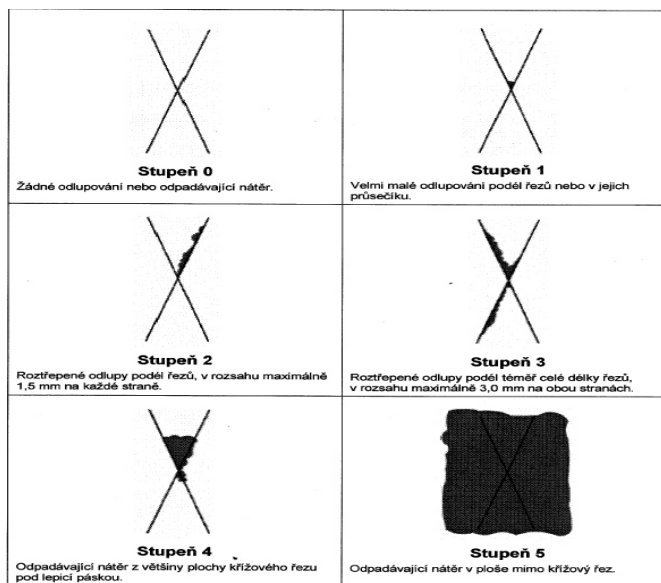
Povlak musí být proříznut až na podkladový materiál v délce nejméně 20 mm, vzdálenost kolných řezů je určena dle tloušťky nátěru:

- 1 mm – do 60 μm
- 2 mm – 60 až 120 μm
- 3 mm – 120 až 200 μm [18]

Klasifikace	Popis	Vzhled povrchu plochy s mřížkovým řezem, na které se vyskytlo odlupování (Příklad pro šest rovnoběžných řezů)
0	Hrany řezů jsou zcela hladké; žádný čtverec mřížky není poškozen	-
1	Malé kousky povlaku odloupeny v místech křížení řezů. Poškozená plocha je menší než 5 %	
2	Povlak se odlupuje podél řezů a/nebo 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, a/nebo 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 a/nebo některé čtverce jsou odloupeny částečně nebo zcela. Poškozená plocha je větší než 35 %, ale menší než 65 %	
5	Jakýkoliv stupeň odlupování, který nemůže být klasifikován ani stupněm 4	-

Obr. 11 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [18]

Další v praxi využívanou metodou je zkouška přilnavosti křížového řezu. Tato zkouška vyžaduje, aby byl daným nátěrovým systémem veden ostrým nástrojem řez ve tvaru „X“. Délka těchto řezů musí být 40mm a úhel, který oba řezy svírají, se pohybuje v rozmezí 30° až 40°. Tento řez se přelepí páskou širokou 50 mm a v průběhu 5 minut se páska odtrhne. [18]



Obr. 12 – Klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem [18]

3.2. Hliník

Hliník je velmi odolný proti korozi, zejména pokud je čistý. V praxi používáme hliník o čistotě 99,5% Al. Úbytek tloušťky je v mírné atmosféře velmi dobrý, udává se, že nepřesahuje 0,001 mm/rok. V přímořských oblastech je hliník mírně napadán a dochází k bodové korozi. Silně napadán je v alkalických hydroxidech a také ve zředěném anomiaku. Vytvrditelné slitiny hliníku AlCuMg a AlZnMg (duraly a superduraly) jsou pak méně odolné vůči korozi a musí být chráněny. [3]

4. ÚPRAVY POVRCHŮ

Účelem úpravy povrchů je zbavit povrch nečistot a dosáhnout technicky čistého povrchu za použití dané technologie. Povrchy kovových materiálů mohou být znečištěny nečistotami vázanými k povrchu adsorpcí, tedy pouze adhezními silami. Mezi tyto nečistoty patří například zbytky mazadel, prach a podobně. Pro odstranění těchto nečistot používáme například technologii odmašťování nebo ultrazvukové čištění, tedy technologie nemění profil povrchu. Další skupinou nečistot jsou ty, které jsou k povrchu vázány chemickými silami, tedy chemisorpcí. Jsou to například rez nebo okuje a oxidy. Pro jejich odstranění aplikujeme technologie jako je otryskávání, broušení nebo například moření. Tyto technologie profil povrchu změňí.[3]

4.1. Mechanické úpravy povrchů

Předběžnými mechanickými úpravami povrchu nedodáváme předmětu přesný, výkresem stanovený tvar a rozměr, ale vytváříme určitou požadovanou jakost a kvalitu povrchu. Účelem mechanických úprav je především:

- očistit povrch od nečistot
- zajistit podmínky pro vyhovující přilnavost následujících vrstev
- vytvořit podmínky pro zvýšení odolnosti proti korozi a opotřebení
- vytvořit povrch odpovídající vzhledovým požadavkům [1]

Mezi nejrozšířenější způsoby mechanických úprav povrchu jsou broušení, leštění a kartáčování. Broušení a leštění je nejnákladnější operací z mechanických úprav, proto se volí jen tam, kde jsou maximální nároky na jakost povrchu. Broušení a leštění by mělo probíhat tak, že povrch je v jednotlivých operacích opracováván postupně jemnějšími brusnými prostředky, přičemž směr broušení jednotlivých operací by měl být odlišný.[1]

4.1.1. Otryskávání

Otryskávání je způsob mechanické úpravy povrchu, při kterém dochází k tryskání (vrhání) tryskajícího materiálu při velké rychlosti, přímo na povrch otryskávaný materiál

za účelem očištění od korozních produktů, následné dodání vhodné drsnosti povrchu a také jeho zpevnění. Tento tryskací materiál může být vrhán na povrch buď mechanicky, pomocí vrhacího kola nebo pneumaticky, například pomocí stlačeného vzduchu. Při tryskání dopadají abrazivní částice na povrch velkou rychlostí. Výkon otryskávání (tzn. úběr) můžeme regulovat pomocí:

- druhem otryskávaného materiálu
- velikostí zrn
- tlakem
- úhlem a vzdáleností tryskání
- velikostí trysky [1] [3]

Jako tryskací hmoty se nejvíce používají:

- litinová drť a broky (výroba granulací litiny, dobrá úběrová schopnost i trvanlivost (60x vyšší než křemičitý písek), dražší, celkově hospodárnější a hygieničtější, používá se do tlaku 0,7MPa)
- křemičitý písek (levný, úběrová schopnost malá, třísťí se, nebezpečí vzniku silikózy, použití do tlaku 0,3MPa)
- sekaný drát (nejpevnější - patentovaný drát 160MPa, neštěpí se, 5x dražší než litinová drť, méně opotřebovává metací kola)
- umělé a speciální materiály (drť z pecek a plastických hmot, skleněné kuličky – baloti na vyhlazování, snížení drsnosti)
- brusiva (karbid křemíku, korund - ostřejší zrno, stejnoměrnější a trvanlivější než křemičitý písek) [1]

4.1.2. Omílání

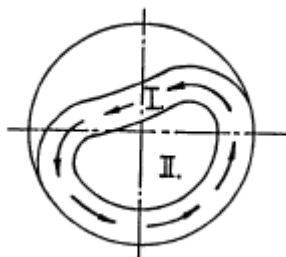
Operace, během které dochází k vzájemnému odírání předmětů, omílajících těles, brusiva a kapaliny v otáčejícím se bubnu nebo zvonu. Omílání se používá převážně pro menší předměty oblých tvarů do 1kg a to především pro zpracování velkých sériových

tvarově náročných součástí. Větší předměty je taktéž možné omílat, ale je zapotřebí je upevnit do přípravku v omílacím zařízení. Mezi hlavní výhody této operace patří snížení nákladů, snížení zmetkovitosti, zvýšení výrobnosti, zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti. Hlavní výhodou je ovšem odstranění namáhavého ručního broušení a leštění. Samozřejmě jsou zde i nevýhody v nerovnoměrném úběru z povrchu předmětu, hlavně na hranách, kvůli této nevýhodě nemůžeme omílat předměty, u kterých otupení hrany znamená poškození výrobku. [1] [3]

Při omílání se vytváří v bubnu dvě vrstvy. (obr. 13) Vrstva I. má tvar prstence, sleduje stoupání stěny bubnu a v určitém okamžiku se odtrhne a klouže jako aktivní vrstva. Jádro - II. vrstva, která se převaluje jen mírně, ovšem rozhraní mezi těmito vrstvami není přesně odděleno.

Omílání používáme na:

- Odjehlování výrobku
- Leštění výrobku
- Odstraňování zbytků tavidel po svařování
- Odstraňování zbytků koroze
- Zpevnění povrchu [3]



Obr. 13 – Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu při omílání [1]

4.1.3. Broušení

Hlavním účelem broušení je odstranění hrubých nerovností povrchů (rýhy, výkovky apod.) postupným úběrem materiálu. Postup volíme podle stupně nerovnosti povrchu. Jemné broušení se provádí k dosažení jemnějšího povrchu pomocí brusných kotoučů, které jsou přimazávány z důvodu snížení tření a tím zahřívání broušených předmětů. Při hrubém broušení (hrubování) používáme naopak suché brusivo o zrnitosti 24

až 100. Nejjemnější broušení je předlešťování, kterým dosáhneme výchozího povrchu pro leštění. Zrnitost je od 280 až do 500 a velice se blíží k leštění. [1]

Čím má brusivo menší zrnitost, tím měkčí a jemnější plst' se používá. Volba zrnitosti plstě:

- Hrubování 24, 30, 36, 46, 60, 70, 80
- Hlazení 100, 120, 150
- Jemné hlazení 200, 240
- Předlešťování 280, 320
- Jemné předlešťování 400, 500, 600 [3]

4.1.4. Leštění

Broušení a leštění je velice podobné a hranice mezi těmito operacemi není přesně určena. Leštění je operace, u které dochází k nižšímu úběru materiálu a zároveň dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Dochází během ní k odstranění nejjemnějších stop po předchozích operacích a díky tomu dokážeme dosáhnout velmi nízké drsnosti (po 0,1 Ra) a zároveň velkého lesku. Na výši lesku povrchu má největší vliv leštící nástroj, obvodová rychlost a použitá leštící pasta. Při prvním leštění se používají tvrdší látkové kotouče s použitím mastnějších pasty a větší obvodové rychlosti. Pro dolešťování využíváme měkkých kotoučů, sušších jemnějších past a menší obvodovou rychlost. [1] [3]

4.1.5. Kartáčování

Kartáčování můžeme použít pro dva hlavní druhy úprav povrchu. Za prvé k odstranění hrubých nečistot jako jsou např. rez, staré nátěry apod. Zde se používá kartáč s ocelovými dráty nebo pro matovou úpravu povrchu se užívá jemných drátů z mosazi. Znečištěné kartáče čistíme pomocí odmašťování a moření. Druhou možností využití kartáčování je zjemnění upraveného povrchu před leštěním a dosažení stejnoměrného vzhledu. Zde se používá kartáč s přírodními nebo umělými vlákny jako jsou fibr, sisal, silon, žíně, které jsou zároveň mazané brusnými pastami.[3]

4.1.6. Další způsoby

- **Oklepávání** – speciální metoda k odstranění okují nebo silných vrstev korozních produktů na rozměrnějších předmětech. Používá se většinou pneumaticky poháněné zařízení, které pohybují kladívky, ocelovými dráty, trny apod. Rychlejší způsob čištění je pomocí rotačních kladívkových kotoučů, které jsou upevněny na brusky s ohebnou hřídelí. Oklepávání lze použít pouze u rozměrných nebo masivních předmětů, u kterých nemůže následně nastat deformace. [1]
- **Opalování plamene** – se taktéž používá k odstranění rzi na hmotných předmětech. Při této operaci je po povrchu přejíždí speciální hořák. Díky rozdílné roztažnosti mezi korozním produktem a základním materiálem se rez uvolňuje a pomocí tlaku plynu je odfukována. [1]
- **Vodní paprsek** – při velké výtokové rychlosti lze používat k odstranění hrubých nečistot a podkorodovaných starých nátěrů. Pro používání této technologie je nutné mít speciální vysokotlaké zařízení a možnost čištění odpadních vod.

4.2. Chemické úpravy povrchu

Úprava, která je založena na reakci chemického činidla s nečistotami na povrchu materiálu. Patří zde moření, odmašťování, leštění a odrezování. Tyto operace se obvykle používají pro přípravu povrchu před nanášením povlaků. Čistota povrchu se odvíjí dle druhu povlaku, pro který tento povrch připravujeme. Nejchoulostivější na čistotu povlaku jsou galvanické povlaky, naopak méně choulostivé nátěrové hmoty.

Nečistoty dělíme na ulpělé nebo chemicky vázané. Mezi ulpělé patří různé mastnoty, v nich je zachycený prach nebo zbytky brusiv a leštících past. Tloušťky těchto vrstev mohou být malé, nejsou patrné ani okem, ale mohou být silné i několik mm. Chemicky vázané nečistoty vznikají nejvíce jako produkt koroze, rzi a okuje. Odstraňují se mechanickým čištěním nebo chemickým mořením.

4.2.1. Odmašťování

Technologie, která odstraňuje všechny druhy ulpělých nečistot z povrchu materiálu, které jsou k povrchu vázány fyzikální adsorpcí (např. látky tukového charakteru) nebo

adhezními silami (např. prach, kovové třísky, anorganické nečistoty apod.). U kovových povrchů je jejich energie k povrchu mnohem menší, než u nečistot vázaných chemicky, lze je tím pádem odstranit snadněji, rychleji a beze změn kovového povrchu. Hlavním úkolem odmašťovacích prostředků je uvolnění nečistot z povrchu materiálu. Převedením těchto nečistot do roztoku nebo emulze a zabránění jejich zpětnému přilnutí (redepozici) na povrch materiálu.[1] [2]

Dělení podle způsobu aplikace:

- odmašťování ponorem,
- odmašťování postřikem,
- odmašťování v párách,
- odmašťování elektrolytické,
- odmašťování ultrazvukem,
- odmašťování mechanické a tepelné. [1]

Dělení podle použitého prostředku na odmašťování:

- **Odmašťování v alkalických roztocích** – je jeden z nejvíce rozšířených způsobů čištění kovového povrchu. Odmašťovací prostředky obsahují louh nebo sodu. Při použití tenzidů, povrchově aktivních látek, zvýšíme kvalitu, urychlíme samotný proces a také snížíme pracovní teplotu. Rostlinné a živočišné tuky i oleje se při odmašťování chemicky mění - zmýdelňují. Mastné látky minerálního původu jsou chemicky odolnější, proto musíme použít vyšších teplot.[1] [2]
- **Odmašťování v organických rozpouštědlech** – během tohoto způsobu se mastné látky na povrchu kovu rozpustí a zároveň uvolní i ostatní ulpělé nečistoty, jako jsou kovové třísky, prach apod. Odmašťování v organických rozpouštědlech se může použít i na silné vrstvy mastných nečistot. Hlavní nevýhodou ovšem je, že rozpouštědla nevyhovují požadavkům bezpečné a zdravotně nezávadné práci. Používá se petrolej, benzín, toluen, benzen, atd.[2]

- **Elektrolytické odmašťování** – je v podstatě alkalické odmašťování za použití elektrického proudu. Používá se na odstranění posledních nečistot, které zbyly na povrchu materiálu po předchozím odmašťování.[1]
- **Odmašťování v neutrálních roztocích** – jde o vodní roztoky saponátů (dubaryl), které se používají při ručním odmašťování rozměrných předmětů.[3]
- **Emulzní odmašťování** – používají se organická rozpouštědla, která obsahují požadované množství organických emulgátorů a alkalií udržující mírnou alkalitu. Rozpouštědlo rozpustí mastnoty, přičemž přítomnost emulgátorů pomáhá k penetraci rozpouštědla. Následným oplachem vodou se jak nečistoty, tak rozpouštědla odstraní z povrchu.[1]
- **Odmašťování opalem** – dochází ke spálení mastnot za tvorby plynných produktů. Probíhá v teplotách 300-700°C a používá se na velkoplošné díly, kdy předcházející způsoby byly neefektivní z hlediska spotřeby lázní, místa, ceny, atd. Je nutné počítat u tenkých dílů s deformací a s možností zahájení rekrystalizace v povrchové vrstvě.[1]
- **Odmašťování ultrazvukem** – používá se pro zvýšení účinnosti čistících procesů, tím pádem se doba zkracuje a odmašťování je dokonalejší.[1]

4.2.2. Moření

Způsob odstranění korozních produktů z povrchu kovu chemicky nebo elektrochemicky. Nejčastěji používané jsou kyseliny a kyselé soli, méně používané pak alkalická činidla. Pro moření oceli se nejčastěji používají kyseliny. Kyselina proniká póry do oxidického povlaku na fázové rozhraní oxid-kov, podleptává povlak a vodík, který se následně uvolňuje ve formě bublinek, podporuje svým tlakem odtrhávání oxidické vrstvy od materiálu.[2]

Kyseliny používané pro moření:

- Kyselina sírová
- Kyselina chlorovodíková
- Kyselina fosforečná

5. NANOPOVLAKY

Díky zkoumání a vývoji nanotechnologie bylo vysvětleno člověku, do té doby, několik nepochopitelných jevů. Některé z těchto jevů člověk objevil u vlastností povrchu rostlin a živočichů. Jasným příkladem je povrch lotosového listu, na který dopadne kapka vody, ta po listu steče, aniž by povrch nějak namočila a dokonce ho očistí. Pouze až po bližším zkoumání přišli lidé na to, že tyto listy mají určitou strukturu, která nedovoluje vodě proniknout hlouběji, navíc vodu využije k samočištění. Tato zjištění pak napomáhají vylepšovat povrchy našich produktů a stále je zlepšovat. Díky nanotechnologii můžeme povrchy proměnit v povrch s těmito vlastnostmi:

- Jednoduchost čištění a samočisticí schopnost
- Odolnost proti oděru a poškrábání
- Impregnace - odpudivost vody a olejů
- Ochrana proti korozi
- Ochrana proti otiskům prstů
- Odolnost proti bakteriím a plísním
- Ochrana proti stárnutí materiálu
- Nezamlžování [9]

5.1. Historie nanopovlaků

První zmínky o nanočásticích pocházejí ze 4. až 5. století před n. l. z Egypta a Číny. V této době bylo objeveno „rozpuštěné zlato“, které používaly jak pro estetické, tak léčivé účinky. Asi ze 4. století jsou dochovány tzv. Lykurgoy poháry (obr. 14), které byly vyráběny v období Římské říše. Zajímavostí tohoto poháru je jeho barva, zelený pohár je pozorován na denním světle. Umístíme-li zdroj světla dovnitř poháru, jeho barva však bude červená. Chemickou analýzou bylo zjištěno, že se sklo podobá sklům moderním. Sklo však obsahuje malé množství zlata a stříbra. Tyto kovy mají velikost nanokrystalů o rozměrech přibližně 70 nm. [10]



Obr. 14 – Lykurgovy poháry při různém dopadu světla [10]

5.2. Příprava nanočástic

Už před přípravou nanočástic je zapotřebí uvážit jejich další aplikaci, protože nanočástice mohou být připraveny několika různými metodami. Lze tak dosáhnout požadovanou velikost a tvar a tím i požadované chemické a fyzikální vlastnosti. [11]

Nanočástice mohou být připraveny dvěma metodami:

- Fyzikální metoda (mechanickým dělením kovových agregátů)
- Chemická metoda (nukleací a růstem „zárodku“) [10]

Mezi nepoužívanější typy nanočástic patří:

- nanočástice kovů (např. zlato a stříbro),
- nanočástice oxidů,
- nanočástice sulfidů,
- nanočástice selenidů,
- polymerní nanočástice. [11]

5.2.1. Fyzikální metoda

Při této metodě jsme schopni připravit částice o velikosti 10 nm a více. Nanočástice jsme schopni připravit pomocí mechanického mletí hrudkových materiálů a stabilizací vzniklých částí přidáním chránících prostředků. Tato metoda se v praxi moc nevyužívá, protože produkce požadovaných velikostí je poměrně obtížné. [12]

Příklady přípravy nanočástic:

- kondenzace v neutrálních plynech,
- těžká plastická deformace,
- vysokoenergetické mletí kulovým mlýnem,
- ultrazvukové brokování. [12]

5.2.2. Chemická metoda

Nejpoužívanější metoda pro výrobu nanočástic, konkrétně redukce. Při zvolení vhodných podmínek lze připravit nanočástice požadovaných tvarů a velikostí.

Příklady přípravy nanočástic:

- redukce v plynné fázi,
- elektrochemická metoda,
- řízené chemické spolusrážení,
- chemická kondenzace par,
- sprejování tekutým plamenem,
- redukce v kapalně fázi. [12]

5.3. Vlastnosti nanopovlaku

Díky experimentálním zkouškám bylo zjištěno, že existence částic v nátěru, jejichž rozměry nepřesahují 100 nm, mají dobrý vliv na finální vlastnosti povrchu. A to například zvýšením výsledné tvrdosti nebo zlepšením bariérových vlastností. Přítomnost těchto nanočástic ovlivňují výsledné vlastnosti o desítky procent. Pro správnou funkci nátěru je samozřejmě podmíněn výběr částic (jejich tvar, velikost, povrchová úprava) a také co nejdokonalejší rozmístění částic v pojivu. Vlastnosti můžeme vylepšit pomocí vhodných nanoprášků kovu, SiO₂, TiO₂, oxidy hliníku, atd. nebo použitím organických prášků.[8]

Nanonátěry, které obsahují anorganické částice (např. anorganické křemíkové částice) a jsou navzájem hustě propojeny, se projevují lepšími vlastnostmi, jako jsou odolnost proti poškrábání, zvýšení tvrdosti, ale také pomocí proti vytváření koroze.[8]

Pomocí malého množství nanočástic můžeme připravit nátěrový systém různých vlastností a funkcí. Díky nanotechnologii máme možnost upravovat a různě modifikovat vlastnosti povrchu. Můžeme např. vytvořit nátěrový systém, který bude odolný vůči extrémnímu počasí, proti vysokým teplotám, poškrábání, nebo s vynikajícími antikorozními odolnostmi.[8]

6. NÁTĚROVÉ SYSTÉMY

Nátěrový systém využíváme především k ochraně substrátu před korozí, dále nám zvyšuje životnost a vytváří jeho vzhled a estetickou působivost. Nátěr musí především vykazovat dobrou přilnavost k substrátu a také odolnost, jak proti agresivnímu koroznímu prostředí, tak proti mechanickému poškození.

6.1. Složení nátěrových systémů

Složení nátěrových systémů je velice komplikované a má velký vliv na celkovou kvalitu ochrany a přilnavosti k substrátu. V dnešní době jsou požadovány především vodou ředitelné nátěry, vzhledem k jejich nižšímu obsahu VOC látek. Trendem dnešní doby jsou nátěry s obsahem pevných složek o velikosti nanorozměrů, které ovlivňují vlastnosti tohoto nátěrového systému. Především zvyšují korozní odolnost, odolnost proti nárazu a mechanickému poškození a snižují tloušťku vrstvy.

Složení nátěrových systémů:

- Pojivo – filmotvorná látka, která nátěru udává fyzikální a chemické vlastnosti
- Rozpouštědlo – upravuje viskozitu nátěru
- Pigmenty – udává nátěru zbarvení a neprůhlednost
- Plniva a aditiva – upravují fyzikální a technologické vlastnosti nátěru

6.2. Formulace problému

Pro ocelové výrobky jsou v dnešní době známy patentové technologie, práce a výsledky, které jsou spojovány s aplikací tenkých transparentních nátěrových systémů. Taktéž povlak, který použijeme pro tuto diplomovou práci je určený pouze pro ocelový podklad. V této práci však provádíme experiment na hliníku, abychom získali informace, zda je tento povlakový systém kompatibilní i s jiným typem substrátu. Velmi závažný problém při přepravě součástí je podkorodování ochranného nátěru, v místech kde je uveden technický popis bílou popisovou křídou. Proto v experimentální práci současně zkusíme, v jaké míře křída ovlivní adhezi povlaku.

7. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Pro experimentální práci byly použity standardizované hliníkové plechy.

7.1. Příprava povrchu před aplikací nátěrového systému

- Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu před odmaštěním dle ČSN EN ISO 4287
- Odmaštění povrchu přípravkem SIMPLE GREEN
- Stanovení drsnosti povrchu podkladového materiálu po odmaštění dle ČSN EN ISO 4287
- Aplikace hydrofilní a hydrofobní křídly
- Měření drsnosti povrchu substrátu s prachovými částicemi dle ČSN EN ISO 8502-3

7.2. Aplikace nátěrového systému

- Nátěr: Transparentní, vodou ředitelný nátěr s obsahem nanočástic
- Aplikace: Pneumatické stříkání

7.3. Zkoušky nátěrových systémů

- Stanovení tloušťky mokrého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808
- Stanovení tloušťky suchého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808
- Zkouška přilnavosti nátěru křížovou metodou dle ČSN EN ISO 16276-2
- Zkouška ohybem dle ASTM D522/D522M – 13
- Korozní zkouška v solné komoře dle ČSN EN ISO 9227

8. POPIS EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Na experimentální práci bylo použito 36 vzorků otryskaných standardizovaných hliníkových plechů. Polovinu těchto vzorků bylo odmaštěno po dobu 5 minut pomocí přípravku SIMPLE GREEN. Po odmaštění byly tyto vzorky vloženy do sušičky. V další fázi experimentu proběhlo měření drsnosti povrchu pomocí drsnoměru Mitutoyo Sorftest 301 a to jak na odmaštěném vzorku, tak i na neodmaštěném vzorku. Poté byla nanášena na jednu polovinu všech vzorků hydrofilní křída, která má simulovat znečištění popisem křídou na konstrukci. Na 50% množství bylo ošetřeno sprejem typu Smart Sep od výrobce Baťa a.s. za účelem získat hydrofobní vlastnosti křídou. Následně byl aplikován nátěrový systém pomocí pneumatického stříkání. Pomocí zubové měrky pro měření tloušťky mokrého nátěru bylo provedeno měření mokré vrstvy nátěru. Po řádném zaschnutí nátěru bylo na 1/3 všech typů vzorků provedena zkouška přilnavosti nátěrového systému a to zkouškou křížovým řezem. Na další 1/3 všech typů vzorků bylo provedena zkouška ohybem. Zbývající vzorky byly vystaveny agresivnímu prostředí v korozní komoře se solnou mlhou.

8.1. Značení experimentálních vzorků

V rámci experimentů byly rozděleny vzorky do dvou základních skupin.

- Vzorky otryskané a zbavené od nečistot pomocí odmaštění
- Vzorky pouze otryskané

Znečištění bylo provedeno nanášením částic drcené křídou pro popis konstrukcí před montáží. 50% z množství vzorků bylo použito v neupraveném původním stavu, a na dalších 50% z množství byl použit sprej typu Smart Sep od výrobce Baťa a.s. za účelem získání hydrofobních vlastností křídou.

Pro experimentální práci bylo použito 36 kusů vzorků (hliníkových plechů) o rozměru 200x100x0,7 mm, pod označením viz Tabulka 1. Tyto vzorky byly otryskány výrobcem a následně byla stanovena jejich mikrogeometrie povrchu. Vzorky označeny OB a OS byly následně odmaštěny. Povrch u vzorků s označením NB a NS byl ponechán jejich výrobním stav. Vzorky OB a NB jsou bez použitého laku tím pádem s hydrofilní křídou. OS a NS jsou s použitím laku a tím vznikla hydrofobní křída.

Tabulka 1 - Označení vzorků

Označení vzorku	Rozměr vzorku [mm]	Popis vzorku	Typ znečištění vzorku
1. - 9. OB	200x100x0,7	Otryskaný vzorek a následně odmaštěn	Vzorek s křídovými hydrofilními částicemi
1. - 9. OS	200x100x0,7	Otryskaný vzorek a následně odmaštěn	Vzorek s křídovými hydrofobními částicemi
1. - 9. NB	200x100x0,7	Otryskaný vzorek	Vzorek s křídovými hydrofilními částicemi
1. - 9. NS	200x100x0,7	Otryskaný vzorek	Vzorek s křídovými hydrofobními částicemi

8.2. Měření drsnosti povrchu vzorků

Před odmaštěním a následně po odmaštění bylo provedeno měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287, s využitím drsnoměru Mitutoyo Surftest 301 (viz Obr. č. 13). Na každém vzorku bylo provedeno 5 měření v příčném směru (Tab. 2) a podélném směru (Tab. 3) pro povrch před odmaštěním a pro povrch po odmaštění v příčném směru (Tab. 4) a podélném směru (Tab. 5). Z těchto naměřených hodnot byly následně stanoveny hodnoty průměrné.

Tabulka 2 – Drsnost hliníkového povrchu před odmaštěním - příčný směr

Hliník před odmaštěním, $\lambda_c = 0,8$ mm, $l = 4$ mm						
Měření	Ra[μ m]	Rz[μ m]	Rq[μ m]	Rp[μ m]	Rv[μ m]	Rlo[mm]
1	0,42	2,51	0,58	1,17	1,81	2,508
2	0,51	3,38	0,62	1,44	1,87	2,510
3	0,53	3,44	1,22	1,35	3,01	2,508
4	0,57	3,51	1,16	2,56	3,91	2,507
5	0,49	2,97	0,66	1,46	1,96	2,506
Průměr	0,504	3,162	0,848	1,596	2,512	2,508
Minimum	0,42	2,51	0,58	1,17	1,81	2,506
Maximum	0,57	3,51	1,22	2,56	3,91	2,51

Tabulka 3 – Drsnost hliníkového povrchu před odmaštěním - podélný směr

Hliník před odmaštěním, $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$						
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rlo[mm]
1	0,21	2,3	0,47	1,09	1,74	2,511
2	0,49	3,27	0,57	1,34	1,81	2,509
3	0,19	1,31	1,14	1,47	2,87	2,504
4	0,23	2,12	1,32	2,46	3,45	2,509
5	0,31	3,01	0,71	1,86	2,26	2,506
Průměr	0,286	2,402	0,842	1,644	2,426	2,508
Minimum	0,19	1,31	0,47	1,09	1,74	2,504
Maximum	0,49	3,27	1,32	2,46	3,45	2,511

Tabulka 4 – Drsnost hliníkového povrchu po odmaštění - příčný směr

Hliník po odmaštění, $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$						
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rlo[mm]
1	0,53	3,32	0,59	1,14	2,46	2,521
2	0,68	3,98	0,72	1,56	2,24	2,518
3	0,7	4,11	1,17	1,69	3,62	2,511
4	0,67	4,47	1,23	2,34	3,84	2,521
5	0,59	3,86	0,87	2,61	1,89	2,509
Průměr	0,634	3,948	0,916	1,868	2,81	2,516
Minimum	0,53	3,32	0,59	1,14	1,89	2,509
Maximum	0,7	4,47	1,23	2,61	3,84	2,521

Tabulka 5 – Drsnost hliníkového povrchu po odmaštění - podélný směr

Hliník po odmaštění, $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $l = 4 \text{ mm}$						
Měření	Ra[μm]	Rz[μm]	Rq[μm]	Rp[μm]	Rv[μm]	Rlo[mm]
1	0,36	2,88	0,62	1,09	2,39	2,519
2	0,39	2,81	0,71	1,62	2,27	2,522
3	0,41	2,61	1,07	1,74	3,48	2,517
4	0,48	2,69	1,32	2,21	3,83	2,514
5	0,39	2,54	0,92	2,59	1,75	2,520
Průměr	0,406	2,706	0,928	1,85	2,744	2,518
Minimum	0,36	2,54	0,62	1,09	1,75	2,514
Maximum	0,48	2,88	1,32	2,59	3,83	2,522

Na obrázku níže můžete vidět drsnoměr Mitutoyo Surftest 301 během měření drsnosti na jednom z hliníkových vzorků. Na obrázku 16 pak vidíme přímo měřící hlavu během měření. Měření probíhalo v laboratoři VŠB-TU Ostrava.



Obr. 15 – drsnoměr Mitutoyo Surftest 301



Obr. 16 – drsnoměru Mitutoyo SurfTest 301 – měřící hlava

8.2.1. Zhodnocení drsnosti povrchu

Drsnost byla měřena na vzorku před odmaštěním a po odmaštění. Pro měření drsnosti bylo použito digitální měřící zařízení Mitutoyo SurfTest 301. V rámci experimentální práce bylo měření prováděno 5x u obou typů vzorku. Měření bylo realizováno v příčném směru \rightarrow a následně i ve směru podélném \uparrow . Výsledek byly zobrazeny formou číselných hodnot na displeji zařízení.

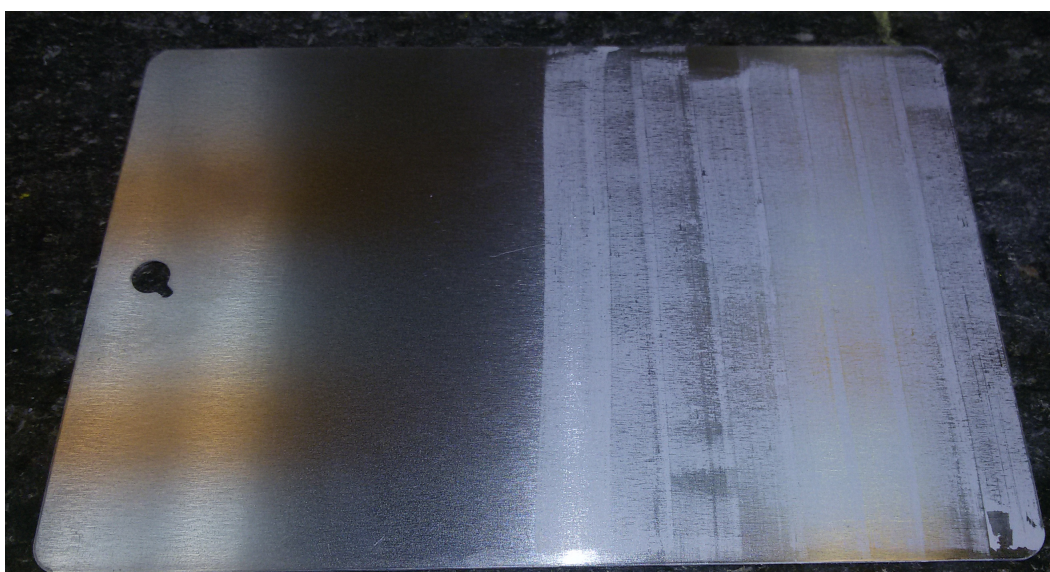
Tabulka 6 – Průměrné naměřené hodnoty drsnosti vzorků [20]

	\rightarrow Ra [μm]	\rightarrow Rz [μm]	\uparrow Ra [μm]	\uparrow Rz [μm]
Před odmaštěním	0,504	3,162	0,286	2,402
Po odmaštění	0,634	3,948	0,406	2,706

Dle tabulky lze zjistit, že průměrná hodnota drsnosti se pod odmaštění zvýšila. Drobné nečistoty a mastnoty se odmaštěním uvolnily a drsnost substrátu se tím pádem zvýšil.

8.3. Příprava hydrofilních a hydrofobních částic křída

Pro výrobu hydrofobních a hydrofilních částic křída, které jsme následně aplikovali na povrch materiálu, byla použita technická popisová křída. Křída byla aplikována na povrch třením a tím vznikaly malé částice na povrchu vzorku. Hydrofobní částice byly získány impregnačním sprejem Smart Step od výrobce Baťa a.s. Na vzorky, které měly hydrofilní částice se, aplikoval impregnační sprej. Po zaschnutí a odpaření těkavých látek impregnačního spreje získala vrstva křída odpudivý charakter. Částice, které nebyly nadále upraveny, jsou považovány za hydrofilní a částice po aplikování spreje jsou považovány za hydrofobní.

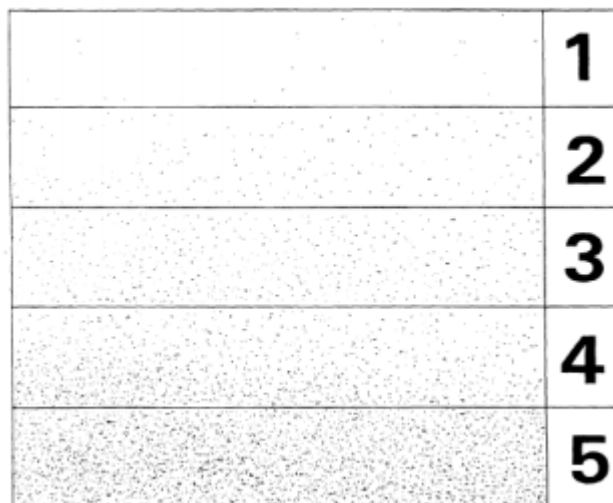


Obr. 17 – Vzorek s vytvořenou hydrofilní vrstvou

8.4. Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3

Norma popisující stanovení zbytku prachu na povrchu, který je připraven pro aplikaci nátěru. Pomocí zkoušky zjistíme množství přítomného prachu na povrchu materiálu a průměrnou velikost částic. Pro následné vyhodnocení zkoušky se využívá samolepící páska. Páska se přitlačí na daný povrch a pod úhlem 180° je následně stržena. Pásku poté umístíme na kontrastní podklad. Poté následuje vizuální vyhodnocení, jaké množství zachyceného prachu se na povrchu nachází a jaká je velikost částic. [14]

Pro každý povrch určitého typu je nutno provést minimálně tři hodnocení, která jsou vždy oddělená. Pokud se výsledky liší o jeden nebo více stupňů, je zapotřebí provést další dvě hodnocení pro co nejpřesnější rozhodnutí o výsledku. V tabulce 7 jsou uvedeny třídy velikosti prachových částic. Po ukončení měření, je nutno z povrchu odstranit všechny zbytky samolepící pásky a lepidla. [14]



Obr. 18 – Obrazová stupnice odpovídajícího množství prachu [14]

Tabulka 7 – Třídy velikosti prachových částic [14]

TŘÍDA	POPIS
0	Částice neviditelná, zvětšení 10x.
1	Částice viditelná při zvětšení 10x. (částice menší než 50 μm).
2	Částice viditelná prostým okem (částice mezi 50 μm a 100 μm v průměru).
3	Částice jednoznačně viditelná prostým okem (částice do 0,5 mm v průměru)
4	Částice mezi 0,5 až 2,5 mm v průměru.
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru.

8.4.1. Zhodnocení čistoty povrchu substrátu dle ČSN EN ISO 8502-3

Dle normy ČSN ISO 8502 – 3 bylo zjištěno, že na podkladovém materiálu je průměrné množství prachových částic, kde není aplikována křída, ve třídě 1. Dle tabulky 6 jsou částice viditelné při zvětšení 10x, ale ne prostým okem (menší než 50 μm v průměru). Hodnocení bylo provedeno před odmaštěním. Ulpělé částice na povrchu substrátu pocházejí z výrobního procesu.

Povrch, kde byla aplikována hydrofilní křída, měla třídu velikosti prachových částic ve třídě 5. Zde se nacházejí částice větší než 2,5 mm v průměru.

8.5. Stanovení tloušťky mokré a suché vrstvy nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808

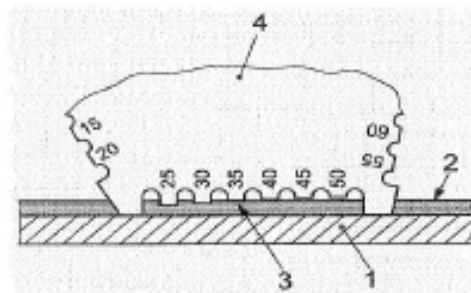
Tato norma popisuje metody, které lze použít pro měření tloušťky nátěrového systému nanesený na podklad. V normě nalezneme popis metod pro stanovení tloušťky u suchého filmu, mokrého filmu a nevytvrzených vrstev práškových nátěrových systémů.[15]

8.5.1. Stanovení tloušťky mokré vrstvy

Pro měření mokré vrstvy byl použit měřicí hřeben. Tento hřeben je vyroben z korozně odolného materiálu, který má zuby po celé délce okrajů, viz obrázek 19. Styl měření je znázorněn na obrázku 20. Referenční zuby v rozích hřebenu tvoří základní dosedací plochu, která leží přímo na podkladovém materiálu. Mezi těmito referenčními zuby jsou v jedné linii seřazeny zuby vnitřní. Každý tento zub je označen odpovídající hodnotou tloušťky. Rozmezí, které můžeme touto měrkou měřit, je 25 – 2000 μm.[15]



Obr. 19 – Měření mokré vrstvy



Obr. 20 – Měření mokré vrstvy [15]

(1 – podkladový materiál, 2 – nátěrový systém, 3 – bod smočení, 4 – měřicí hřeben)

8.5.2. Stanovení tloušťky suché vrstvy

Pro měření suché vrstvy byla použita nedestruktivní metoda. Měření proběhlo pomocí digitálního tloušťkometru ELCOMETR 456. Díky tomuto zařízení je měření jednoduché a měření provádí přístroj automaticky. Naměřené hodnoty se zobrazují na displeji s možností automatického vypočítání průměru. Na každém vzorku proběhlo 10 měření. Pět měření na povrchu bez aplikace křída a pět měření na ploše, kde byla aplikována křída, viz tabulky níže.



Obr. 21 – Elcometr 456

Tabulka 8 – Tloušťka suchého nátěru neodmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý

Počet měření	Povrch bez křídý			Povrch s křídou		
	1. NB	2. NB	3. NB	1. NB	2. NB	3. NB
1	56,2	49,2	47,2	25,2	62,2	51,2
2	79,2	41,2	53,2	26,2	79,2	99,2
3	43,2	67,2	75,2	48,2	61,2	60,2
4	61,2	45,2	63,2	59,2	70,2	64,2
5	41,2	49,2	60,2	43,2	38,2	70,2
Průměr [μm]	56,2	50,4	59,8	40,4	62,2	69
Minimální tloušťka [μm]	41,2	41,2	47,2	25,2	38,2	51,2
Maximální tloušťka [μm]	79,2	67,2	75,2	59,2	79,2	99,2

Tabulka 9 – Tloušťka suchého nátěru neodmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý

Počet měření	Povrch bez křídý			Povrch s křídou		
	1. NS	2. NS	3. NS	1. NS	2. NS	3. NS
1	83,2	44,2	50,2	63,2	63,2	62,2
2	94,2	81,2	53,2	63,2	109,2	59,2
3	80,2	59,2	47,2	69,2	63,2	79,2
4	76,2	63,2	44,2	78,2	62,2	68,2
5	81,2	71,2	54,2	64,2	80,2	54,2
Průměr	83	63,8	49,8	67,6	75,6	64,6
Minimální tloušťka [μm]	76,2	44,2	44,2	63,2	62,2	54,2
Maximální tloušťka [μm]	94,2	81,2	54,2	78,2	109,2	79,2

Tabulka 10 – Tloušťka suchého nátěru odmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý

Počet měření	Povrch bez křídý			Povrch s křídou		
	1. OB	2. OB	3. OB	1. OB	2. OB	3. OB
1	73,2	86,2	89,2	64,2	29,2	53,2
2	43,2	74,2	45,2	56,2	25,2	26,2
3	53,2	67,2	75,2	55,2	42,2	46,2
4	64,2	52,2	65,2	47,2	33,2	32,2
5	62,2	59,2	67,2	84,2	46,2	23,2
Průměr	59,2	67,8	68,4	61,4	35,2	36,2
Minimální tloušťka [μm]	43,2	52,2	45,2	47,2	25,2	23,2
Maximální tloušťka [μm]	73,2	86,2	89,2	84,2	46,2	53,2

Tabulka 11 – Tloušťka suchého nátěru odmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý

Počet měření	Povrch bez křídý			Povrch s křídou		
	1. OS	2. OS	3. OS	1. OS	2. OS	3. OS
1	86,2	104,2	105,2	51,2	55,2	45,2
2	80,2	76,2	71,2	59,2	53,2	43,2
3	82,2	72,2	104,2	54,2	64,2	29,2
4	77,2	75,2	56,2	65,2	49,2	31,2
5	79,2	82,2	89,2	59,2	54,2	63,2
Průměr	81	82	85,2	57,8	55,2	42,4
Minimální tloušťka [μm]	77,2	72,2	56,2	51,2	49,2	29,2
Maximální tloušťka [μm]	86,2	104,2	105,2	65,2	64,2	63,2

8.5.3. Zhodnocení mokré a suché tloušťky nátěru

Nátěrový systém byl aplikován na povrch pomocí tlakové pistole a následně byla tloušťka změřena hřebenovou měrkou. Metoda měření mokrého nátěru je uvedena v kapitole 8.5.1. Tloušťka mokrého nátěru dosahovala 175 μm . Po zaschnutí bylo provedeno měření suché vrstvy pomocí měrného digitálního přístroje ELCOMETR 456. Na každém vzorku proběhlo deset měření. Pět měření na povrchu bez křídý a zbylých pět měření na povrchu, kde byla aplikována křída. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce 12.

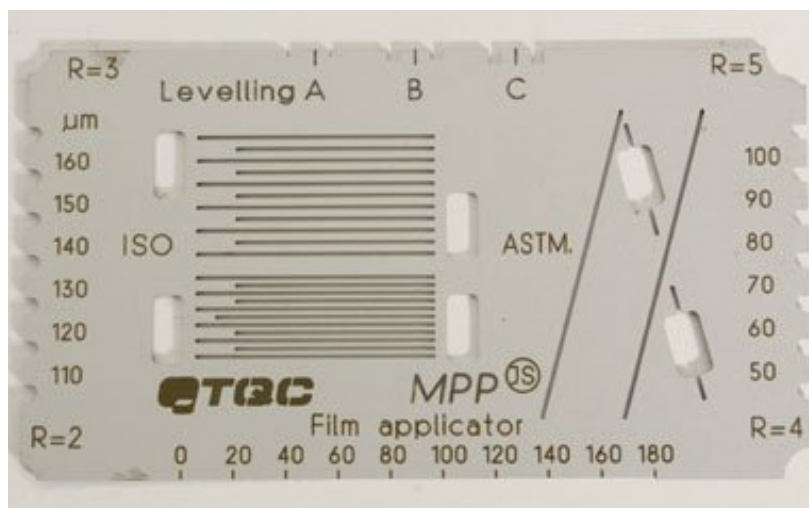
Tabulka 12 – Srovnání tlouštěk suchého nátěrového filmu

	Povrch bez křídý				Povrch s křídou			
	OS	OB	NS	NB	OS	OB	NS	NB
Minimum [μm]	68,5	46,8	54,8	43,2	43,2	31,8	59,8	38,2
Maximum [μm]	98,5	82,8	76,5	73,8	64,2	61,2	88,8	79,2
Průměr [μm]	82,7	65,1	65,5	55,5	51,7	44,3	59,3	57,3

8.6. Měření přilnavosti nátěru křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2

Podrobné informace ohledně této zkoušky, jsou uvedeny v kapitole 3.1. - Zkoušky přilnavosti.

Zkouška byla prováděna v laboratořích VŠB-TU Ostrava. K této zkoušce je zapotřebí ostrý nástroj, šablona na křížový řez (viz Obr. 22) a speciální standardizovaná izolační páska. V následujících tabulkách jsou zobrazeny výsledky zkoušky přilnavosti.

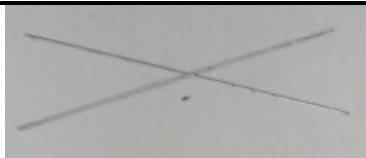
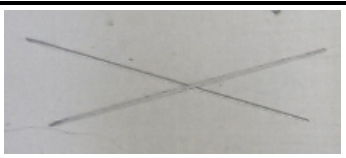
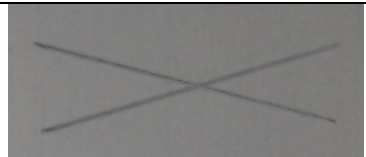
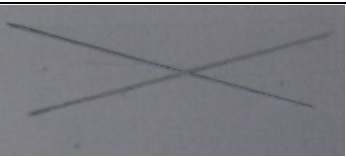
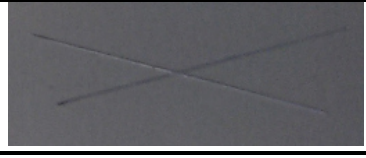
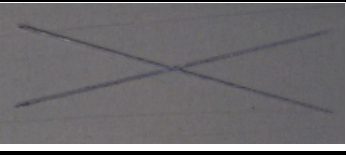


Obr. 22 – Šablona pro zkoušku přilnavosti


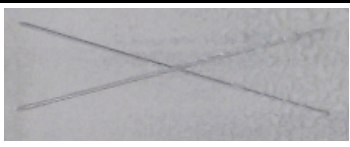
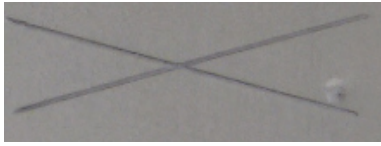



8.6.1. Zhodnocení výsledků přilnavosti před korozní zkouškou solnou mlhou

Dále byla provedena zkouška přilnavosti, a to pomocí křížového řezu. Zkouška byla provedena jak na vzorky bez korozní zkoušky, tak na vzorky po korozní zkoušce. Všechny vzorky vykazovaly velmi dobré adhezní vlastnosti až na povrch hydrofobní.

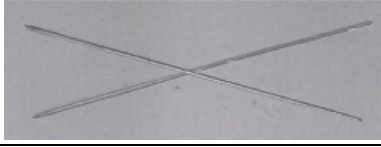
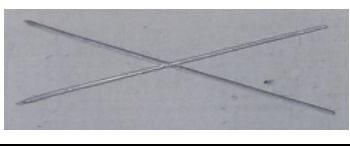
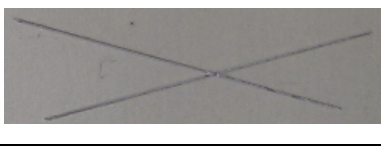
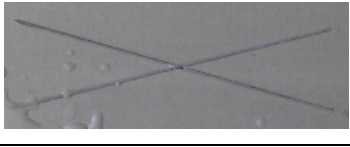


Tabulka 13 – Výsledky zkoušky přilnavosti - odmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
7. OB	0		0	
8. OB	0		0	
9. OB	0		0	

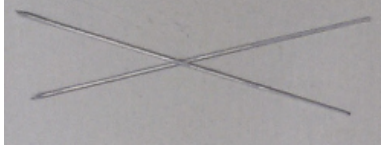
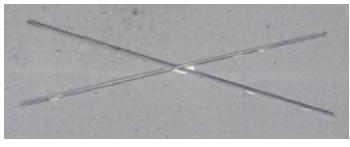
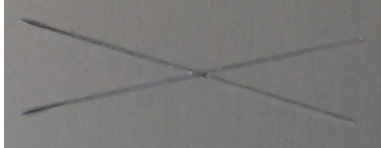

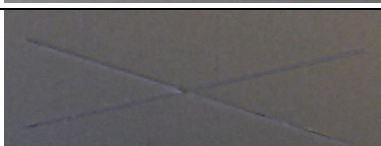

Tabulka 14 – Výsledky zkoušky přilnavosti - odmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou
křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
7. OS	0		0	
8. OS	0		1	
9. OS	0		3	

Tabulka 15 – Výsledky zkoušky přilnavosti - neodmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou
křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
7. NB	0		0	
8. NB	0		0	
9. NB	0		0	

Tabulka 16 – Výsledky zkoušky přilnavosti - neodmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý



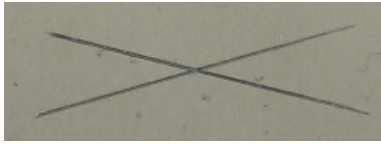



Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
7. NS	0		1	
8. NS	0		2	
9. NS	0		3	

Hydrofobní částice křídý vykazují zhoršení přilnavosti nátěru a stupeň klasifikace se pohybuje mezi 1 až 3. Hydrofobní částice odpudily tekutou vodnou část nátěru a docházelo k vytlačování oxidů. To mělo za příčinu vytváření malých puchýřků. Hydrofilní částice však měly na rozdíl od hydrofobních částic, přilnavost stejnou jako nátěr bez aplikované křídý.


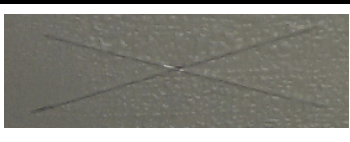
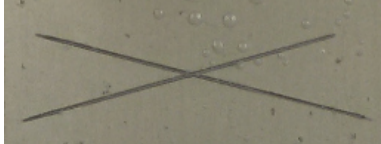

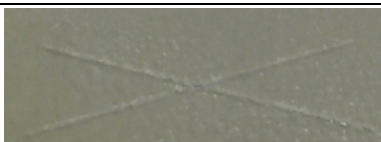

8.6.1. Zhodnocení výsledků přilnavosti po korozní zkoušce solnou mlhou

Výsledek je podobný výsledkům přilnavosti před korozní zkouškou solnou mlhou. Nátěr bez aplikované křídý je stále velmi dobře přilnavý. Taktéž i povrch, který byl pokryt hydrofilní vrstvou křídý. Na rozdíl od vzorků, kde byla použita hydrofilní křída, zde docházelo k porušení nátěrového systému. U vzorku 6. OS došlo dokonce k celému odtržení nátěru, pravděpodobně to bylo způsobeno velkým množstvím malých puchýřků, které se v tomto nátěru vyskytovaly.

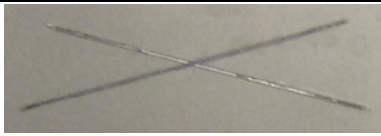

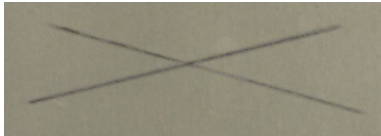

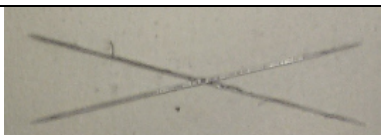

Tabulka 17 – Výsledky zkoušky přilnavosti po korozní zkoušce - odmaštěného povrchu
s hydrofilní vrstvou křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
4. OB	0		0	
5. OB	0		0	
6. OB	0		0	

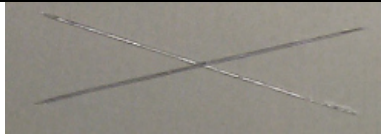

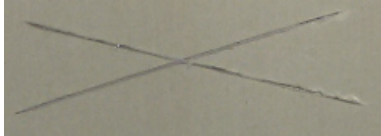


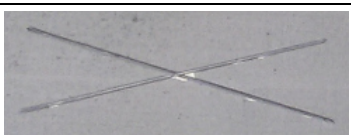
Tabulka 18 – Výsledky zkoušky přilnavosti po korozní zkoušce - odmaštěného povrchu
s hydrofobní vrstvou křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
4. OS	0		1	
5. OS	0		3	
6. OS	0		X	

Tabulka 19 – Výsledky zkoušky přilnavosti po korozní zkoušce - neodmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
4. NB	0		0	
5. NB	0		0	
6. NB	0		0	

Tabulka 20 – Výsledky zkoušky přilnavosti po korozní zkoušce - neodmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý

Vzorek číslo	Nátěr bez křídý		Nátěr s křídou	
	Klas.	Fotodokumentace	Klas.	Fotodokumentace
4. NS	0		3	
5. NS	0		0	
6. NS	0		1	

8.7. Zkouška ohybem dle ASTM D522/D522M – 13

Zkouška ohybem dle americké normy ASTM D522/D522M – 13 je rozdělena na dvě metody - metodu A a metodu B.

Pro experimentální zkoušku byla zvolena metoda B s použitím měřicího přípravku, který můžete vidět na obrázku 23. Tento přípravek musí mít tyče o přesném průměru, který je standardizován. Jejich velikosti jsou 25 mm, 19 mm, 12,7 mm, 9,5 mm, 6,4 mm a 3,2 mm. Vzorek ohneme pomocí prstů o 180° o tyč s největším průměrem a vizuálně vyhodnotíme. Pokud nedošlo k přetržení na nátěrové vrstvě, pokračujeme na menším průměru, dokud se nátěr neporuší nebo dokud nepoužijeme nejmenší průměr. [16]

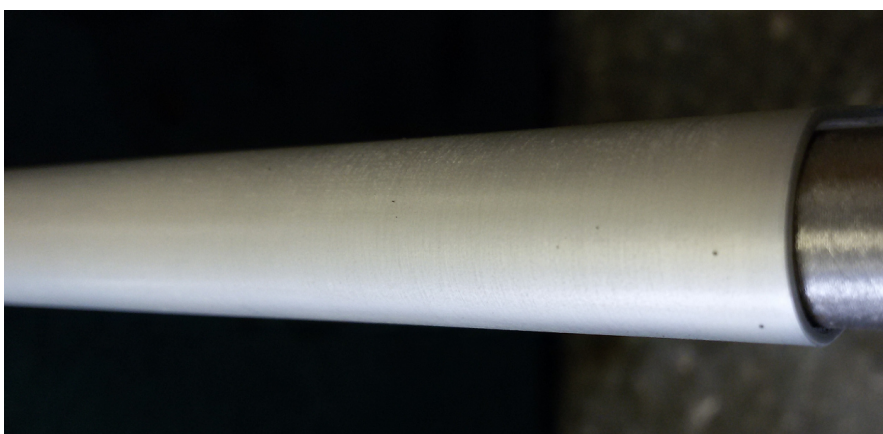


Obr. 23 – Přípravek pro zkoušku ohybem

Na obrázcích níže jsou ukázány vzorky během zkoušky ohybem. Měření probíhalo v laboratořích VŠB-TU Ostrava.



Obr. 24 – Ukázka ohybové zkoušky pro 25 mm průměr



Obr. 25 – Ukázka ohybové zkoušky pro 12,7 mm průměr



Obr. 26 – Ukázka ohybové zkoušky pro 3,2 mm průměr

8.7.1. Zhodnocení výsledků zkoušky ohybem

Jako poslední typ zkoušky přílnavosti byla zkouška ohybem. Norma, příslušenství a postup je popsán v kapitole 8.7. V tabulce 21 jsou zobrazeny výsledky této zkoušky. U žádného povlaku nedošlo během zkoušky k porušení, tím pádem je zde výsledná hodnota 0. Nátěrový systém se chová velice flexibilně, a to i v místech, kde se vyskytovaly puchýřky.

Tabulka 21 – Výsledky zkoušky ohybem

Průměr [mm]	Bez prachu	NB	NS	OB	OS
25	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0
12,7	0	0	0	0	0
9,5	0	0	0	0	0
6,4	0	0	0	0	0
3,2	0	0	0	0	0

8.8. Korozní zkouška solnou mlhou dle ČSN EN ISO 9227

Tato norma stanoví postup při zkoušce v mlze neutrálního chloridu solného, v mlze okyseleného roztoku chloridu solného a v mlze okyseleného roztoku chloridu měďnatého. Dále stanoví jaké přístroje, příslušenství a chemikálie je vhodné pro tuto zkoušku použít. [17]

Korozní zkouška probíhá v umělé atmosféře ve zkušební komoře zcela automaticky. Průběh této zkoušky probíhá dle normy ČSN EN ISO 9227.

Korozní podmínky v solné komoře LIEBISCH S400 M-TR, které jsou následující:

- Tlak destilované vody 2,50 ÷ 3,00 bar
- Tlak vzduchu 3,00 ÷ 4,00 bar
- Průtok vody 0,45 l/hod
- Teplota navlhčovače 55,00 °C
- Teplota prostředí 35,00 ± 2,00 °C
- Vlhkost 100,00 %
- Solná mlha - 5,00 % vodný roztok NaCl

8.8.1. Hodnocení defektů a intenzity změn vzhledu nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-1

Tato norma definuje systém pro klasifikaci množství a velikosti defektů a intenzity změn vzhledu nátěru a udává obecné principy systému. Použití je zejména při hodnocení defektů způsobených stárnutím a namáháním na povětrnostním prostředí a také při hodnocení jednotných změn, jako jsou změny barevného odstínu. Klasifikace množství defektů, představovaných nepravidelnostmi anebo místními defekty na nátěru, jsou ukázány v tabulce 22. [20]

Tabulka 22 – Číselné schéma pro kvalifikaci množství defektů [20]

Klasifikace	Množství defektů
0	Žádné, tj. žádné zjistitelné defekty
1	Velmi málo, tj. malý, téměř nevýznamný počet defektů
2	Málo, tj. malý, ale důležitý počet defektů
3	Mírný počet defektů
4	Značný počet defektů
5	Povrch hustě pokrytý defekty

8.8.2. Hodnocení stupně puchýřkování nátěrů dle ČSN EN ISO 4628-2

Tato část metody popisuje metodu hodnocení stupně puchýřkování porovnáváním s obrázkovými standardy. Hodnocení množství a velikost puchýřků v nátěru se hodnotí pomocí obrázků 1 až 4 uvedených v normě. [20]

8.8.3. Hodnocení stupně prorezavění nátěru dle ČSN EN ISO 4628-3

I v této části normy se hodnocení provádí porovnáváním nátěrového povrchu se standardizovanými obrázky. Jedná se o obrázky znázorňující ocelový povrch s nátěrem, který je poškozen v různém rozsahu prorezavěním. Tyto obrázkové standardy jsou určeny především k hodnocení povrchů na oceli, ovšem mohou být použity i pro klasifikaci stupně koroze na neželezných kovech. Přibližná plocha s výskytem rzi (rez pronikající na povrch a viditelné podkorodování), která je v normě znázorněna na obrázcích 1 až 5 je uvedena v tabulce 22. [20]

Tabulka 22 – Stupeň prorezavění a plocha s výskytem rzi [20]

Stupeň prorezavění	Plocha s výskytem rzi [%]
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 až 50

8.8.4. Zhodnocení korozní zkoušky

Korozní zkouška solnou mlhou probíhala dle metodiky uvedené v kapitole 8.8. Vzorky byly umístěny v komoře, kde probíhalo k rozprašování solné mlhy. Vzorky byly průběžně kontrolovány a vyjmuty v intervalu 6, 12 a 24 hodin. Po uplynutí daného intervalu se vzorky vyjmuly a opláchly. Díky tomu, že na vzorcích nebyla poznána žádná změna, provedl jsem následně zkoušku křížovým řezem.

Na vzorcích nebyly patrné žádné puchýřky dle hodnocení stupně puchýřkování nátěrů ČSN EN ISO 4628-2.

Hodnocení stupně prorezavění nátěru dle ČSN EN ISO 4628-3 odpovídalo podle tabulky 22 stupni prorezavění Ri 0, a to plocha s 0 % výskytem rzi.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo studium vlivu čistoty hliníkového povrchu na adhezi tenkého nátěru. Vzhledem k požadavkům dnešní doby a také technologickým postupům, které firmy preferují při vytváření a upravování povrchů, byl použit vodou ředitelný nátěrový systém. Tento nátěrový systém, který byl použit v experimentální části, zajišťuje vysokou protikorozní ochranu v agresivním korozním prostředí C5 až CX a to minimálně po dobu 3 - 6 měsíců.

Diplomová práce se zabývá problémem vlivu křídových částic ulpěných na povrchu na adhezi aplikovaného nátěrového systému. Pro tuto práci jsem v experimentální části využil právě vlastnosti křídý. Vytvořené prachové částice z rozdrčené křídý můžeme dělit na dvě skupiny. Částice, které byly pouze naneseny na povrch substrátu, jsou označovány jako hydrofilní. Hlavní vlastností pro naše porovnávání je, že hydrofilní částice jsou na sebe schopny vázat vodu. Na rozdíl od nich je druhá skupina částic, která byla nanesena na povrch substrátu a následně ošetřena speciálním sprejem schopna vodu odpuzovat. Tyto částice jsou označovány jako hydrofobní.

Teoretická část se zabývá povrchem substrátu, jeho fyzikálními, chemickými a geometrickými vlastnostmi. V druhé kapitole se zabýváme korozemi, její samotnou definicí, rozdělením a formou. Jako další kapitola je adheze hliníkového substrátu. Jsou popsány možné zkoušky pro měření přilnavosti povlaku. Těmito metodami jsou zkouška křížovým řezem a mřížková zkouška. V následující kapitole byly uvedeny typy úprav povrchu, jak chemické tak i mechanické. Na závěru teoretické části jsou uvedeny nanopovlaky, jejich historie, vlastnosti a samotná příprava nanočástic. Historie nanopovlaků sahá až do starého Říma a Egypta. Metody pro vytvoření nanočástic jsou buď mechanické, či chemické.

V experimentální části diplomové práce byla navržena metodika nejen pro přípravu povrchu před aplikací nátěrového systému, ale také samotná aplikace nátěru, zkouška přilnavosti a následné vyhodnocení. Vzorky byly rozděleny na poloviny, jedna polovina byla odmaštěna, druhá byla ponechána bez úprav. Na připravený povrch hliníkového substrátu byly aplikovány oba typy částic. Poté jsme nanesli transparentní nátěrový systém, který byl vytvrzen dle předpisového patentu. Obě poloviny vzorků se následně rozdělily na

tří části. Jedna část vzorků byla použita na hodnocení přilnavosti pomocí křížového řezu. Druhá část vzorků se také použila na hodnocení přilnavosti, ale tentokrát pomocí zkoušky ohybem. Poslední část byla vložena do solné komory na 6 h, 12 h a 24 h.

Cílem diplomové práce bylo prozkoumat vliv čistoty povrchu hliníkového substrátu na adhezi transparentního vodou ředitelného nátěru s obsahem nanočástic. Dle výsledků je patrné, že hydrofilní částice nijak neovlivňují adhezi tenkého nátěru. Na rozdíl od hydrofobních částic, u kterých došlo při zkoušce křížovým řezem k průměrnému hodnocení přilnavosti na stupeň 2. A to jak před korozní zkouškou solnou mlhou, tak i po její aplikaci. Nejedná se pouze o typ znečištění, který se na povrchu substrátu nachází, ale také o tloušťku naneseného systému. Pokud se jedná o tenký plech a použijeme sušení dle předpisu patentu číslo 304 190, může nastat při nerovnoměrném nanesení nátěru situace, že při vytvrzování povlaku mohou vzniknout malé puchýřky. Ty vznikají kvůli vytvrdnuté vrchní vrstvě, která nedovolí následné vypařování vody z povlaku, jenž se nachází uvnitř na povrchu substrátu.

Experiment prokázal možnost aplikace tohoto systému i na jiný podklad než ocelový, konkrétně na hliníkový. Ovšem musíme se vyvarovat toho, aby na povrchu nebyly obsaženy částice hydrofobního charakteru. Tyto částice mohou zásadně ovlivnit adhezi nátěrového systému k hliníkovému povrchu. Na rozdíl od hydrofilních částic, které tuto adhezi ovlivní minimálně.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Povrchy a jejich úpravy*. [online]. [cit. 2017-1-7]. Dostupné na WWW. <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [2] PODJUKLOVÁ, J., *Speciální technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1994. 71 s. ISBN 80–7078–235–8.
- [3] MOHYLA, M., *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2006. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [4] KREIBICH, V., HOCH, K., *Koroze a technologie povrchových úprav*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1991. 270 s.
- [5] *Korozivzdorné oceli ve styku s jinými kovovými materiály*, [online]. [cit. 2017-2-7]. Dostupné na WWW: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_CZ.pdf
- [6] NOVÁK, P., *Druhy koroze kovů* [online]. [cit. 2017-2-7]. Dostupné na WWW: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KPU/koroze%20druhy%20vsc ht.PDF
- [7] BARTONÍČEK, R. a kolektiv. *Koroze a protikorozní ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd Academia, 1966, 720 s.
- [8] SUCHÁNKOVÁ, K., *Studium vlivu předúpravy kovového substrátu na protikorozní ochranu nátěrových systémů obsahující nanoelementy* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016 [cit. 2016-3- 4]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/101239/SUC148_FS_P2301_2303V002_2013.pdf?sequence=1
- [9] DOBROVODSKÁ, L; PODJUKLOVÁ, J; HRABOVSKÁ, K; MENŠÍKOV, VIKTOROVIČ, V., *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků*. [online]. [cit. 2017-2-7]. Dostupné na WWW. http://www.nanocon.eu/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/089.pdf
- [10] *Nanočástice*. [online]. [cit. 2017-2-8]. Dostupné na WWW. <http://ksicht.natur.cuni.cz/serialy/nanocastice/1>

- [11] ŘEZANKA, P., ZÁRUBA, K., KRÁL, V., *Potenciál modifikovaných nanočástic v analytické chemii*. [online]. [cit. 2017-2-8]. Dostupné na WWW. http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2007_11_881-885.pdf
- [12] NYKL, A., *Studium transparentních nanopovlaků pro aplikaci na ocelový substrát*. Ostrava 2011, 81 s. Diplomová práce na VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, katedra mechanické technologie, vedoucí diplomové práce Podjuklová J.
- [13] *Koroze kovů* [online]. [cit. 2017-3-8]. Dostupné na WWW. <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2286>
- [14] ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 12 s.
- [15] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty - Stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [16] ASTM 522/522M – 13. *Standard Test Methods for Mandrel Bend Test of Attached Organic Coatings*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013.
- [17] ČSN EN ISO 9227. *Korozní zkouška v umělé atmosféře - zkouška solnou mlhou*, Praha: Český normalizační institut, 1990.
- [18] ČSN EN ISO 16276-2 *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy – Hodnocení a kritéria přijetí, adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku – Část 2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, Leden 2008. 16 s.
- [19] ČSN EN ISO 9223. *Koroze kovů a slitin. Korozivní agresivita atmosfér. Klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
- [20] ČSN EN ISO 4628-1. *Nátěrové hmoty – Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotných změn vzhledu*. Praha: Český normalizační institut, 2004.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma nerovností povrchu [2]	13
Obr. 2 – Schéma elektrochemické koroze [13]	15
Obr. 3 – Rozdělení korozního prostředí dle ČSN EN ISO 9223 [19]	16
Obr. 4 – Rovnoměrné napadení (1 – původní povrch, 2 – povrch po korozi) [4]	17
Obr. 5 – Nerovnoměrné napadení [4]	17
Obr. 6 – Důlkové napadení (A) a bodové napadení (B) [4]	18
Obr. 7 – Mezikrystalové napadení [4]	18
Obr. 8 – Transkrystalové napadení [4]	18
Obr. 9 – Extrakční napadení [4]	19
Obr. 10 – Korozní trhliny [4]	19
Obr. 11 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky [18]	20
Obr. 12 – Klasifikace výsledků zkoušky křížovým řezem [18]	21
Obr. 13 – Schéma rozvrstvení materiálu v bubnu při omílání [1]	24
Obr. 14 – Lykurgovy poháry při různém dopadu světla [10]	31
Obr. 15 – drsnoměr Mitutoyo Surfptest 301	39
Obr. 16 – drsnoměru Mitutoyo Surfptest 301 – měřící hlava	40
Obr. 17 – Vzorek s vytvořenou hydrofilní vrstvou	41
Obr. 18 – Obrazová stupnice odpovídajícího množství prachu [14]	42
Obr. 19 – Měření mokré vrstvy	44
Obr. 20 – Měření mokré vrstvy [15]	44
Obr. 21 – Elcometr 456	45
Obr. 22 – Šablona pro zkoušku přilnavosti	49
Obr. 23 – Přípravek pro zkoušku ohybem	54
Obr. 24 – Ukázka ohybové zkoušky pro 25 mm průměr	55
Obr. 25 – Ukázka ohybové zkoušky pro 12,7 mm průměr	55
Obr. 26 – Ukázka ohybové zkoušky pro 3,2 mm průměr	55

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Označení vzorků	37
Tabulka 2 – Drsnost hliníkového povrchu před odmaštěním - příčný směr	37
Tabulka 3 – Drsnost hliníkového povrchu před odmaštěním - podélný směr.....	38
Tabulka 4 – Drsnost hliníkového povrchu po odmaštění - příčný směr	38
Tabulka 5 – Drsnost hliníkového povrchu po odmaštění - podélný směr.....	39
Tabulka 6 – Průměrné naměřené hodnoty drsnosti vzorků [20]	40
Tabulka 7 – Třídy velikosti prachových částic [14].....	42
Tabulka 8 – Tloušťka suchého nátěru neodmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý	46
Tabulka 9 – Tloušťka suchého nátěru neodmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý.....	46
Tabulka 10 – Tloušťka suchého nátěru odmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý	47
Tabulka 11 – Tloušťka suchého nátěru odmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý	47
Tabulka 12 – Srovnání tlouštěk suchého nátěrového filmu	48
Tabulka 13 – Výsledky - odmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý	49
Tabulka 14 – Výsledky - odmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý	50
Tabulka 15 – Výsledky - neodmaštěného povrchu s hydrofilní vrstvou křídý	50
Tabulka 16 – Výsledky - neodmaštěného povrchu s hydrofobní vrstvou křídý	51
Tabulka 17 – Výsledky po korozní zkoušce – odma. povrchu s hydrofilní vrstvou křídý.....	52
Tabulka 18 – Výsledky po korozní zkoušce – odma. povrchu s hydrofobní vrstvou křídý.....	52
Tabulka 19 – Výsledky po korozní zkoušce – neodma. povrchu s hydrofilní vrstvou křídý.....	53
Tabulka 20 – Výsledky po korozní zkoušce – neodma. povrchu s hydrofobní vrstvou křídý	53
Tabulka 21 – Výsledky zkoušky ohybem	56
Tabulka 22 – Stupeň prorezavění a plocha s výskytem rzi [20]	58