ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Galvanické kompozitní povlaky na bázi zinku

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AUTOR: Bc. Lucie Konopíková
VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jiří Kuchař Ph.D., IWE
STUDIJNÍ PROGRAM: N0715A270001 – Výrobní inženýrství
STUDIJNÍ OBOR: N071TVIN – Bez specializace
ROK: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Konopíková** Jméno: **Lucie** Osobní číslo: **492678**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**

Studijní program: **Výrobní inženýrství**

Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Galvanické kompozitní povlaky na bázi zinku

Název diplomové práce anglicky:

Galvanic composite coatings based on zinc

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor problematiky galvanického zinkování
2. Slitinové a kompozitní povlaky na bázi zinku
3. Disperzní částice používané v galvanickém pokovení a jejich vlastnosti
4. Zhotovení vzorků
5. Závislost vylučovací rychlosti na čase pro použitou lázeň/lázně
6. Diskuze získaných výsledků

Seznam doporučené literatury:

Odborné časopisy a databáze - Web of Science, Scopus, MM Spectrum, Povrchář, Technický týdeník, Strojárstvo

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. ústav strojírenské technologie FS

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

Datum zadání diplomové práce: **05.04.2024** Termín odevzdání diplomové práce: **05.08.2024**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2024**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc. podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání	Podpis studentky

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1.7.2009.

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

V Praze dne: …… ……

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE za odborné vedení, cenné připomínky, ochotnou spolupráci, věnovaný čas a trpělivost.

Anotace

Název diplomové práce: Galvanické kompozitní povlaky na bázi zinku

Autor práce: Bc. Lucie Konopíková

Vedoucí práce: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

Akademický rok: 2023/2024

Vysoká škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav: 12133 – Ústav strojírenské technologie

Vedoucí ústavu: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Rozsah práce: 103 stránek a 40 stran příloh, 119 tabulek, 151 obrázků

Klíčová slova: galvanické zinkování, kompozitní povlaky, slitinové povlaky, disperzní částice, tloušťka povlaku, drsnost, přilnavost, tribologie, koroze

Annotation

Title of the final thesis: Galvanic composite coatings based on zinc
Author: Bc. Lucie Konopíková
Supervisor: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
Academic year: 2023/2024
University: CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department: 12133 – Department of Manufacturing Technology
Head of department: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent: 103 pages and 40 pages of attachments, 119 tables, 151 pictures
Key words: zinc electroplating, composite coatings, alloy coatings, dispersion particles, coating thickness, roughness, adhesion, tribology, corrosion

Seznam symbolů

Označení	Význam
V	volt
g	gram
mol	látkové množství
A	ampér
s	sekunda
C	coulomb
l	litr
°C	stupeň celsia
dm	decimetr
µm	mikrometr
cm	centimetr
mm	milimetr
nm	nanometr
%	procento
hm. %	hmotnostní procento
Pa	pascal
kg	kilogram
m	metr

Seznam zkratek

Označení	Název
$Zn(CN)_2$	kyanid zinečnatý
NaCn	kyanid sodný
NaOH	hydroxid sodný
Na_2CO_3	uhličitan sodný
Zn	zinek
Fe	železo
Ni	nikl
Co	kobalt
Sn	cín
Mn	mangan
NH_4Cl	chlorid amonný
KCl	chlorid draselný
NaCl	chlorid sodný
H_3BO_3	kyselina boritá
$ZnCl_2$	chlorid zinečnatý
$NiCl_2$	chlorid nikelnatý
$Fe_2(SO_4)_3$	síran železitý
$ZnSO_4$	síran zinečnatý
Na_2SO_4	síran sodný
$C_2H_3NaO_2$	octan sodný
H_2SO_4	kyselina sírová
H_3PO_4	kyselina fosforečná
PTFE	polytetrafluoretylen
MoS_2	disulfid molybdenu
SiC	karbid křemíku
Al_2O_3	oxid hlinitý
SiO_2	oxid křemičitý
TiO_2	oxid titaničitý
Fe_2O_3	oxid železitý
ZrO_2	oxid zirkoničitý

CNT	uhlíková nanotrubice
TiC	karbid titanu
TaC	karbid tantalu
WC	karbid wolframu
TiB_2	diborid titanu
ZrC	karbid zirkonia
HCl	kyselina chlorovodíková

Obsah

ÚVOD **13**

1 GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ **14**

1.1 PROCES GALVANICKÉHO ZINKOVÁNÍ 15

1.2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP 17

1.3 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHU 18

1.3.1 Mechanické úpravy povrchu *19*

1.3.1.1 Broušení 19

1.3.1.2 Leštění 20

1.3.1.3 Kartáčování 20

1.3.1.4 Omílání 20

1.3.2 Chemické úpravy povrchu *21*

1.3.2.1 Odmašťování 21

1.3.2.2 Moření 22

1.3.2.3 Odrezování 23

1.3.2.4 Elektrolytické leštění 23

1.4 LÁZNĚ 23

1.4.1 Kyanidové lázně *23*

1.4.2 Alkalické lázně *24*

1.4.3 Kyselé lázně *25*

2 SLITINOVÉ A KOMPOZITNÍ POVLAKY **27**

2.1 SLITINOVÉ POVLAKY 27

2.1.1 Zn-Ni *28*

2.1.2 Zn-Fe *29*

2.1.3 Zn-Co *30*

2.1.4 Sn-Zn *31*

2.2 KOMPOZITNÍ POVLAKY 33

2.2.1 Principy vylučování galvanických kompozitních povlaků *34*

2.2.2 Matrice kompozitních povlaků *37*

2.2.2.1 Matrice z čistých kovů 37

2.2.2.2 Matrice ze slitin kovů 38

3 DISPERGOVANÉ ČÁSTICE 39

3.1 DISPERZNÍ ČÁSTICE TVOŘENÉ PRVKY 40

3.2 DISPERZNÍ ČÁSTICE TVOŘENÉ SLOUČENINAMI A NEKOVY 40

3.3 OTĚRUVZDORNÉ ČÁSTICE 40

3.4 KLUZNÉ ČÁSTICE 41

3.4.1 Grafitové částice 41

3.4.2 Měděné částice 42

4 TRIBOLOGIE 43

4.1 TŘENÍ 43

4.2 OPOTŘEBENÍ 44

4.2.1 Adhezivní opotřebení 44

4.2.2 Abrazivní opotřebení 45

4.2.3 Erozivní opotřebení 45

4.2.4 Korozivní opotřebení 45

4.2.5 Únavové opotřebení 46

4.2.6 Vibrační opotřebení 46

4.2.7 Kavitační opotřebení 46

4.3 MAZÁNÍ 46

4.4 ADHEZE 47

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 48

5.1 VÝBĚR VZORKŮ 48

5.2 GALVANICKÉ POKOVENÍ 49

5.2.1 Založení lázně pro galvanické pokovení 50

5.2.2 Použitá zařízení 51

5.2.3 Stanovení proudové hustoty 52

5.3 VYLUČOVACÍ RYCHLOSTI 53

5.4 METODIKA TESTOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ 54

5.4.1 Měření tloušťky 55

5.4.2 Měření drsnosti 56

5.4.3 Ohybová zkouška 63

5.4.4 Tribologické testování 65

5.4.5 Zkouška teplotním šokem 70

5.4.6 Zkouška v solné mlze 73

6 DISKUSE VÝSLEDKŮ 84

6.1 MĚŘENÍ TLOUŠŤKY 84

6.2 MĚŘENÍ DRSNOSTI 84

6.3 ZKOUŠKA OHYBEM 85

6.4 TRIBOLOGICKÉ TESTOVÁNÍ 85

6.5 ZKOUŠKA TEPLOTNÍM ŠOKEM 85

6.6 ZKOUŠKA V SOLNÉ MLZE 86

ZÁVĚR 87

ZDROJE 88

SEZNAM OBRÁZKŮ 93

SEZNAM TABULEK 98

SEZNAM ROVNIC 103

PŘÍLOHY 104

PŘÍLOHA Č.1 104

PŘÍLOHA Č. 2 106

PŘÍLOHA Č. 3 130

PŘÍLOHA Č.4 134

PŘÍLOHA Č. 5 136

Úvod

V dnešní době jsou požadavky na další vhodné vlastnosti povlaků velmi žádané. Jedním z řešení je snaha o vytvoření funkčních povlaků, a to buď slitinových povlaků nebo povlaků s disperzními částicemi. Důvodem je zlepšení vlastností daných povlaků, ale také možnost nahradit povlaky na bázi kadmia či tvrdého chromu.

Cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv mají vybrané disperzní částice obsažené v zinkovém povlaku v porovnání se zinkovým povlakem bez disperzních částic. Výsledný povlak se hodnotil z hlediska tloušťky pomocí tloušťkoměru, drsnosti s použitím drsnoměru, přilnavosti prostřednictvím zkoušek ohybem a teplotním šokem, koroze pomocí zkoušky v solné mlze a vyhodnocoval se činitel tření zjištěný pomocí tribologického měření.

1 Galvanické zinkování

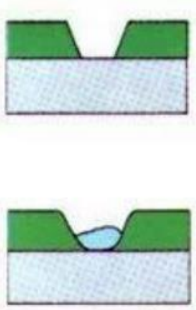
Principem galvanického (elektrolytického) pokovování je nanášení kovových povlaků převážně na kovový základní materiál. Vytváří se tenké povlaky za účelem ochrany a zvýšení životnosti základního materiálu (např. ochrana proti atmosférické korozi nebo zvýšení otěruvzdornosti), ale také za účelem zlepšení pohledových vlastností. Zinkové galvanické povlaky zajišťují dobré mechanické vlastnosti, svařitelnost, lakovatelnost a protikorozní ochranu na ocelovém podkladu. Můžou se vytvářet silnější povlaky na modelech složitějších tvarů, převážně za účelem renovace opotřebených součástí, tato metoda se nazývá galvanoplastika. [1, 2, 4]

Pro galvanicky pokovený zinek se používá několik základních typů elektrolytů, ze kterých lze vyloučit matné i lesklé zinkové povlaky. Matné povlaky vznikají po vystavení působení vzduchu, kdy nedochází k další úpravě pokovené součásti. Lesklé povlaky jsou opatřeny následnou úpravou jako je například konverzní chromátový povlak nebo bezbarvý povlak. [3, 7]

S rozvojem bezkyanidového systému a obzvlášť s vývojem kyselého systému, se galvanicky pokovený zinek využívá i jako dekorativní povrchová úprava. Zinkové povlaky mohou nahradit tradiční niklování, případně i chromování ve spotřebním průmyslu, v automobilovém průmyslu apod. [2, 3, 4]

Elektrolytickým vylučováním zinkového povlaku, zejména na ocelových součástkách, se využívá anodického ochranného účinku zinku, zvláště tam, kde jsou tyto součástky vystaveny vlivům atmosféry nebo vody. Zinek se pokrývá povlakem oxidu zinečnatého a uhličitanu zinečnatého, který zpomaluje další korozi nebo ji zabraňuje (viz. obr. 1). Pokud se aplikuje povlak v tenkých vrstvách, poskytuje lepší ochranu než podobné vrstvy povlaku niklu a jiné katodicky vyloučené povlaky, s výjimkou mořského prostředí, kde je překonán kadmiem (který je o něco méně anodický než zinek vůči železu). Při srovnání s jinými kovy je relativně levný a snadno se aplikuje v bubnech, nádržích nebo při kontinuálním pokovování. [2, 3]

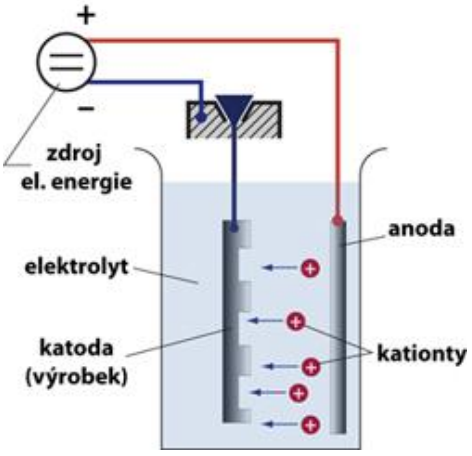
Životnost povlaků se dá zvýšit více způsoby, a to dodatečnými úpravami jako je chromátování, ale také legováním jinými prvky, a tím vytvoření slitinového povlaku na bázi zinku. [2, 3, 4]



Obr. 1: Zinkový povlak (anodická povlak) [11]

1.1 Proces galvanického zinkování

Proces galvanického zinkování je založen na elektrolýze a pochodech probíhajících na elektrodách (viz. obr. 2). Elektrolýza vodných roztoků kovových solí probíhá při stejnosměrném elektrickém napětí působící na roztoky pomocí dvou elektrod (katoda a anoda). Při rozpouštění kovových solí ve vodě dochází k elektrolytické disociaci soli. Při přivedení stejnosměrného proudu z vnějšího zdroje dochází na katodě (záporná elektroda) k vyloučení kationtů a k redukci (přejímání elektronů). V praxi je katodou pokovovaná součást. Na anodě (kladná elektroda) dochází k vyloučení aniontů a dochází k odevzdávání elektronů a doplňování úbytku kovu z roztoku. [1, 2]



Obr. 2: Schéma zapojení pro galvanické (elektrolytické) pokovování [22]

Při trvalé elektrolýze vodných roztoků kovových solí se budou vylučovat jednotlivé složky soli až do jejich vyčerpání, pokud by se použily dvě nerozpustné elektrody. Proto, aby elektrolýza mohla dále probíhat, je důležité doplnit do roztoku vhodné množství soli. Z tohoto důvodu se nerozpustné elektrody používají ve výjimečných případech, jinak se využívají rozpustné elektrody.

Ve skutečnosti se při elektrolýze vodných roztoků kovových solí vylučují i jiné kovy (i jako kovové nečistoty), ale hlavně vodík. Každý kov nabývá určitého potenciálu dle dané koncentrace své soli v roztoku. Kovy lze tak sestavit do řady dle rozdílných potenciálu vůči jinému kovu (viz. tab. 1). V řadě je dán vodík s nulovým potenciálem, který je dle elektrochemické hlediska kovem. [1, 2]

Tab. 1: Standartní elektrodové potenciály některých kovů [2]

kov	**potenciál / V /**	**kov**	**potenciál /V/**
Sodík	- 2,71	Cín	- 0,14
Hořčík	- 1,55	Olovo	- 0,12
Hliník	- 1,33	Vodík	0,00
Zinek	- 0,76	Antimon	+ 0,20
Chrom	- 0,56	Měď	+ 0,34
Železo	- 0,44	Stříbro	+ 0,80
Kadmium	- 0,40	Rtuť	+ 0,86
Kobalt	- 0,29	Zlato	+ 1,36
Nikl	- 0,23		

Při průchodu elektrického proudu je vyloučen a rozpuštěn určitý poměr množství kovu. Toto množství je popsáno vztahy vycházející ze dvou Faradayových zákonů. [1, 2]

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} \tag{1}$$

m = hmotnost vyloučeného kovu [g]

M = molární hmotnost kovu [g·mol^{-1}]

I = proud [A]

t = čas [s]

n = mocenství kovového kationtu v lázni

F = Faradayova konstanta [C·mol^{-1}]

Při galvanickém pokovování probíhají další vedlejší reakce. Dochází k tomu při vedlejších reakcích, které probíhají na obou elektrodách. Není plně spotřebováno na vyloučení a rozpuštění kovu přivedené množství elektrického

proudu. Zavádí se tzv. proudový výtěžek, který udává skutečné množství elektrického proudu. [1, 2]

$$r_{kat.(anod.)} = \frac{m_{skut.}}{m_{teor.}} \cdot 100\ [\%] \qquad (2)$$

r – proudový výtěžek (katodický nebo anodický)

$m_{skut.}$ - množství skutečně vyloučeného, popř. rozpuštěného kovu

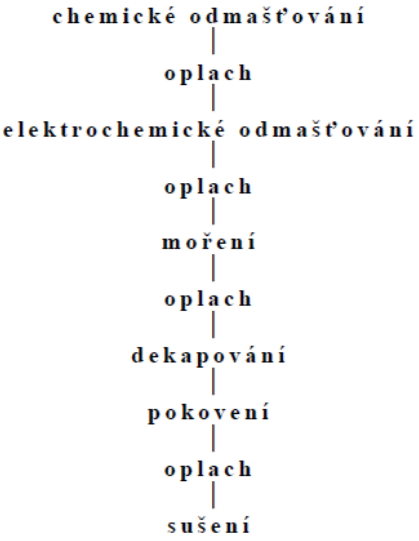
$m_{teor.}$ - množství kovu vypočteného z Faradayova zákona

Proudová hustota má významný vliv na pokovování, jelikož je snaha dosáhnout co nejvyšší možné proudové hustoty, a tím dosáhnout kratších časů. Proudová hustota má vliv na další parametry, jako je hloubková účinnost a krycí schopnost lázně. [1, 2]

1.2 Technologický postup

Postup galvanického pokovování se skládá z předběžných operací, vlastního pokovení a následných operací. Na obr. 3 je zobrazeno základní schéma technologického postupu pro galvanické pokovení. Volba operací záleží na technologickém postupu. Technologický postup je ovlivněn tím, o jakou součást se jedná, jaký je stav povrchu součásti a z jakého materiálu je součást vyrobena. Dále záleží na druhu lázně a na technologickém vybavení samotné galvanovny. Při galvanickém pokovování je nejnáročnější předúprava povrchu, jelikož se od toho odvíjí kvalita konečného povlaku. Vlastnosti a kvalita povlaku dále záleží na sledování, kontrole a korekci daných technologických podmínek. Především se to týká kvality provozování lázní, kde záleží na dodržování technologických a pracovních podmínek. [1, 2]

Mezi předběžné operace patří odmaštění, dále moření nebo například dekapování. Mezi operace týkající se vlastního pokovení patří operace pokovení a pasivace. Po pokovení následují další operace jako redukční oplach a sušení. Zařazují se oplachy většinou demineralizovanou vodou mezi jednotlivé operace, a to ponorem, nebo postřikem, nebo ponor s postřikem společně. Oplachy mohou být jednostupňové nebo vícestupňové. [2]



Obr. 3: Základní schéma technologického postupu galvanického pokovení [2]

1.3 Předběžné úpravy povrchu

Předběžná úprava povrchu se snaží docílit nejlepší přilnavosti povlaků, nejlepších vlastností, mezi které patří korozivzdornost, odolnosti proti opotřebení, ale i konečný vzhled povlaku. Na kvalitě předúpravy povrchu velmi záleží, jelikož rozhoduje o úspěšnosti následujících operací. [19]

Několik faktorů ovlivňuje výběr předběžných úprav. Mezi takové faktory patří:

- povaha odstraňované nečistoty
- jaký druh substrátu má být očistěný (např. železné kovy, neželezné kovy atd.)
- požadavek konečného stavu povrchu součásti
- stupeň čistoty
- dostupná zařízení
- ekologické a ekonomické hledisko
- celková plocha čištěného povrchu
- vliv předchozích procesů
- požadavky na povrch pro následné operací [3]

Předběžná povrchová úprava se volí z několika sledů operací, které společně vedou k požadovanému konečnému výsledku. Volba operací závisí

na požadovaném stupni čistoty a následných operací, které se mají provádět. Předběžná úprava povrchu může být i konečnou úpravou materiálu. [19]

Předběžná povrchová úprava je založena na dvou přístupech čištění, a to buď fyzikální čistění, které využívá kinetické energie, nebo chemické čištění, kde se využívá rozpuštěných nebo emulgovaných aktivních materiálů v čistícím roztoku. [7]

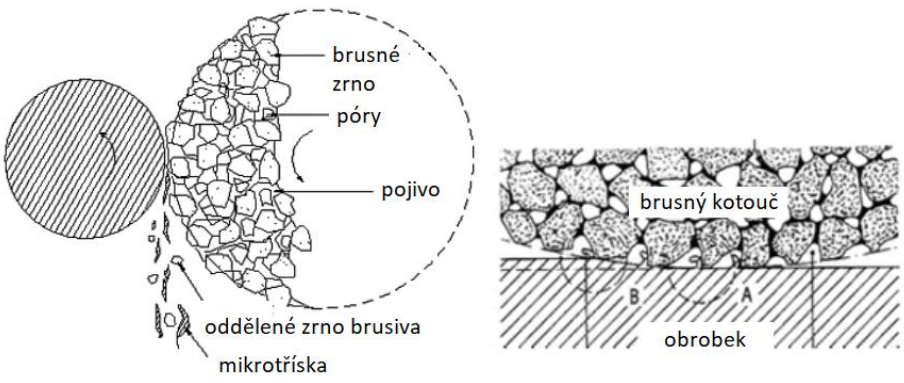
1.3.1 Mechanické úpravy povrchu

Mechanické úpravy povrchu se používají za účelem vytvoření požadované jakosti a kvality povrchu. Snahou je očištění od nečistot, zvýšit korozní odolnost a odolnost proti opotřebení, zlepšit mechanické vlastnosti povrchu a zajistit vhodnou přilnavost dalších vrstev. Mechanické úpravy povrchu jsou vhodné pro součásti, které jsou schopny odolat tření a síle působící na součást. [7, 19]

Nejpoužívanějšími mechanickými předúpravami jsou broušení, leštění a kartáčování. Používají se především před vytvořením povlaku, zejména před galvanickým pokovováním. Tyto úpravy mohou být ovšem i konečné. Dalšími mechanickými úpravami mohou být omílání, tryskání nebo opalování plamenem. [19]

1.3.1.1 Broušení

Broušením se postupně ubírá materiál a odstraňují se hrubé nerovnosti (viz. obr. 4). Dle stupně nerovností se broušení dělí na hrubé a jemné. Při hrubém broušení se brousí brusivem za sucha. Při jemném broušení se kotouče přimazávají z důvodů snížení tření a zahřívání broušených předmětů, a tím i dosažení jemnějšího povrchu. [19]



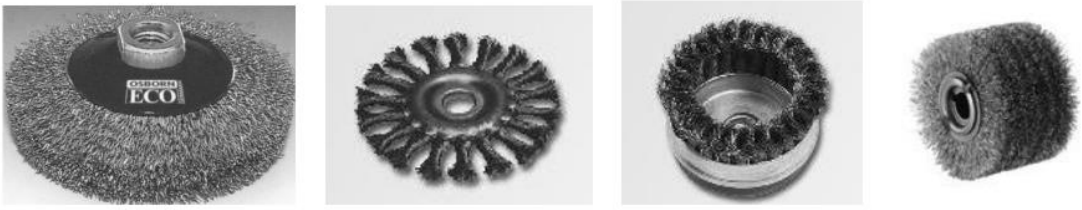
Obr. 4: Schéma broušení (přeloženo pro účely diplomové práce) [24]

1.3.1.2 Leštění

Leštěním se ubírá menší množství materiálu než při broušení. Při leštění dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Odstraňují se nejmenší stopy po předchozích operacích, dosahuje se velmi malé drsnosti a velkého lesku povrchu součásti. Leští se jak základní materiál, tak i materiál po povrchových úpravách. [19]

1.3.1.3 Kartáčování

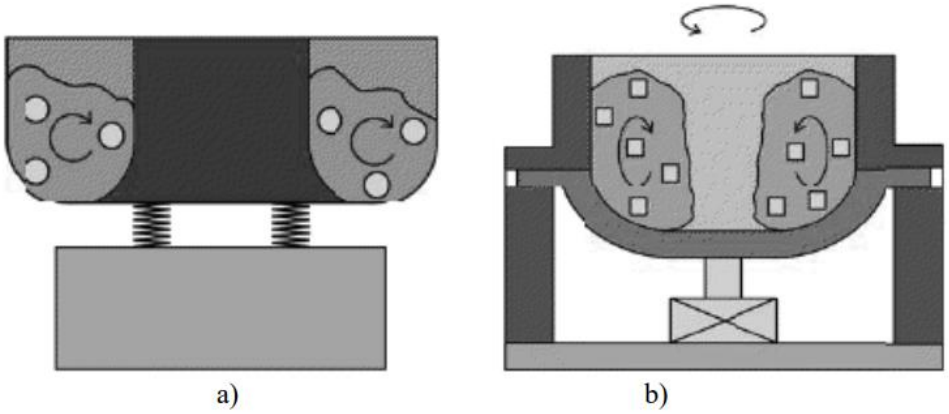
Kartáčování se využívá pro odstranění hrubých nečistot po broušení, nebo před leštěním. Pro odstranění hrubých nečistot se využívají kartáče z ocelových rovných, nebo vlnitých drátů, pro neželezné kovy se používají například mosazné dráty (viz. obr. 5). Po broušení a před leštěním se využívají kartáče měkkého a pružného charakteru s umělými vlákny, na které se dobře uchytí brusné pasty. [19]



Obr. 5: Kotouče pro kartáčování [24]

1.3.1.4 Omílání

Omíláním (viz. obr. 6) se ubírá materiál a zároveň dochází k vyhlazování povrchu součásti. Využívá se omílacích prostředků (kapaliny s chemickými prostředky), které vzájemně působí společně s omílacími výrobky. Omílání má své výhody i nevýhody. Mezi výhody patří například zpevnění povrchu a zvýšení korozivzdornosti, nahrazení broušení a leštění, snížení nákladů na výrobu a snížení zmetkovitosti. Nevýhodou je nerovnoměrný úběr materiálu z povrchu součásti a možnost poškození členitých výrobků při použití nevhodných omílacích prostředků. [19]



Obr. 6: Omílání a) vibrační, b) odstředivé [24]

1.3.2 Chemické úpravy povrchu

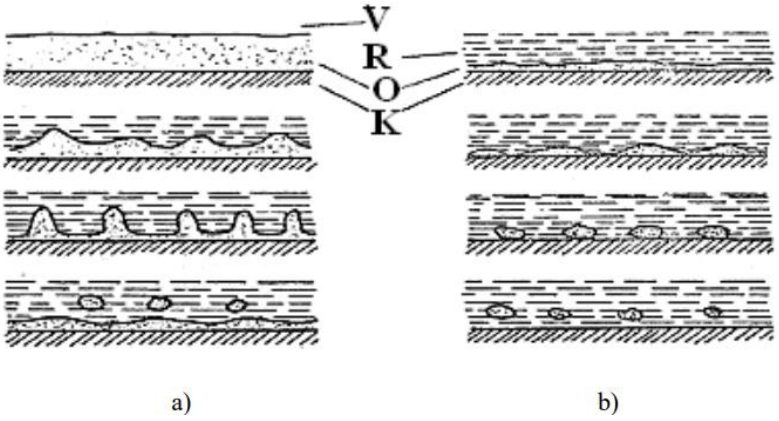
Chemické úpravy povrchu slouží především k odstranění nečistot z povrchu materiálu před dalšími úpravami. Za chemické úpravy se považuje odmašťování, moření, odrezování a leštění. [19]

Nečistoty na povrchu lze rozdělit do dvou skupin, a to dle výrobních procesů. První skupinou jsou ulpělé nečistoty vázané k povrchu pouze adhezními silami, druhou skupinou jsou vlastní nečistoty, které jsou spojeny chemickou vazbou (vázány ke kovu chemisorpcí). [19]

1.3.2.1 Odmašťování

Odmašťováním se odstraňují z povrchu materiálu ulpělé nečistoty (viz. obr. 7). Ulpělé nečistoty mohou být k povrchu vázané fyzikální absorpcí, nebo adhezními silami. Odmaštění, za pomocí odmašťovacích prostředků, uvolňuje nečistoty a převádí je do roztoku nebo emulze, a tím dojde k zabránění jejich zpětnému přilnutí k povrchu. [20, 24]

Odmaštění dle použitých prostředků lze rozdělit na tři skupiny, a to na odmašťování v organických rozpouštědlech, ve vodných alkalických roztocích a emulzní. Odmašťování lze taky rozdělit podle aplikace, a to na odmašťování ponorem, postřikem, v parách, elektrolytické, ultrazvukem, mechanické a tepelné. [20, 24]



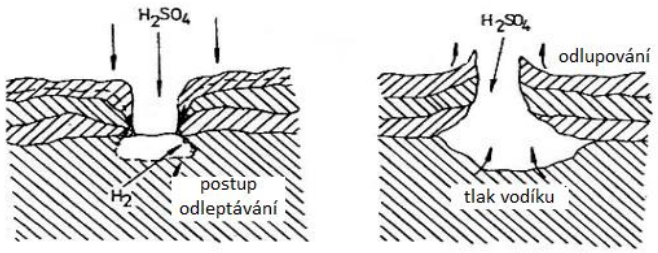
Obr. 7: Mechanismus odmašťování (V – vzduch, R – odmašťovací roztok, O – vrstva oleje, K – kov) [24]

1.3.2.2 Moření

Při moření dochází k odstraňování korozních produktů z povrchu součásti (viz. obr. 8). Moření může být chemické nebo elektrochemické. K moření se používají kyseliny a kyselé soli, méně často využívané jsou alkalická činidla. [21, 24]

Nejčastěji se moření používá u ocelí a litiny, kde se spíše odstraňují okuje vzniklé při tepelném zpracování nebo při tváření za tepla. Moření se používá i k odstranění samotné rzi. Pro odstranění okují u součástek po žíhání nebo válcování se používá moření v kyselině sírové H_2SO_4. U moření v H_2SO_4 je výhodou její nízká cena, malá spotřeba, vhodnost dostupnosti a málo zplodin do ovzduší. [21, 24]

Při galvanickém pokovování se používá dekapování, který je zvláštním druhem moření. Dekapování spočívá v odstranění tenkých oxidických vrstev, které mohou vzniknout například při anodickém odmašťování. [21, 24]



Obr. 8: Proces moření (přeloženo pro účely diplomové práce) [24]

1.3.2.3 Odrezování

Odrezování spočívá v odstranění korozních produktů (rzi), když vznikají hydratované oxidy na povrchu součásti. Při odrezování se používají převážně kyseliny, hlavně roztoky kyseliny fosforečné H_3PO_4. Dále se většinou používají H_3PO_4 s inhibitory koroze, smáčedly a odmašťovadly. Dle způsobu odrezování se používají oplachové odrezovače nebo bezoplachové odrezovače. [23]

Odrezování se provádí ponořením do lázně, postřikem nebo natíráním. Volba způsobu odrezování závisí na materiálu součásti. [23]

1.3.2.4 Elektrolytické leštění

Elektrolytické leštění se provádí ve speciálních leštících lázních za specifických podmínek a spočívá na principu moření. Tento typ leštění je čistější, rychlejší a kvalitnější než mechanické. Elektrolytické leštění se používá tam, kde není možné provést mechanické leštění, anebo je vysoký požadavek na hladkost povrchu, odrazivost povrchu nebo aby nevznikla B-vrstva (tzv. Beilbyho vrstva). Využívá se především u drobných a tvarově složitých součástí, jako jsou například chirurgické nástroje. [23]

1.4 Lázně

Zinkování se provádí v různých lázních. Lázně se používají alkalické nekyanidové, kyselé chloridové a kyanidové. Kyanidové lázně se převážně používaly do 70. let 20. století, ale vzhledem k rozvoji zájmu o životní prostředí se začalo opouštět od kyanidových lázní a byla snaha zavést druh lázní, které neobsahují kyanid. V současné době se nejvíce využívají kyselé chloridové lázně. Čištění před použitím a po použití jsou u všech zinkových procesů podobné, ale samotné lázně se však zásadně liší. [3, 7]

1.4.1 Kyanidové lázně

Kyanidové lázně lze rozdělit do čtyř základních skupin na základě jejich obsahu kyanidu (viz. tab. 2) a to na:

- běžné kyanidové lázně
- středně silné kyanidové lázně

- nízkokyanidové lázně
- mikrokyanidové lázně [3, 7]

Tab. 2: Různá složení kyanidových zinkových lázní [g.l^{-1}][7]

Složky	Běžné	Střední	Nízko	Mikro
Zn $(CN)_2$	60	30	10	-
NaCN	40	20	8	1
NaOH	80	75	65	75
Na_2CO_3	15	15	15	-
Sulfid	2	2	-	-
Rozjasňovač	1-4	1-4	1-4	1-5

Kyanidové lázně se připravují z kyanidu zinečnatého, kyanidu sodného, hydroxidu sodného a rozjasňovače, nebo se dají koupit patentované koncentráty. [3, 7]

Polysulfid sodný nebo tetrasulfid se používá obvykle ve standardních a středně kyanidových lázních a příležitostně v nízkokyanidových lázních pro vysrážení těžkých kovů. Těžkými kovy jsou například olovo nebo kadmium, které se mohou do lázní dostat jako anodová nečistota nebo v důsledku vtažení. [3, 7]

1.4.2 Alkalické lázně

Alkalické nekyanidové lázně nahrazují vývojově kyanidové lázně ve snaze vyrobit relativně netoxický zinkový elektrolyt. V dnešní době představují přibližně 15 až 20 % zinkových lázní. Provozní charakteristiky lázní (viz. tab. 3) závisí především na patentovaných přísadách z důvodu obsahu uhlíku, který se uvolňuje z přísad, a který se má pohybovat v rozmezí 0,3 až 0,5 % v zinkových povlacích. [3, 7]

Tab. 3: Složení alkalické nekyanidové zinkové lázně [g.l^{-1}][7]

Složky	a) LC	b) HC
Zn	6–9	13,5 – 22,5
NaOH	75–105	120–120
Patentované přísady	dle specifikací výrobce, 1–3 %	

Týkají se dvou různých rozsahů koncentrací: a) "low chemistry" – LC, b)"high chemistry" - HC

1.4.3 Kyselé lázně

Kyselé zinkovací lázně, na bázi chloridu zinečnatého, se začaly vyvíjet na počátku 70. let 20. století. Vývoj těchto lázní radikálně změnil technologii zinkování. V dnešní době kyselé zinkovací lázně tvoří 40 až 50 % zinkovacích lázní ve většině vyspělých zemích a jsou nejrychleji rozšiřujícími se lázněmi po světě. [3, 7]

Kyselé zinkové lázně mají řadu výhod i nevýhod:

- Výhody
  - vynikající jas zinkových povlaků mimo lázeň
  - dají se bez problémů pokovit litiny a karbonitridované díly
  - vyšší vodivost lázní, to vede k úsporu energie
  - vyšší proudová účinnost při vyšších proudových hustotách
  - minimální vodíková křehkost
  - likvidace odpadu jsou minimální (neutralizace na pH 8,5 až 9)
- Nevýhody
  - kyselý chloridový elektrolyt je velmi korozivní
  - případné vytékání elektrolytu zachyceného v součásti, může součást poškodit [7]

V současné době se používají hlavně 2 typy kyselých chloridových zinkových lázní. Jedná se o lázně buď na bázi chloridu amonného, nebo chloridu draselného (viz. tab. 4). Jako první byly vyvinuty lázně na bázi chloridu amonného, které se v mnoha lokalitách musí likvidovat nákladnou chlorací. Převážně z tohoto důvodu byly vyvinuty lázně na bázi chloridu draselného. [3, 7]

Nejnovější kyselé chloridové zinkové lázně, které jsou k dispozici v průmyslu, jsou lázně na bázi chloridu sodného než na bázi chloridu draselného, který je dražší. Ve většině těchto lázní je částečně nahrazen chloridem sodným, chloridem amonným nebo amonnými soli. Tyto lázně jsou potom směsné lázně. S pokračujícím vývojem aditiv do lázní mohou lázně s chloridem sodným nahradit lázně na bázi chloridu draselného. [3, 7]

Kyselé chloridové zinkové lázně se zkoumají jako lázně pro pokovování zinkových slitin. Pokovení v kyselých chloridových lázní se zkoumá pro zlepšení

korozní odolnosti pro specifické aplikace, a aby se případně mohla vynechat dodatečná chromátová úprava. [3, 7]

Tab. 4: Složení kyselých chloridových zinkovacích lázní [$g.l^{-1}$] [7]

Složky	Vše chlorid amonný	Nízký obsah amoniaku		Bez amoniaku, Chlorid draselný
		Chlorid draselný	Chlorid sodný	
Zn	15-30	15-30	15-30	22-38
NH_4Cl	120-180	30-45	30-45	-
KCl	-	120-150	-	185-225
NaCl	-	-	120	-
H_3BO_3	-	-	-	22-38
Nosič rozjasňovače	4 % obj.	4 % obj.	4 % obj.	4 % obj.
Primární (základní) rozjasňovač	0,25 %	0,25 %	0,25 %	0,25 %

2 Slitinové a kompozitní povlaky

Povlaky na bázi zinku mají jednoduchou technologii výroby a dobrou korozní odolnost. Zinkové povlaky představují přibližně čtvrtinu všech povrchových úprav. Jelikož jsou v dnešní době požadavky na další vlastnosti (např. nízký součinitel tření apod.) velmi žádané. Jedním z řešení je využití vícevrstevných povlaků. Ovšem technologie výroby je komplikovaná a mohou nastat problémy s tloušťkou vrstvy povlaku. Dalším řešením je snaha o vytvoření nových funkčních povlaků, kompozitních nebo slitinových povlaků, které mohou nahradit klasické povlaky. Povlaky mohou být nakombinovány. [5, 6, 9]

Dalšími důvody, proč je snaha vytvořit nové funkční povlaky, je náročnost na vylučování (např. tvrdý chrom) nebo snaha o menší dopad na životní prostředí, ale také funkční povlaky mohou přinést nové vlastnosti, jako je vyšší tvrdost, otěruvzdornost apod. [5, 6, 9]

2.1 Slitinové povlaky

Aplikace obětovaných povlaků je již dlouho zavedena, ovšem v dnešní době se požadavky na odolnost a kvalitu povlaků zvýšily, a to vedlo k vývoji galvanických slitinových povlaků. Požadavky přicházely zejména z automobilového a leteckého průmyslu, především v jeho poptávce po spojovacích a elektrických součástkách. [5, 7]

Používá se několik různých slitin, z nichž každá poskytuje odlišné vlastnosti. To je způsobené legujícím kovem, ale i typem použitého elektrolytu. Legujícími kovy jsou nejčastěji železo, kobalt, nikl a cín. Tyto prvky zvyšují korozivzdornost povlaku. [3]

Přidáním legujících kovů se vytváří slitinové povlaky na bázi zinku. Přičemž obsah zinku ve slitinách bývá 83 % až 90 % kromě slitiny zinku s cínem. Cín se pohybuje obvykle okolo 70 % a zbytek je tvořen zinkem. [4, 5]

Slitinové povlaky si zachovávají anodický potenciál vůči oceli, stejně jako zinek. Kovy použité v zinkových slitinách mají elektricky kladnější potenciál. Aby se dosáhlo lepší korozivzdornosti, používá se konverzní povlak, podobně jako u čistých zinkových povlaků. Korozní odolnost je zvýšena minimálně o řád ve srovnání s povlaky z čistého zinku. [3, 4, 5]

2.1.1 Zn-Ni

Slitiny zinku a niklu jsou nejvíce odolné proti korozi oproti ostatním zinkovým slitinám. Obsah niklu ve slitině se pohybuje mezi 5 % až 15 % a s větším obsahem roste korozní odolnost. Pokud obsah niklu překročí 15 až 18 %, tak se Zn-Ni povlak stává ušlechtilejší než substrát, a tím ztrácí vlastnosti pro korozní ochranu. Slitiny zinku a niklu lze pokovovat v kyselých (viz. tab. 5) nebo alkalických lázních (viz. tab. 6). Kyselé lázně obsahují 10 % až 14 % niklu a alkalické lázně obsahují 6 % až 9 % niklu. [3, 5, 7]

Slitinový povlak Zn-Ni má méně rovnoměrné rozložení tloušťky a větší rozdíly ve složení slitiny. To je způsobené rozdíly v rozložení proudové hustoty v kyselých lázní. V kyselých lázních se usazuje povlak s laminární strukturou a s vyšším tahovým napětím. [5, 7]

Alkalická lázeň, pro slitinu zinku a niklu, je velmi podobná běžným alkalickým nekyanidovým zinkovým lázním. Alkalické lázně vytváří sloupcovitou strukturu povlaku, který má nižší tahové napětí, ale lepší soudružnost při tvarování, ohýbání nebo lisování. [5, 7]

Vyšší obsah niklu v povlaku zvyšuje pasivitu, a tím zhoršuje chromový konverzní povlak. Chromové pasivační roztoky pro elektrodepozity s vysokým obsahem zinku a niklu musí být agresivnější, aby se na elektrodepozitu vytvořil ochranný povlak. Nově formulované pasiváty, s doplňkovými vrchními vrstvami, se ukázaly jako vhodné, čímž se eliminuje potřeba šestimocných chromanů. Další aplikace, kde bylo zjištěno, že zinek-nikl poskytuje vynikající ochranu v kombinaci s vrchním nátěrem, je pokovování spojovacích prvků, které se mají používat v kontaktu s hliníkem, čímž se bezpečně nahradí kadmiové galvanické povlaky. [3, 5]

Tab. 5: Parametry lázně pro kyselou zinko-niklovou lázeň [5]

Složky/parametry	Ponorem na závěsu	Ponorem v koši
$ZnCl_2$	130 $g.l^{-1}$	120 $g.l^{-1}$
$NiCl_2$	130 $g.l^{-1}$	110 $g.l^{-1}$
KCl	230 $g.l^{-1}$	-
NH_4Cl	-	150 $g.l^{-1}$
pH	5.0–6.0	5.0–6.0
Teplota	24–30 °C	35–40 °C
Katodová proudová hustota	0.1–4.0 $A.dm^2$	0.5–3.0 $A.dm^2$
Anody	Zinek a nikl zvlášť. V některých případech jsou nutné samostatné usměrňovače a sběrnice.	

Tab. 6: Parametry lázně pro alkalickou zinko-niklovou lázeň [5]

Složky/parametry	Vysoký a nízký obsah niklu
Zinkový kov	8.0 g. l^{-1}
Niklový kov	1.6 g. l^{-1}
NaOH	130 $g.l^{-1}$
Poměr zinek/nikl	5.0:1
Teplota	23–26 °C
Katodová proudová hustota	2–10 $A.dm^2$
Anodová proudová hustota	5–7 $A.dm^2$
Anody	poniklované (25 μm) ocelové anody

2.1.2 Zn-Fe

Slitiny zinku a železa obsahují 15 % až 25 % železa. Tyto slitiny mají výhodu nízkých nákladů. Tato slitina má dobré svařovací vlastnosti, dobrou zpracovatelnost a lze ji snadno využít na galvanicky pokovené ocelové pásy a svitky. Dále je slitina vhodná jako základ pro nátěrové hmoty. Výhodou slitiny Zn-Fe je možnost vytvoření černého konverzního povlaku. Nevýhodou slitiny zinku a železa je nejmenší zlepšení, co se týče odolnosti proti korozi, ve srovnání s běžným zinkem. Další nevýhodou je množství železa v lázni, pokud je obsah železa vysoký, může dojít k tvorbě puchýřů během pokovení, ale i k tvorbě opožděných puchýřů. Při vystavení teplotám vyšší než 250 °C rychle klesá korozní odolnost chromovaných dílů, které byly pokoveny slitinou Zn-Fe. Pro slitiny Zn-Fe se používají kyselé (viz. tab. 7) nebo alkalické (viz. tab. 8) zinkoželezité lázně. [3, 5]

Tab. 7: Parametry lázně pro kyselou zinko-železitou lázeň [5]

Složky/parametry	Množství
$Fe_2(SO_4)_3$	200–300 $g.l^{-1}$
$ZnSO_4$	200–300 $g.l^{-1}$
Na_2SO_4	30 $g.l^{-1}$
$C_2H_3NaO_2$	20 $g.l^{-1}$

Tab. 8: Parametry lázně pro alkalickou zinko-železitou lázeň [5]

Složky/parametry	Množství
Zinkový kov	8–15 $g.l^{-1}$
Železný kov	0.05 – 0.1 $g.\ l^{-1}$
NaOH	120–140 $g.l^{-1}$
Teplota	18–23 °C
Katodová proudová hustota	1.5–3.0 $A.dm^2$
Anody	železná anoda

2.1.3 Zn-Co

Slitiny zinku a kobaltu se nanášejí v komerčních zinkokobaltových lázních. Jsou to běžné kyselé (viz. tab. 9) a alkalické (viz. tab. 10) zinkové lázně s přídavkem malého množství kobaltu. Vytvořené povlaky obvykle obsahují 0,6 % až 2 % kobaltu a zbytek tvoří zinek. Alkalické lázně, ve kterých se pokovovává slitina zinku a kobaltu, mají vysokou účinnost katody a vysokou rychlost pokovování, zároveň nízkou vodíkovou křehkost ve srovnání s alkalickými lázněmi. Podle proudové hustoty se podstatně liší tloušťka povlaku. Procento kobaltové depozice se liší vlivem mnoha proměnných v kyselých kobaltových lázních. Mezi tyto proměnné patří koncentrace kobaltu, koncentrace zinku, teplota, zda dochází k míchání, či nikoliv, hodnota pH, proudová hustota a koncentrace chloridů. Dodatečnou úpravou pro povlaky Zn-Co jsou chromáty čiré, žluté, duhové a černé. [3, 5, 7]

Tab. 9: Parametry lázně pro kyselou zinko-kobaltovou lázeň [5]

Složky/parametry	Ponorem na závěsu	Ponorem v koši
Zinkový kov	30 $g.l^{-1}$	30 $g.l^{-1}$
KCl	180 $g.l^{-1}$	225 $g.l^{-1}$
NH_4Cl	45 $g.l^{-1}$	-
Kobalt (kov)	1.9–3.8 g. l^{-1}	1.9–3.8 g. l^{-1}
H_3BO_3	15–25 $g.l^{-1}$	15–25 $g.l^{-1}$
pH	5.0–6.0	5.0–6.0
Teplota	21–38 °C	21–38 °C
Katodová proudová hustota	0.1–5.0 $A.dm^2$	1–50 $A.dm^2$
Anody	zinek	zinek

Tab. 10: Parametry lázně pro alkalickou zinko-kobaltovou lázeň [5]

Složky/parametry	Množství
Zinkový kov	6–9 $g.l^{-1}$
NaOH	100–130 $g.l^{-1}$
Kobalt (kov)	30–50 $g.l^{-1}$
Teplota	21–32 °C
Katodová proudová hustota	2.0–4.0 $A.dm^2$
Anody	železo

2.1.4 Sn-Zn

Pro nanášení slitinových povlaků cínu a zinku se využívá řada elektrolytů. Elektrolyty mohou mít kyselé, alkalické nebo neutrální složení (viz. tab. 11). Slitina se vyrábí z 10 % až 30 % zinku a z 70 % až 90 % cínu. Při tomto obsahu cínu a zinku dosahuje slitina optimální korozní odolnosti, a to převážně v atmosféře, která obsahuje oxid siřičitý. Používají se pro pokovení slitin Sn-Zn kyanidové, kyselé a neutrální komerční lázně. Cínovo-zinkové lázně jsou nákladné, protože vyžadují použití speciálních litých Sn-Zn anod. Nutná je aplikace konverzního povlaku pro dosažení optimálního výsledku korozní ochrany. [3, 5]

Slitinový povlak Sn-Zn má dobré třecí vlastnosti, také má vynikají tažnost a pájecí schopnosti, a proto se využívá na součástech, které po pokovení budou tvarovány. Nevýhodou je měkkost slitiny, tudíž je náchylná na mechanické poškození. Slitina cínu a zinku má nízký elektrický odpor a je poněkud lepší

než čistá slitina cínu pro odporové svařování povlakovaných měkkých ocelových plechů. Kromě toho povlaky cínovo-zinkové nepodléhají bimetalické korozi a lze je použít například na ocelové spojovací prvky pro panely z hliníkových slitin. [3, 5]

Dříve slitina Sn-Zn byla drahá a nepřicházela v úvahu. V dnešní době je slitina dostupnější a pohybuje se cenově jako alkalické slitiny Zn-Ni. [3, 5]

Tab. 11: Parametry lázně pro lázeň cínu a zinku s neutrálním pH [5]

Složky/parametry	Ponorem na závěsu	Ponorem v koši
Cínový kov	20	10
Zinkový kov	8	10
Stabilizátor	120	120
Antioxidant	80	80
Teplota	18–25	18–25
pH	6.0–7.0	6.0–7.0
Katodová proudová hustota	2	0.5
Anody	Smíšené anody cín/zinek (65/35–75/25)	

2.2 Kompozitní povlaky

Galvanické kompozitní povlaky jsou takové povlaky, které mají ve své vyloučené kovové matrici rozptýlené dané množství částic (povlaky se zabudovanými částicemi). Částice jsou kovového i nekovového charakteru. Galvanické kompozitní povlaky mohou být zařazeny mezi kompozitní materiály. [6, 9]

Kompozitní povlaky mají využití v automobilovém průmyslu, na elektronické součástky, počítače apod. [9]

Výsledné vlastnosti povlaku závisí především na typu částic, jejich velikosti, koncentraci, distribuci a morfologii, ale také na typu roztoku (pH, teplota, druh lázně apod.). [9]

Korozní odolnost kompozitních povlaků závisí na koncentraci legujícího prvku v povlaku, a také na specifických přísadách v lázni, které jsou výhodné z hlediska korozní odolnosti, a to i při nízkém obsahu legujícího prvku. [8]

Zvyšující se nároky na vlastnosti povlaků urychlují vývoj kompozitních povlaků. Kompozitní povlaky jsou tvořeny heterogenními materiály, které jsou tvořeny minimálně dvěma fázemi, které jsou od sebe odděleny rozhraním. Každá fáze má obvykle různé chemické složení a fyzikální a mechanické vlastnosti. [10]

Kompozitní povlaky se skládají ze základní fáze a disperzní fáze. Cílem je získat nejvhodnější kombinaci, kdy povlak získává lepší fyzikální a mechanické vlastnosti. [10]

Lze vylučovat tvrdé povlaky, otěruvzdorné povlaky, samomazné povlaky, kluzné povlaky, antiadhezní povlaky, tepelně odolné povlaky a různé kombinace těchto a dalších vlastností. Rychlé zavedení a praktické využití těchto povlaků je podmíněno ověřením jejich vlastností a hledáním vhodných technologií, přesněji elektrolytů, pro jejich účinnou aplikaci. [10]

Výhody elektrochemických kompozitních povlaků:

- kompozitní povlaky lze vytvářet z široké škály kovů a jejich slitin s využitím různých částic
- regulace tloušťky povlaků a poměry složek
- tepelné zpracování a tím zlepšení vlastností [10]

Nevýhody elektrochemických kompozitních povlaků:

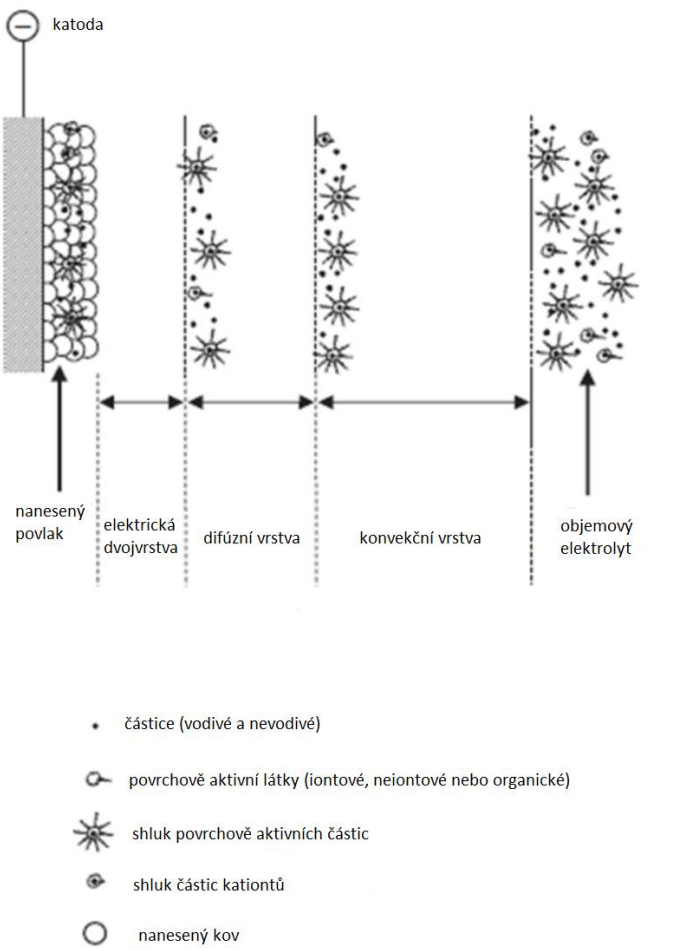
- náročná aplikace na součásti složitých tvarů
- ekologická náročnost [10]

2.2.1 Principy vylučování galvanických kompozitních povlaků

Kompozitní povlaky vznikají kodepozicí dispergovaných částic do rostoucích kovových vrstev (viz. obr. 9). Proces kodepozice lze rozdělit na 5 po sobě jdoucích kroků, a to na:

- tvorba iontových mraků částic (objemový elektrolyt, typická délka v cm)
- konvekce směrem ke katodě (konvekční vrstva, typická délka <1 mm)
- difúze přes hydrodynamickou mezní vrstvu
- difúze přes koncentrační mezní vrstvu (konvekční vrstva – tvořena hydrodynamickou a koncentrační vrstvou, typické rozměry stovky μm)
- elektrická dvojvrstva (typické rozměry nm) s následnou adsorpcí na katodě, kde jsou částice zachyceny v kovovém depozitu [14, 15]

Zjednodušeně dochází k procesu transportu částic k povrchu anody, kde dochází k přilnutí a k následnému obrůstání přilnutých částic materiálem matrice. [6]



Obr. 9: Mechanismus kodepozice částic kovového depozitu (přeloženo pro účely diplomové práce) [14]

Proces kodepozice ovlivňuje několik proměnných jako je transport částic, složení a parametry elektrolytu. Transport částic záleží na typu částice, velikosti částice, která se pohybuje okolo 5 μm, ale i jejich vyloučeného množství (koncentrace v elektrolytu). Dále na parametrech elektrolytu, a to jaká je koncentrace nosného elektrolytu, jeho teplota, hustota proudu, hydrodynamika, ale i přítomnost jiných kationtů (ovlivňuje se tím množství pozitivních nábojů částic v elektrolytu), ty ovlivňují hlavně rychlost vylučování. Také záleží na složení elektrolytu jako je koncentrace. Vzhledem k velikosti částic, se jedná o suspenzi, a tudíž záleží na (způsobu) rovnoměrné koncentraci v elektrolytu. [6, 14]

Částice se přichycují na povrchu katody (součásti) ve dvoustupňovém absorpčním mechanismu. Nejdříve dochází k volné absorpci, při tomto procesu dochází k obklopování částice ionty na ní absorbovanými. Následně dochází

k pevné absorpci, při tomto procesu dochází k pevnému ulpění částic. Pevná absorpce je rozhodující pro rychlost vylučování. [9]

Několik parametrů ovlivňuje obrůstání částic materiálem matrice, především parametry elektrolytu matrice, jeho hloubková účinnost a vyrovnávací schopnost lázně. V elektrolytu je zapotřebí mít vhodné podmínky pro existenci částic s kladným nábojem, tak aby došlo k absorpci na povrchu pevných částic. Záleží na vodivosti a nevodivosti disperzních částic. Vodivé částice se rychleji začnou obalovat kovem matrice po absorpci, a tím může dojít ke vzniku dutin a pórů. [6]

Ve výrobě se volí geometrie elektrod a článků dle několika možností, a to:

- otevřená nádrž s proudem elektrolytu ze spodu nebo použití vzduchového přeplňování, případně s nevýraznou recirkulací katody
- horizontálně rotující perforovaný pokovovací koš pro malé, pravidelně tvarované součásti (např. spojovací prvky, podložky a pouzdra)
- oddělená buňka (např. proudění elektrolytu prstencovou mezerou nebo obdélníkovým kanálem) nebo pomocí rotujících kotoučových elektrod (RDE) [15]

Dostatečný pohyb elektrody a elektrolytu ovlivňuje disperzi částic. Záleží také na vzájemném odpuzování částic se stejným nábojem, se kterým může pomoct povrchově aktivní látka, která ovlivňuje povrchový náboj částic. Nadměrné množství povrchově aktivní látky může působit jako modifikátor elektrokrystalizace, a to může zvýšit vnitřní pnutí v povlaku. Kladný náboj podporuje elektroforetický pohyb částic ke katodě. [15]

Předběžným smícháním lehčích nebo hydrofobních částic (např. PTFE, grafit, MoS_2) v malém množství elektrolytu pomocí míchadla s vysokou rychlostí lze dosáhnout stabilní disperze, a poté se následně přidá suspenze do elektrolytu, aby se dosáhlo požadovaného složení. Lze stanovit stupeň povrchové adsorpce a vhodné množství povrchové aktivní látky v závislosti na koncentraci povrchově aktivní látky adsorbované na částicích přidané do elektrolytu při pevné teplotě (tzv. adsorpční izoterma). [15]

2.2.2 Matrice kompozitních povlaků

První složka kompozitního povlaku je matrice, která může být z čistých kovů, ze slitiny kovů nebo plastů. Matrice se volí dle požadavků na vlastnosti, jelikož má velký vliv na konečné vlastnosti kompozitního povlaku. Jedná se o vlastnosti jako je pevnost, tvrdost, otěruvzdornost, žáruvzdornost a korozivzdornost. Zároveň by matrice měla obsahovat minimum pórů, minimální vnitřní pnutí a neměla by být křehká. Matrice se získává elektrochemicky nebo chemicky. [6, 13]

2.2.2.1 Matrice z čistých kovů

Niklová matrice

Galvanicky nanášený nikl má výborné vlastnosti jako je odolnost proti korozi, odolnost proti opotřebení a tvrdost. Použitím niklové matrice s disperzními částicemi různé povahy je možné výrazně zlepšit jeho funkční vlastnosti. Niklové kompozitní povlaky mají vynikající přilnavost, dobrou odolnost proti korozi a otěru. Disperzní fáze pro depozici niklových kompozitních povlaků se používají částice různé povahy. Nejčastěji využívanými disperzními částicemi jsou keramické částice (SiC nebo TiO_2), polymery a sloučeniny uhlíku (fullereny, uhlíkové nanotrubičky, nanodiamant, grafen a jeho deriváty). [16]

Železná matrice

Železná matrice je velmi výhodná z ekonomického hlediska. Ovšem u železa dochází ke snadné oxidaci, a tím se zhoršuje vylučovatelnost. [17]

Chromová matrice

Chromová matrice má vysokou tvrdost, ale jelikož katodická proudová účinnost je v lázni s kyselinou chromovou velmi nízká (menší než 20 %), není matrice vhodná pro kompozitní povlaky. Na katodě dochází k vylučování vodíku, který zabraňuje ulpění dispergovaných částic na katodě. Během procesu částice ulpějí v zanedbatelném množstvím. [17]

Měděná matrice

Měděná matrice je možná použít pro kompozitní galvanické povlaky. Ušlechtilost mědi není problém s vylučováním vodíku, tak jako je tomu u chromové matrice. Nevýhodou měděné matrice jsou její nízké mechanické vlastnosti, převážně tvrdost. Matrice nemusí mít vhodné vlastnosti pro tvorbu kompozitního povlaku. [17]

Zinková matrice

Zinek díky své redukční schopnosti se využívá v běžných antikorozních ochranách. Přidáním disperzních částic do zinkového povlaku se můžou zlepšit elektrochemické vlastnosti, tvrdost, oxidační odolnost při zvýšené teplotě, odolnost vůči opotřebení, samomaznost a korozní odolnost. Jako dispergované částice se používají nejčastěji Al_2O_3, TiO_2, Fe_2O_3, SiC, ZrO_2, SiO_2 a CNT. Zinkové kompozitní povlaky mají vynikající korozní odolnost v prostředích solných roztoků. Životnost povlaku může být snížena v důsledku tvorby vrstvy oxidu kovu (tzv. bílá koroze) na povrchu součásti. [18]

2.2.2.2 Matrice ze slitin kovů

Kompozitní povlaky z matrice slitin kovů mají při vhodné kombinaci lepší mechanické vlastnosti. Nejčastěji se využívá slitinová matrice na bázi niklu (např.: Ni-Fe), která může být i legována například wolframem, molybdenem nebo fosforem, dále se používá matrice na bázi kobaltu (např.: Co-Fe), který je poměrně drahý. [13, 17]

3 Dispergované částice

Pro tvorbu galvanického povlaku je zapotřebí přítomnosti disperzních částic v elektrolytu, které tvoří druhou složku povlaku. Dispergované částice by měly být takové, které mají vysoký bod tání, nízkou hustotu, vysokou tvrdost a pevnost (viz. tab. 12). Částice mohou být ve formě ultrajemných částic s rozměry menšími než 1000 nm a většími než 1 nm. Většina částic používaných v galvanotechnice jsou většinou menší než 100 nm, ale mohou se použít rozměry i v mikrometrech. Částice mohou být tvořeny prvky, sloučeninami nebo nekovy a ovlivňují konečné vlastnosti kompozitního povlaku. Obsah disperzních částic v elektrolytu se běžně pohybuje kolem 5–200 $g \cdot l^{-1}$. Disperzní částice se do elektrolytu přidávají v práškové podobě nebo se zakoupí elektrolyt, ve kterém jsou částice už rozmíchány. [6, 12, 13, 27]

Disperzními částicemi v kompozitním povlaku s kovovou matricí jsou nejčastěji používány:

- oxidy (SiO_2, Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2, Cr_2O_3 atd.)
- karbidy (SiC, WC, B_4C, TiC, Cr_3C_2 atd.);
- nitridy (TiN, Si_3N_4, CrN, BN atd.);
- sulfidy (MoS, WS_2 atd.);
- diamanty;
- grafit, PTFE a PS [26, 27]

Tab. 12: Vlastnosti nejpoužívanějších disperzních částic [13]

částice	bod tání [°C]	hustota [$kg.m^{-3}$]	mikrotvrdost [kPa]
Al_2O_3	1470-1710	3,93-4,02	20-24
TiO_2	1640	3,8-4,2	12
SiO_2	1470-1710	2,2-2,6	20-24
ZrO_2	2700-3000	5,6-6,1	16
SiC	2050	3,21	29-35
TiC	3140	4,9	18-32
TaC	3900	14,6	19
WC	15,8	2600-2800	24
ZrC	3540	6,8	26
TiB_2	2930	4,5	30,5-41

3.1 Disperzní částice tvořené prvky

Disperzní částice tvořené prvky pro kompozitní povlaky bývají takové částice, které je možné zanechat jako zabudované částice v kompozitním povlaku, nebo je možné vytvoření homogenní slitiny, kdy částice budou zhomogenizované pomocí difuzní přeměny. Mezi další hojně využívané disperzní částice se používají prvky jako Ni, Co, Cu apod. [6, 28]

3.2 Disperzní částice tvořené sloučeninami a nekovy

Disperzní částice tvořené sloučeninami a nekovy se rozdělují dle tvaru, a to na částice ve tvaru vláken jako je bór, uhlík, nebo bór s karbidem křemíku a na částice ve tvaru prášku, jako jsou boridy, nitridy, karbidy, silicidy a tuhá maziva. [6, 28]

Disperzní částice ve tvaru vláken tvoří kompozitní povlaky, které mají vysokou pevnost, žárupevnost, odolnost proti únavě a mají velmi vhodný poměr pevnosti ku hmotnosti. Disperzní částice ve tvaru prášku tvoří kompozitní povlaky s dobrými kluznými vlastnostmi a odolností proti opotřebení. Částice jsou vyráběny z nekovových materiálů a sloučenin. [6, 28]

3.3 Otěruvzdorné částice

Otěruvzdorné částice mají obvykle výborné termomechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti přisuzují kompozitním povlakům s otěruvzdornými částicemi zvýšenou tvrdost a odolnost proti opotřebení i při vysokých teplotách. Povlaky mohou mít zvýšenou mez kluzu a zpevnění, což lze pomocí kodepozicí menších částic zvýšit. Pro vytvoření izotropního povlaku je důležité rozložení částic v kovové matrici. Pro dosažení rovnoměrnějšího rozložení částic a jejich zvýšení podílu v kovové matrice, se používá kodepozice pomocí ultrazvuku nebo pomocí pulzního proudu. [26, 27]

Otěruvzdorné částice jsou implementovány do kovové matrice, která plní funkci tvárného pojiva. Kovová matrice má za úkol udržet tvrdé částice pevně usazené během procesu opotřebení. Částice tvoří překážku pro pohyb dislokací kovovou mřížkou, a to má za následek zvýšení tvrdosti, ale také zvýšení odolnosti proti plastickým deformacím. [26, 27]

Nejpoužívanějšími otěruvzdornými částicemi jsou oxidy, karbidy, nitridy, boridy a přírodní a syntetický diamant. [27]

3.4 Kluzné částice

Kluzné částice zvyšují odolnost proti opotřebení pomocí pevných mazacích částic. Tyto částice snižují koeficient tření. [25]

Kluzné částice se při opotřebení postupně uvolňují z kovové matrice a roztírají se po povrchu. Tím vytvářejí vrstvu pevného maziva. V průběhu opotřebení dochází k odhalování více kluzných částic, které udržují vrstvu maziva. Dochází tak ke snížení koeficientu tření a opotřebení (menší úbytek materiálu) a ke zvýšení životnosti povlaku i celé součásti. [25, 26]

Nejpoužívanějšími kluznými částicemi jsou měkké částice jako je grafit, MoS_2, CaF_2, PTFE a pokročilé materiály jako CNT a anorganický fulleren. [25, 27]

3.4.1 Grafitové částice

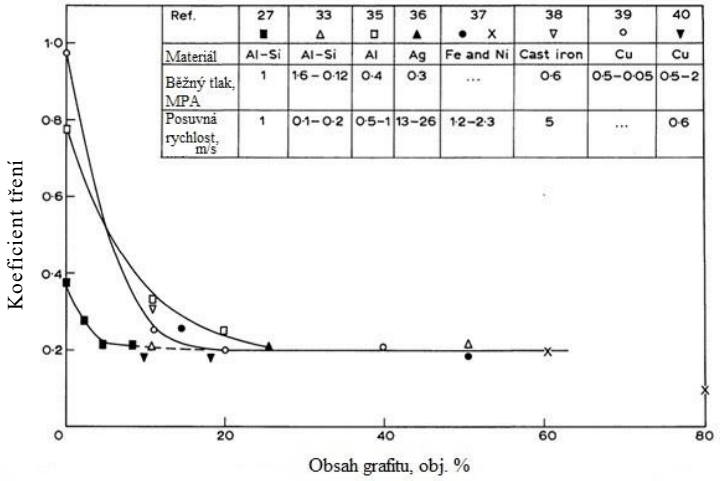
Grafitové částice jsou samomazné, mají vysoký bod tání a vynikající tepelnou vodivost. Nevýhodou je vysoká pórovitost grafitových částic, jejich nízká mechanická pevnost a nízká odolnost proti oxidaci při vysokých teplotách. Grafitové částice zlepšují odolnost proti opotřebení a snižují tření (viz obr. 10). Mohou být přírodního nebo syntetického původu. [36, 37]

Zabudováním grafitových částic do kovové matrice se, díky přenosu grafitu na povrch, stává samomazným, a tím vytváří tenký film, který zabraňuje kontaktu mezi styčnými plochami. Úspěšnost vytvoření pevného mazacího filmu závisí na kodepozici grafitových částic v kovové matrici a jejich schopnost vystoupit ze stavu usazení na povrch a vytvoření mazacího filmu. [37, 38]

Vlastnosti kovové matrice ovlivňují schopnost samomazání povrchu. Takovými vlastnostmi jsou deformovatelnost, která napomáhá přenosu grafitu na povrch. Dále závisí na adhezi grafitových částic a filmu k matrici, a také prostředí, které umožňuje grafit šířit jako mazivo. [37, 38]

Při pozorování chování tvorby mazacího filmu bude mít, při tření a opotřebení, dvě odlišné fáze: [38]

1) Přechodný stav, kdy se vytváří grafitový film
2) Ustálený stav, kdy se vytvoří stabilní grafitový film



Obr. 10: Změna součinitele tření v závislosti na obsahu grafitu u kompozitů s rozdílnou základní slitinou (přeloženo pro účely diplomové práce) [38]

3.4.2 Měděné částice

Měděné částice mají dobrou elektrickou vodivost, jsou samomazné a zvyšují korozivzdornost. Měděný prášek zakomponovaný v kovové matrici vytváří hladkou ochrannou vrstvu. Z tohoto důvodů se měděný prášek používá jako přísada do mazacích olejů, a tím se pomáhá snižovat tření a ochrana proti poškrábání součástí. [33, 35]

Měděný prášek lze rozdělit dle velikosti na tři typy, a to na ultrajemný měděný prášek, mikronový měděný prášek a nanometrový měděný prášek. S velikostí částic měděného prášku se liší vlastnosti a použití prášku. Mikronový měděný prášek se využívá pro vodivé povlaky, elektrodové materiály a v dalších oblastech. Nanometrový prášek se používá ve vysoce kvalitních mazivech, vysoce účinných katalyzátorech a v dalších oblastech. [33, 34]

Obsah měděného prášku v elektrolytu by měl být poměrně nízký, jinak může dojít při vyšším obsahu ke tvorbě ulpívajících usazenin. S obsahem souvisí proudová účinnost, která roste do koncentrace 23 až 33 $g.l^{-1}$. Proudová účinnost nad 33 $g.l^{-1}$ se snižuje a měděný prášek začíná být adherentní. Ke změně vlastností prášku se používají některé přídavné látky do elektrolytu. [33, 34]

4 Tribologie

Tribologie vychází z řeckého slova "tribos", které je překládáno jako tření. Přesněji je tribologie překládána jako "věda o tření". Druhou definicí pro překlad tribologie je "věda a technologie o vzájemně se ovlivňujících plochách v relativním pohybu a o souvisejících předmětech a postupech". [29, 30]

Tribologie se zabývá aspekty:

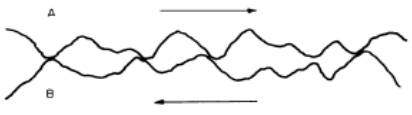
- Tření – se definuje jako pohybový odpor mezi pevným pohybujícím se tělesem nad druhým
- Opotřebení – se definuje jako poškození nebo odstranění materiálu na jednom nebo obou pevných tělesech při kontaktním pohybu
- Mazání – prostředek pomáhající přejít tření a opotřebení, a tím zajišťuje správný chod a zlepšení životnosti
- Adheze – se definuje jako síla potřebná k oddělení dvou ploch při vzájemném jejich kontaktu [29]

4.1 Tření

Tření vzniká mezi působením dvou protilehlých ploch, které jsou ve vzájemném kontaktu, a dochází k odporu proti relativnímu pohybu. [29, 30]

Relativní pohybem může být klouzání, odvalování a otáčení. Při relativním pohybu vzniká práce potřebná proti tření, která je přebytečná a je odváděná jako odpadní teplo. Z tohoto důvodu je cílem v tribologických konstrukcích mít třecí síly co nejmenší. [29, 30]

Skutečná plocha je tvořena tzv. styčnými spoji. Styčné spoje se skládají z velkého počtu malých styčných oblastí neboli malé výstupky nerovností povrchu (viz obr. 11) pevného tělesa v malém měřítku topografických nerovností. [29, 30]



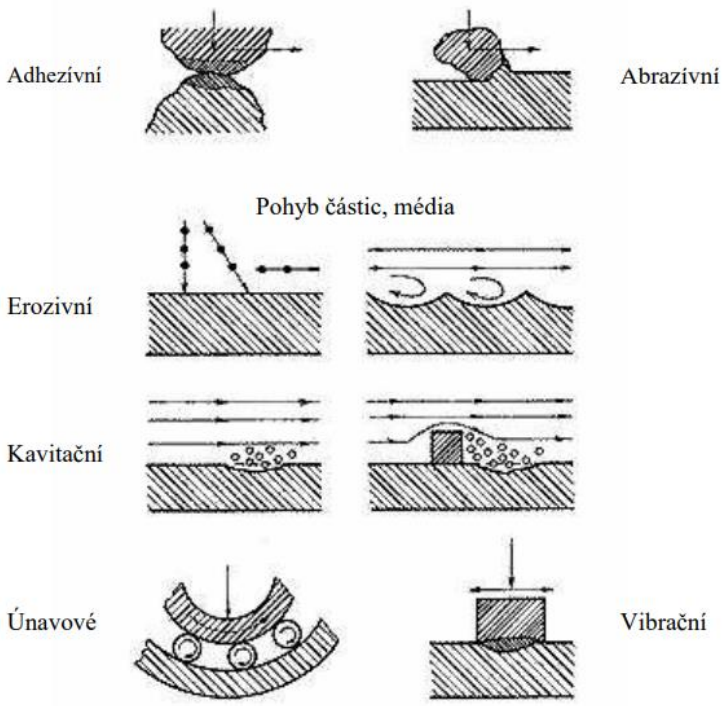
Obr. 11: Styčné spoje [30]

4.2 Opotřebení

Opotřebení je degradace materiálu jako důsledek působení dvou relativně pohyblivých povrchů. Při opotřebení dochází k úbytku materiálu a je to doprovázející jev tření. Opotřebení je považováno za škodlivý jev. [29] [30]

Na opotřebením se podílí několik odlišných a nezávislých mechanismů (viz. obr. 12): [30, 32]

- adhezivní opotřebení
- abrazivní opotřebení
- erozivní opotřebení
- korozivní opotřebení
- únavové opotřebení
- vibrační opotřebení
- kavitační opotřebení [30, 32]



Obr. 12: Schématické znázornění druhů opotřebení [29]

4.2.1 Adhezivní opotřebení

Adhezní opotřebení je důsledkem vzniku mikrotrhlin, které vznikají při vytváření mikrospojů na protilehlých třecích plochách. Při pohybu protilehlých třecích ploch dojde k prasknutí vzniklého mikrospoje. [29] [32]

Adhezní opotřebení se dá snížit pomocí několika faktorů:

1) Nižší zatížení
2) Použití tvrdších materiálů
3) Odstranění nečistot mezi plochami
4) Použití pevných maziv nebo olejových maziv
5) Aditiva podporující snížení opotřebení [29]

4.2.2 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení vzniká při relativním pohybu mezi vzájemnými plochami, při kterém vzniká opotřebení povrchu daných ploch. K opotřebení dochází v momentě, kdy se tvrdší materiál, nebo tvrdé částice, které se dostaly mezi kontaktní plochy, třou o měkčí materiál. Tvrdší částice se mohou dostat mezi dva měkčí povrchy jako nečistota. Částice mohly vzniknout jako nečistota z vnějšího prostředí, nebo v důsledku oxidace povrchu, či jiného chemického procesu. [29, 32]

Pokud se na tření podílejí pouze dvě třecí plochy, nazývá se toto opotřebení opotřebením dvěma tělesy. Dochází k opotřebení měkčího materiálu tvrdším materiálem. [29, 32]

Pokud se na tření podílí tvrdé částice zachycené mezi třecími plochami, nazývá se toto opotřebení opotřebením třemi tělesy. Zachycená částice může být buď volně mezi plochami, nebo částečně zachycená v materiálu. [29, 32]

4.2.3 Erozivní opotřebení

Erozivní opotřebení je způsobené dopadem částic obvykle vysokou rychlostí na povrch součásti, což má za následek úbytek materiálu. Dopadající částice mohou být pevné, kapalné nebo plynné a jejich vlivem hybnosti odstraňují úlomky z povrchu materiálu. Erozivní opotřebení může být i záměrně provedeno jako otryskávání. [29, 32]

4.2.4 Korozivní opotřebení

Korozivní opotřebení vzniká při relativním pohybu v korozivním prostředí. Opotřebení na vzduchu, kde je dominantní kyslík, se nazývá oxidační opotřebení. Během oxidačního opotřebení se na povrchu tvoří oxidy, které jsou pohybem součásti odstraňovány. Dochází k pokračování korozivního napadení. Pro vznik korozivního napadení je třeba chemická reakce a tření. [39]

Koroze může být způsobená chemickou, nebo elektrochemickou interakcí s prostředím. Chemická koroze vzniká v prostředí s vysokou teplotou a vlhkostí a ve vysoce korozivním prostředí. Elektrochemická koroze vzniká chemickou reakcí, která je doprovázena průchodem napětí. Aby k elektrochemické korozi došlo, musí mezi dvěma oblastmi existovat rozdíl potenciálů. [39]

4.2.5 Únavové opotřebení

Únavové opotřebení vzniká při opakovaném odvalovaní. Opakující se cykly zatěžování a odlehčování mohou způsobit vznik podpovrchových a povrchových trhlin. Tyto trhliny se po kritickém počtu cyklů rozpadávají. Jejich rozpadem vznikají na povrchu velké důlky. [30] [32]

4.2.6 Vibrační opotřebení

Vibrační opotřebení je způsobeno kmitavým pohybem funkčních ploch, které je podpořeno působením normálové síly. Během vibračního opotřebení vznikají oxidy železa. Kmitavý pohyb může dosahovat i velmi malých hodnot amplitudy (v řádu 1 až 100 μm). [39]

4.2.7 Kavitační opotřebení

Kavitační opotřebení vzniká v místech, kde na povrchu ulpí z kapaliny plynová bublina, která implozí oddělí částice kovu z povrchu funkční plochy. Kavitace vzniká v místech, kde proudící kapalina má rychlejší proudění, a tím dochází ke snížení tlaku kapaliny. Kavitačním opotřebením vznikají poškozená místa, která jsou malá. Z dlouhodobého hlediska, kdy tlak kapaliny může dosahovat vysokých hodnot při vysokých teplotách, je opotřebení nezanedbatelné. [39]

4.3 Mazání

Mazání se přivádí mezi dvě kluzná tělesa, kde se vytvoří kluzný film mezi vzájemně dotýkajícími povrchy. Kluzný film pomáhá předcházet tření, opotřebení a odvádí se teplo a nečistoty vzniklé během kluzného pohybu, a tím je zajištěn správný chod a zlepšení životnosti. Mazání může být pomocí plynného, kapalného nebo tuhého maziva. [29, 31]

Funkce mazání:

- vytváří mazací film mezi plochami, a tím snižuje tření a opotřebení
- odvádí teplo, převážně v kritických částech zařízení
- usnadňuje bezproblémový provoz zařízení, odvádí pryč usazeniny, nečistoty apod.

- chrání součást před oxidací a korozí [31]

Mazací procesy se liší dle geometrie styčných ploch, jejich drsnosti a struktuře, na kontaktním zatížení, tlaku, teplotě, rychlosti valení a posuvu, podmínkách prostředí, dle fyzikálních a chemických vlastností maziva, složení materiálu a vlastnostech vrstvy v povrchové části. [30, 31]

Pro mazání se používají neupravená (neformulovaná) maziva jako jsou minerální oleje a syntetické oleje. Bez přídavných aditiv nesplňují požadavky na použití v náročnějších mazacích prostředích. Přidávají se aditiva, která zlepšují vlastnosti, které už daný olej má, nebo se aditivem získávají nové žádoucí vlastnosti. Pokud dojde k přidání aditiva, jedná se už o tzv. formulovaná maziva. Dále se používají směsná maziva, která se skládají ze základní kapaliny a aditiv. Množství a kvalita přidávaných aditiv záleží na kvalitě kapaliny a účelu aplikace. Aplikace pro motorové oleje vyžaduje kvalitnější aditiva než průmyslová maziva a kapaliny. [30, 31]

4.4 Adheze

Adheze vzniká mezi dvěma kontaktními plochami, kde mezi těmito plochami působí meziatomové a mezimolekulární síly. Tyto síly jsou vždy přítomny a působí mezi všemi atomy a molekulami v daném systému. Aby mohlo dojít k pohybu ploch, je potřeba smyková síla, která adhezní síly přetrhne nebo slabší materiál jednoho z povrchů povolí, či praskne. [29] [31]

Adheze je jedním z projevů existence povrchových sil, jelikož působící mezimolekulární síly mezi dvěma oddělenými plochami jsou síly působící mezi těmito plochami. Měření povrchových sil pomáhá určit význam fungování adheze a v konečném důsledku pomáhá určit materiál, podmínky a prostředí, aby se maximalizovala nebo minimalizovala dle potřeby adheze. [31]

Adheze není příčinou opotřebení, ale pouze důsledkem kontaktu mezi plochami. Protože adheze je klasifikována jako poškození povrchu než jako opotřebení povrchu, a to i v případě, kdy dochází k úbytku materiálu z povrchu (součásti). Pokud se přilnuté oblasti oddělí pomocí posunutí, dochází k poškození materiálu. Rychlost a rozsah poškození závisí na způsobu oddělení styčných ploch. [31]

5 Experimentální část

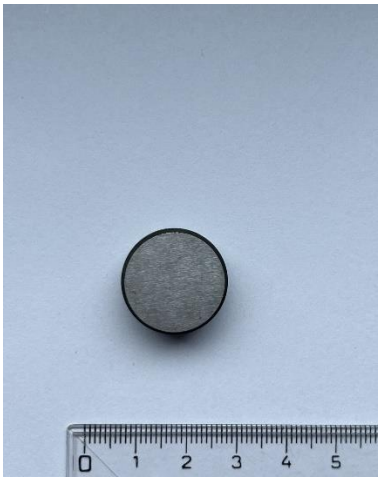
Účelem experimentální části diplomové práce bylo zhotovení galvanicky pokovených povlaků na zvolené ocelové vzorky a následné vyhodnocení jejich vybraných vlastností. Vzorky byly galvanicky pokoveny v zinkové lázni se zvolenými disperzními částicemi. Následně byly porovnávány s referenčním galvanicky naneseným zinkovým povlakem bez disperzních částic. Jako disperzní částice byly vybrány grafit a měď. Předpokládá se, že galvanicky nanesené kompozitní povlaky by měly vykazovat lepší vlastnosti než vzorek s referenčním povlakem. Cílem experimentální části diplomové práce bylo vytvořit galvanické povlaky a podrobit je následujícím zkouškám, a to zkoušce ohybem, tribologickému měření (činitel tření na tribometru), teplotnímu šoku a odolnosti proti korozi (zkouška v solné mlze).

5.1 Výběr vzorků

Pro porovnání výsledků byly experimentální části využity 3 druhy ocelových vzorků (viz. obr. 13, 14, 15).

Obr. 13: Vzorek 1A a 1B

Obr. 14: Vzorek 2



Obr. 15: Vzorek 3

Prvním typem vzorku (viz. obr. 13) jsou vzorky označené 1A a 1B. Vzorek má rozměry 104,6 x 67,5 mm a je vyroben z materiálu AISI 1020. Vzorek označený 1A byl použit pro zkoušku ohybem a vzorek označený 1B byl použit pro zkoušku v solné mlze.

Druhým typem vzorku (viz. obr. 14) je vzorek označený 2. Vzorek má rozměry 40,3 x 21,2 x 0,5 mm a je vyroben z materiálu AISI 1030. Vzorek byl použit pro tribologické měření.

Třetím typem vzorku (viz. obr. 15) je vzorek označený 3. Vzorek má průměr 20 mm a výšku 0,8 mm a je vyroben z materiálu S235JR. Vzorek byl použit pro zkoušku tepelným šokem.

Pro experiment byl pro každý povlak použit každý vzorek dvakrát (viz. tab. 13).

Tab. 13: Vzorkovací tabulka

Číslo vzorku Druh povlaku	1A	1B	2	3
Zn	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky
Zn + grafit	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky
Zn + Cu	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky	2 vzorky

5.2 Galvanické pokovení

V experimentální části byly zkoumány specifické vlastnosti elektrolyticky vyloučených zinkových kompozitních povlaků s disperzními částicemi grafitu (Zn + grafit) a s disperzními částicemi mědi (Zn + Cu). Tyto povlaky byly srovnávány s referenčním vzorkem, který byl pokovován zinkovým povlakem (Zn).

Při procesu galvanického pokovení je třeba dodržet daný postup při předepsaných podmínkách, aby došlo ke správnému vyloučení povlaku. Galvanické pokovení bylo provedeno v univerzitní laboratoři a postup galvanického pokovení byl proveden dle tab. 14.

Tab. 14: Technologický postup galvanického pokovení

Číslo operace	Název operace	Teplota operace [°C]	Čas operace [min]	Poznámky
1	Alkalické odmaštění ultrazvukem	50 °C	10	STAR75PN (1:10)
2	Oplach	20–25 °C	1	Demineralizovaná voda
3	Oplach	20–25 °C	1	Demineralizovaná voda
4	Dekapování	20–25 °C	1	15 % HCl
5	Oplach	20–25 °C	1	Demineralizovaná voda
6	Oplach	20–25 °C	1	Demineralizovaná voda
7	Galvanické pokovení			
8	Oplach	20–25 °C	1	Demineralizovaná voda
9	Sušení	20–25 °C		Na vzduchu

Samotné galvanické pokovení vzorků (operace č.7 - viz. tab. 14) bylo provedeno dle tab. 15.

Tab. 15: Doba galvanického pokovení pro jednotlivé vzorky

Vzorek	1A		1B		2		3	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Zn	15 min	20 min	30 min	30 min	20 min	20 min	20 min	20 min
Zn + grafit	15 min	20 min	30 min	30 min	20 min	20 min	20 min	20 min
Zn + Cu	15 min	20 min	30 min	30 min	20 min	20 min	20 min	20 min

5.2.1 Založení lázně pro galvanické pokovení

Lázeň s disperzními částicemi byla zakládána na obsah 3,2 l elektrolytu. Disperzní částice byly přidávány 5 gramů na 1 litr. Do lázně se tedy přidávalo 16 g disperzních částic. Částice byly vmíchány pomocí elektromagnetického míchání, které probíhalo po dobu 10 minut za rychlosti 600 rpm. Samotné pokovování probíhalo při 80 rpm.

Grafitové částice

Byly použité grafitové částice od firmy FICHEMA. Velikost grafitových částic byla 7 μm. Jedná se o krystalizovaný uhlík (krystalický grafit), který má nepatrnou příměs přírodních horninových součástí a minerálů (celkově 0,5 %).

Měděné částice

Byly použité měděné částice od firmy Alfa Aesar. Velikost měděných částic byla v rozmezí 8–l1 μm. Měděný prášek je o čistotě 99 %.

5.2.2 Použitá zařízení

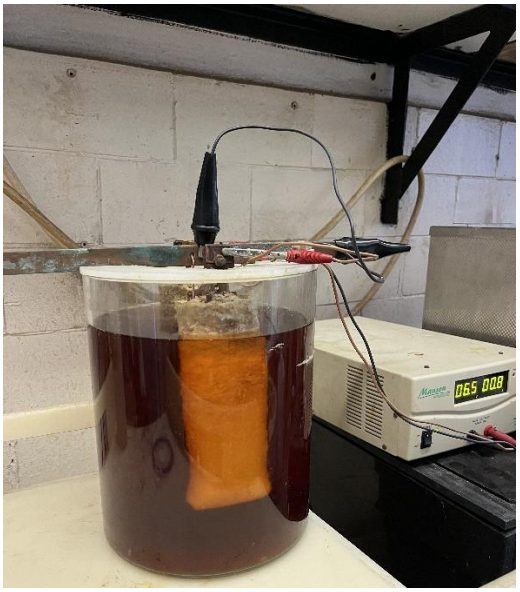
Alkalické odmaštění ultrazvukem bylo provedeno v průmyslové ultrazvukové čističce K-2IM od firmy KRAINTEK (viz. obr. 16).

Obr. 16: Průmyslová ultrazvuková čistička K-2IM [40]

Pro měření a určení proudu byl použit stejnosměrný zdroj MANSON SPS-9002 (viz. obr. 17).

Obr. 17: MANSON SPS-9602 laboratorní zdroj 1-30V/0-30A [41]

Pokovovací pracoviště bylo vytvořeno v univerzitní laboratoři (viz. obr. 18). Pokovovací pracoviště se skládá z nádoby, ve které byly připraveny lázně. Dále se skládá z dvou anod a katody (pokovovaný vzorek), které jsou pomocí kabelů se svorkami připojené ke stejnosměrnému zdroji. Pro lázeň s disperzními částicemi bylo využito promíchávání elektrolytu, které funguje na principu elektromagnetického míchání. Promíchávání elektrolytu bylo pomocí WiseStir MSH-20D hotplate stirrer (viz. obr. 19) a do lázně bylo vloženo tělísko, které promíchávalo lázeň.



Obr. 18: Pokovovací soustava

Obr. 19: WiseStir MSH-20D hotplate stirrer [42]

5.2.3 Stanovení proudové hustoty

Nejprve se pomocí empirických výpočtů před samotným zahájením procesu pokovení stanovila proudová hustota pro každý druh vzorku.

$$I = J \cdot S \tag{3}$$

I = proud [A]

J = proudová hustota [$A.dm^{-2}$]

S = plocha [dm^2]

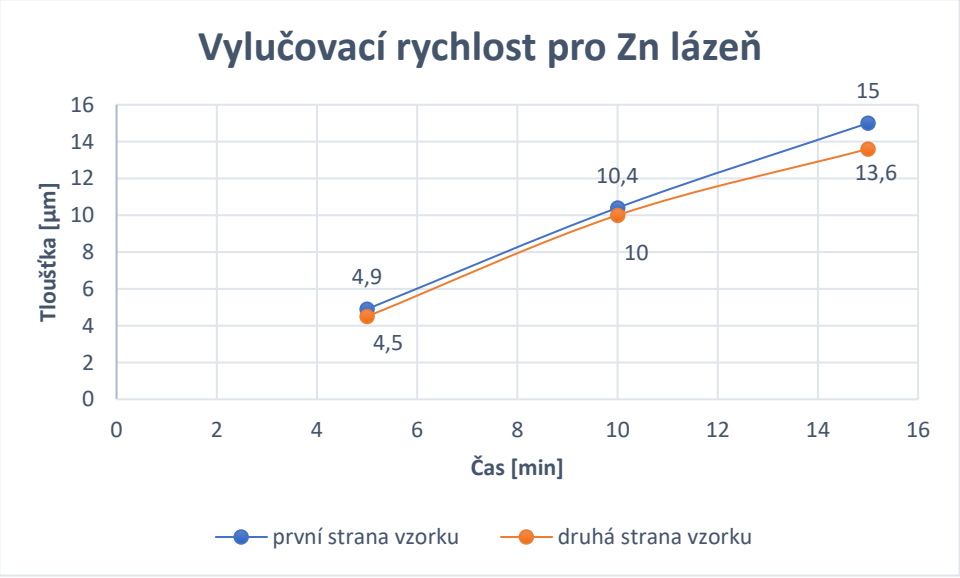
Pro každý vzorek byla nejprve vypočítána plocha a následně dle rovnice 3 byl dopočítán potřebný proud (viz. tab. 16). Proudová hustota byla zvolena J = 3 $A.dm^{-2}$.

Tab. 16: Vypočítané velikosti ploch a proudu

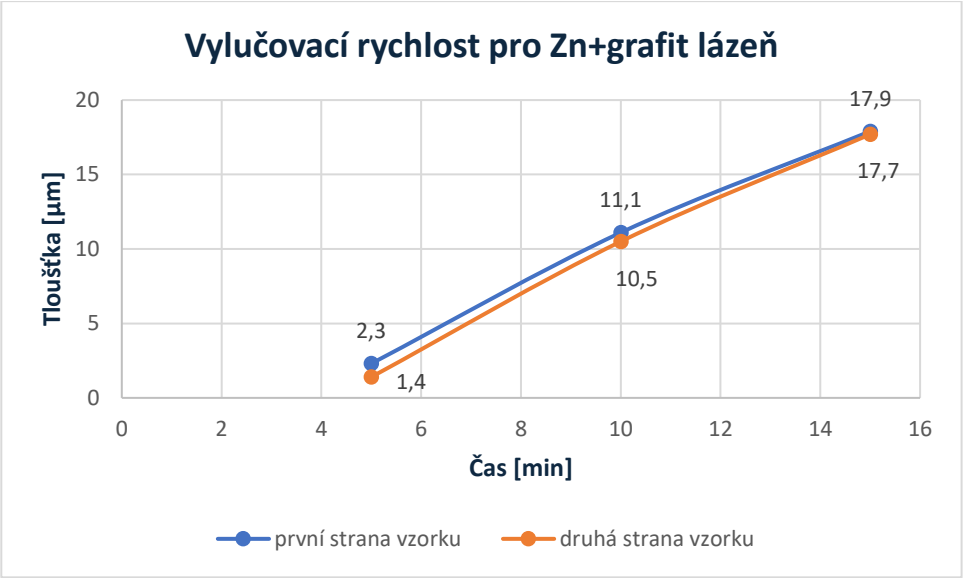
Vzorek	1A	1B	2	3
S [dm^2]	1,41	1,41	0,17	0,06
I [A]	4,2	4,2	0,5	0,2

5.3 Vylučovací rychlosti

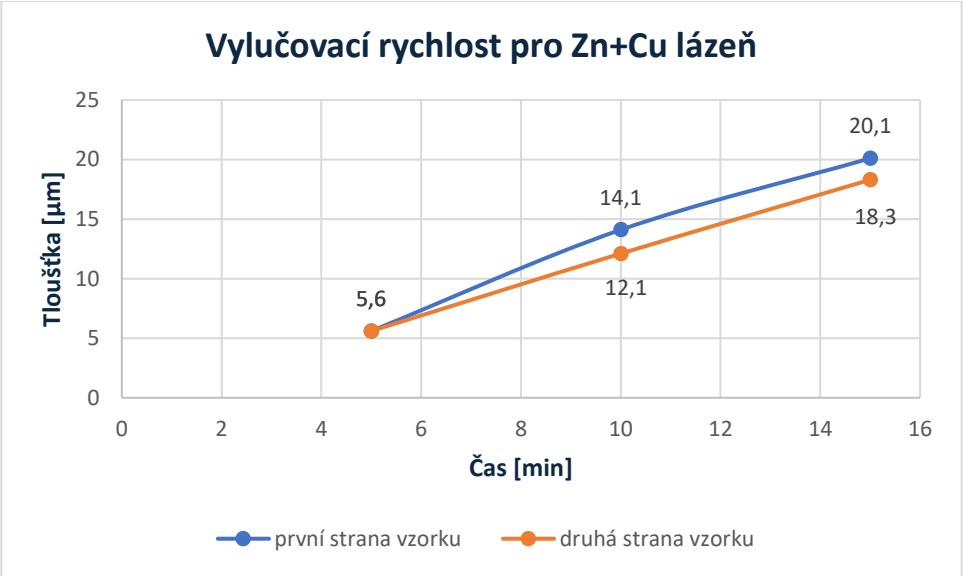
Pro každou založenou lázeň byla experimentálně zjištěna vylučovací rychlost na vzorku 1A, který byl rozdělen na 3 rovnoměrné díly. První díl byl vytažen z lázně po 5 minutách. Druhý díl byl vytažen z lázně po 10 minutách a třetí díl byl vytažen po 15 minutách. Byla změřena tloušťka na každém vzorku z obou stran a průměrná tloušťka byla vynesena do grafu. Tloušťka se měřila dvanáckrát na každé straně všech dílů s tím, že nejmenší hodnota a nejvyšší hodnota byla vyškrtnuta. Vylučovací rychlost pro zinkovou lázeň je znázorněna na obr. 20. Vylučovací rychlost pro zinkovou lázeň s disperzními částicemi grafitu je znázorněna na obr. 21. Vylučovací rychlost pro zinkovou lázeň s disperzními částicemi mědi je znázorněna na obr. 22.



Obr. 20: Vylučovací rychlost pro Zn lázeň



Obr. 21: Vylučovací rychlost pro Zn + grafit lázeň



Obr. 22: Vylučovací rychlost pro Zn + Cu lázeň

5.4 Metodika testování a vyhodnocení výsledků

Pokovené vzorky byly v rámci experimentální části zkoušeny pro zjištění přilnavostních, tribologických a korozních vlastností. Byla provedena zkouška ohybem na kónickém trnu, zkouška tepelným šokem, tribologická zkouška pro zjištění činitele tření a zkouška v solné mlze pro vyhodnocení korozních vlastností. Po zkoušce tepelným šokem byly vyhodnoceny změny povrchu na optickém mikroskopu.

5.4.1 Měření tloušťky

Měření tloušťky bylo provedeno nedestruktivním zkoušením za pomocí tloušťkoměru PosiTector 6000 FS1 (viz. obr. 23). Byla měřena tloušťka povlaku na každém pokoveném vzorku z obou stran. Celkem na každé straně vzorku 1A, 1B, 2 byla změřena tloušťka dvanáckrát, při čemž nejnižší a nejvyšší hodnota byla vyškrtnuta. Pro vzorek 3 byla naměřena tloušťka 8krát a nejnižší a nejvyšší hodnota byla vyškrtnuta. Zbylé hodnoty byly zprůměrovány.

Obr. 23: PosiTector 6000 FS1 [43]

Průměrné naměřené hodnoty tloušťky pro vzorek 1A jsou zapsány v tab. 17. Jedna strana má o trochu větší tloušťku, což je způsobeno vzdáleností od anod závislých na rychlosti míchání lázně. Větší tloušťka je na straně vzorku, která byla blíže k dané anodě.

Celá tabulka se všemi hodnotami je v příloze č. 1.

Tab. 17: Průměrná tloušťka vzorku 1A

Vzorek	**1A**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Průměrná hodnota [µm]	**5,4**	**8,4**	**10**	**10**	**11**	**8,9**	**15,2**	**12,2**	**12,9**	**13,2**	**12,5**	**12,9**

Průměrné naměřené tloušťky pro vzorek 1B jsou zobrazeny v tab. 18. Jedna strana má o trochu větší tloušťku, což je způsobeno vzdáleností od anod. Větší tloušťka je na straně vzorku, která byla blíže k dané anodě.

Celá tabulka se všemi hodnotami je v příloze č. 1.

Tab. 18: Průměrná tloušťka vzorku 1B

Vzorek	**1B**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Průměrná hodnota [µm]	**23,5**	**18,9**	**18,4**	**24,1**	**18,2**	**25,5**	**20,3**	**15,7**	**20,1**	**15,5**	**20,3**	**15,7**

Průměrné naměřené tloušťky pro vzorek 2 jsou zobrazeny v tab. 19. Jedna strana má o trochu větší tloušťku, což je způsobeno vzdáleností od anod. Větší tloušťka je na straně vzorku, která byla blíže k dané anodě.

Celá tabulka se všemi hodnotami je v příloze č. 1.

Tab. 19: Průměrná tloušťka vzorku 2

Vzorek	**2**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Průměrná hodnota [µm]	**7,8**	**7,6**	**7,9**	**7,2**	**16,2**	**11,3**	**16,2**	**11,1**	**13,4**	**11,9**	**11,7**	**11,6**

Průměrné naměřené tloušťky pro vzorek 3 jsou zobrazeny v tab. 20. Jedna strana má o trochu větší tloušťku, což je způsobeno vzdáleností od anod. Větší tloušťka je na straně vzorku, která byla blíže k dané anodě.

Celá tabulka se všemi hodnotami je v příloze č. 1.

Tab. 20: Průměrná tloušťka vzorku 3

Vzorek	**3**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Průměrná hodnota [µm]	**12,5**	**13,5**	**13,5**	**13,3**	**11,3**	**22,3**	**20,8**	**21,5**	**23,5**	**26,8**	**21,7**	**22,3**

5.4.2 Měření drsnosti

Měření drsnosti bylo provedeno nedestruktivním zkoušením za pomocí drsnoměru Surftest SJ-210 od firmy Mitutoyo (viz. obr. 24). Byla měřena drsnost všech vzorků (1A, 1B, 2, 3). Nejdříve byla naměřená drsnost každého druhu vzorku

bez povlaku. Dále se měřily drsnosti zinkových povlaků bez disperzních částic a zinkových povlaků s disperzními částice.

Naměřeno pro vzorky 1A, 1B a 2 bylo celkem 12 hodnot. S tím, že nejvyšší hodnota a nejnižší hodnota byla vyškrtnuta. Pro vzorek 3 bylo naměřeno celkem 8 hodnot, přičemž nejvyšší a nejnižší hodnota byla vyškrtnuta.

Měřeny byly parametry drsnosti Rz – hloubka drsnosti, Ra – střední aritmetická hodnota drsnosti a Rq – průměrná kvadratická hodnota drsnosti. Nastavení na drsnoměru bylo rychlost posuvu 0,5 mm/s a mezní vlnová délka λc=0,8. Měření bylo provedeno dle řady ČSN EN ISO 21920:2023 - Geometrické specifikace produktu (GPS) - Struktura povrchu.

Obr. 24: Surftest SJ-210 [44]

Hodnoty drsnosti vzorku 1A

Byly měřeny hodnoty drsnosti pro vzorky 1A, které byly využity na zkoušku ohybem. Vzorky byly měřeny podélně a příčně z každé strany vzorku. Byl naměřen orientačně jeden vzorek bez povlaku (viz. příloha č.2 – Vzorek 1A), přičemž jedna strana měla parametry drsnosti větší než druhá strana. Parametry drsnosti u prvního vzorku se zinkovým povlakem vyšly na jedné straně menší (viz. tab. 21) než na straně druhé (viz. tab. 22). To samé platí pro první vzorky se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu (viz. tab. 23 a 24) a s disperzními částicemi mědi (viz tab. 25 a 26). Parametry drsnosti vycházely větší pro zinkové povlaky s disperzními částicemi než pro zinkový povlak.

Tabulky se všemi naměřenými hodnotami jsou v příloze č. 2 společně s hodnotami pro druhé vzorky s povlaky.

Tab. 21: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**7,687**	**8,582**	**1,339**	**1,464**	**1,651**	**1,832**

Tab. 22: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**11,855**	**12,986**	**2,245**	**2,199**	**2,692**	**2,750**

Tab. 23: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**12,139**	**11,415**	**1,610**	**1,666**	**2,210**	**2,161**

Tab. 24: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**13,760**	**14,081**	**2,238**	**2,286**	**2,802**	**2,889**

Tab. 25: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn + Cu 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**15,422**	**17,015**	**2,478**	**2,906**	**3,143**	**3,531**

Tab. 26: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn + Cu 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**11,220**	**11,716**	**1,703**	**1,775**	**2,156**	**2,286**

Hodnoty drsnosti vzorku 1B

Byly měřeny hodnoty drsnosti pro vzorky 1B, které byly využity na zkoušku v solné mlze. Vzorky byly měřeny kolmo ve směru broušení z každé strany vzorku. Byl naměřen orientačně jeden vzorek bez povlaku (viz. příloha č.2 – Vzorek 1B), přičemž jedna strana měla parametry drsnosti větší než druhá strana. Parametry drsnosti u prvního vzorku se zinkovým povlakem vyšly na jedné straně větší než na straně druhé (viz. tab. 27 a 28). To samé platí pro první vzorky se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu (viz. tab. 29 a 30) a s disperzními částicemi mědi (viz tab. 31 a 32). Parametry drsnosti vycházely větší pro zinkové povlaky s disperzními částicemi než pro zinkový povlak.

Tabulky se všemi naměřenými hodnotami jsou v příloze č. 2 společně s hodnotami pro druhé vzorky s povlaky.

Měření drsností je důležité pro zkoušku v solné mlze, jelikož je potřeba znát stranu s menší drsností, která bude primárně vystavena zkoušení v solné mlze.

Tab. 27: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**4,040**	**0,626**	**0,768**

Tab. 28: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**4,769**	**0,572**	**0,727**

Tab. 29: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**7,525**	**0,755**	**1,170**

Tab. 30: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**5,287**	**0,644**	**0,882**

Tab. 31: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**8,716**	**1,184**	**1,612**

Tab. 32: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**6,897**	**0,966**	**1,252**

Hodnoty drsnosti vzorku 2

Byly měřeny hodnoty drsnosti pro vzorky 2, které byly využity pro tribologické měření. Vzorky byly měřeny podélně a příčně z každé strany vzorku. Byl naměřen orientačně jeden vzorek bez povlaku (viz. příloha č.2 – Vzorek 2), přičemž jedna strana měla parametry drsnosti větší než druhá strana. Parametry drsnosti u prvního vzorku se zinkovým povlakem vyšly na jedné straně větší než na straně druhé (viz. tab. 33 a 34). To samé platí pro první vzorky se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu (viz. tab. 35 a 36) a s disperzními částicemi mědi (viz tab. 37 a 38). Parametry drsnosti vycházely větší pro zinkové povlaky s disperzními částicemi než pro zinkový povlak.

Tabulky se všemi naměřenými hodnotami jsou v příloze č. 2 společně s hodnotami pro druhé vzorky s povlaky.

Měření drsností je důležité pro tribologické měření, jelikož je drsnost jedním z důležitých parametrů pro vyhodnocování. Výsledky měření mohou být ovlivněny velkými rozdíly v drsnostech.

Tab. 33: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**1,953**	**1,895**	**0,197**	**0,150**	**0,278**	**0,233**

Tab. 34: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**3,704**	**2,862**	**0,266**	**0,249**	**0,442**	**0,358**

Tab. 35: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**15,932**	**14,190**	**2,103**	**1,639**	**3,136**	**2,498**

Tab. 36: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**4,704**	**5,021**	**0,449**	**0,513**	**0,699**	**0,788**

Tab. 37: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn + Cu 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**3,944**	**5,796**	**0,399**	**0,723**	**0,602**	**0,973**

Tab. 38: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn + Cu 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	Příčně
Průměrná hodnota [µm]	**4,845**	**3,413**	**0,456**	**0,382**	**0,696**	**0,564**

Hodnoty drsnosti vzorku 3

Byly měřeny hodnoty drsnosti pro vzorky 3, které byly využity pro zkoušku teplotním šokem. Vzorky byly měřeny kolmo ve směru broušení z každé strany vzorku. Byl naměřen orientačně jeden vzorek bez povlaku (viz. příloha č.2 – Vzorek 3), přičemž jedna strana měla parametry drsnosti větší než druhá strana. Parametry drsnosti u prvního vzorku se zinkovým povlakem vyšly na jedné straně větší než na straně druhé (viz. tab. 27 a 28). To samé platí pro první vzorky se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu (viz. tab. 29 a 30) a s disperzními částicemi mědi (viz tab. 31 a 32). Parametry drsnosti vycházely větší pro zinkové povlaky s disperzními částicemi než pro zinkový povlak. Také došlo místy ke spálení vzorku, což ovlivnilo parametry drsnosti, které mají o mnohem větší hodnoty.

Tabulky se všemi naměřenými hodnotami jsou v příloze č. 2 společně s hodnotami pro druhé vzorky s povlaky.

Tab. 39: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**4,120**	**0,656**	**0,765**

Tab. 40: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**4,788**	**0,711**	**0,886**

Tab. 41: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**4,793**	**0,740**	**0,956**

Tab. 42: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**19,854**	**3,613**	**4,394**

Tab. 43: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn + Cu 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**7,028**	**0,949**	**1,238**

Tab. 44: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn + Cu 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Průměrná hodnota [µm]	**8,840**	**1,127**	**1,508**

5.4.3 Ohybová zkouška

Ohybová zkouška byla provedena na kónickém trnu (viz. obr. 25). Zkouška byla provedena na vzorcích 1A pro všechny povlaky. Zkouška slouží ke stanovení roztažnosti povlaku, jeho odolnosti proti popraskání nebo oddělení povlaku od povrchu. Zkouška je provedena dle ČSN EN ISO 2819 (Kovové povlaky na kovových podkladech – Elektrolyticky a chemicky vyloučené povlaky – Přehled metod pro zkoušení přilnavosti).

Obr. 25: Kónický trn

Zkoušený vzorek 1A se upevnil mezi kužel a válec. Byl upevněn co nejblíže ke kraji, kde měl kužel nejmenší průměr. Vzorek byl z jedné strany upevněn mezi dvě desky, které byly šrouby přitaženy k sobě. Vzorek se upevňuje z důvodu, aby nedošlo k jeho uvolnění při ohybu. Po upevnění byl vzorek pomocí válce ohnut o 180°. Na vzorku se vyhodnocuje, zda-li povlak vyhověl nebo nevyhověl. Vzorky po zkoušce ohybem jsou na obr. 26, 27, 28 a jsou vyhodnoceny v tab. 45. Všechny povlaky při zkoušce ohybem vyhověly.

Obr. 26: Vzorek 1A – zinkový povlak

Obr. 27: Vzorek 1A – zinkový povlak s grafitovými částicemi

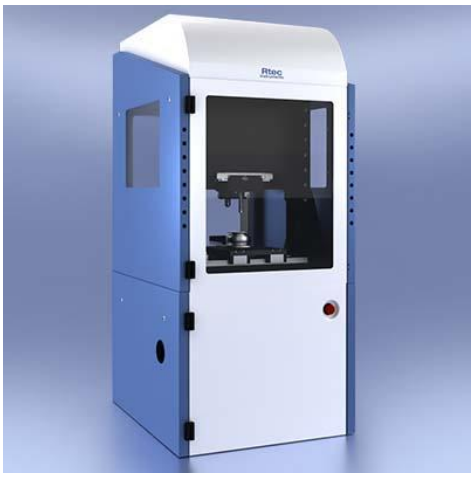
Obr. 28: Vzorek 1A – zinkový povlak s měděnými částicemi

Tab. 45: Výsledky ohybové zkoušky

Vzorek	1A					
Povlak	Zn		Zn + grafit		Zn + Cu	
Vzorek	1	2	1	2	1	2
Výsledek	vyhověl	vyhověl	vyhověl	vyhověl	vyhověl	vyhověl

5.4.4 Tribologické testování

Tribologické testování proběhlo na tribometru MFT-5000 od firmy Rtec instruments (viz. obr. 29). Na přístroji je možné analyzovat tření, opotřebení a mechanické vlastnosti. Pro tribologické měření byly použity vzorky 2 od každého druhu povlaku. Pro každý vzorek od jednoho druhu povlaku byl použit jiný PIN.



Obr. 29: Tribometr MFT-5000 [45]

Tribologické měření bylo provedeno metodou pin-on-plate (lineární vratný pohyb). Zkušebním PINem byla zvolena ocelová kulička a tělísko v podobě válečku. Ocelová kulička byla vyrobena z materiálu ocel 14 109 a průměru 6,35 mm. Váleček byl o délce 19 mm a průměru 6 mm. Parametry tribologické zkoušky jsou popsány v tab. 46.

Tab. 46: Parametry tribologické zkoušky

Parametry	Zatížení [N]	Vzdálenost [mm]	Rychlost [mm/s]	Zrychlení [s]	Čas [min]
Hodnota	5	30	5	0,1	3

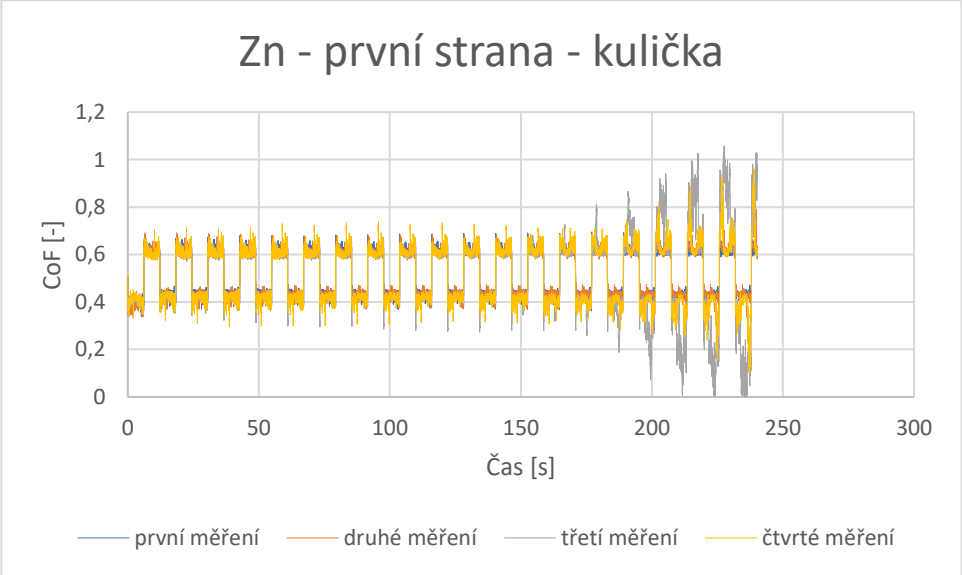
Měření na tribometru probíhalo nejprve upevněním vzorku na posuvný stůl. Po upevnění vzorku byl uchycen speciální přípravek se zkušebním PINem, který byl připevněn pomocí kleštiny na přípravku. Pro správné měření bylo potřeba přípravek vyrovnat do roviny. Po upnutí vzorku a přípravku s PINem následovalo očištění kontaktní ploch, aby se eliminovalo riziko vlivu nečistot na povrchu.

Zinkový povlak

Pro vzorek 2 se zinkovým povlakem bylo provedeno 4 měření z každé strany vzorku. Naměřená data byly z jednotlivých měření zapsána do excel soboru, ze kterého potom byl dopočítán činitel tření (CoF - Coefficient of Friction).

PIN: kulička

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 30) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 47).



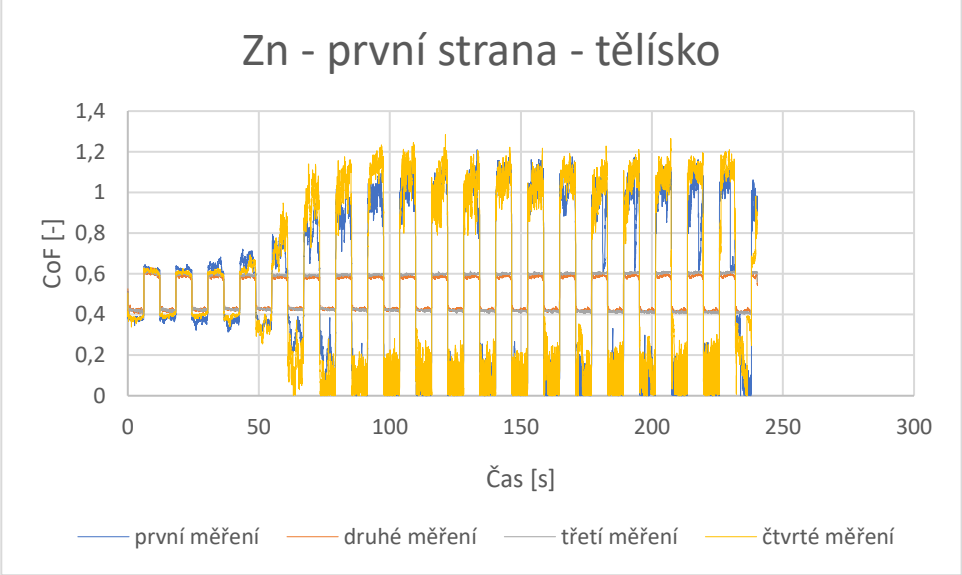
Obr. 30: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: kulička

Tab. 47: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: kulička

Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5207	0,5220	0,5054	0,5135	0,5154

PIN: tělísko

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 31) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 48).



Obr.31: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: tělísko

Tab. 48: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: tělísko

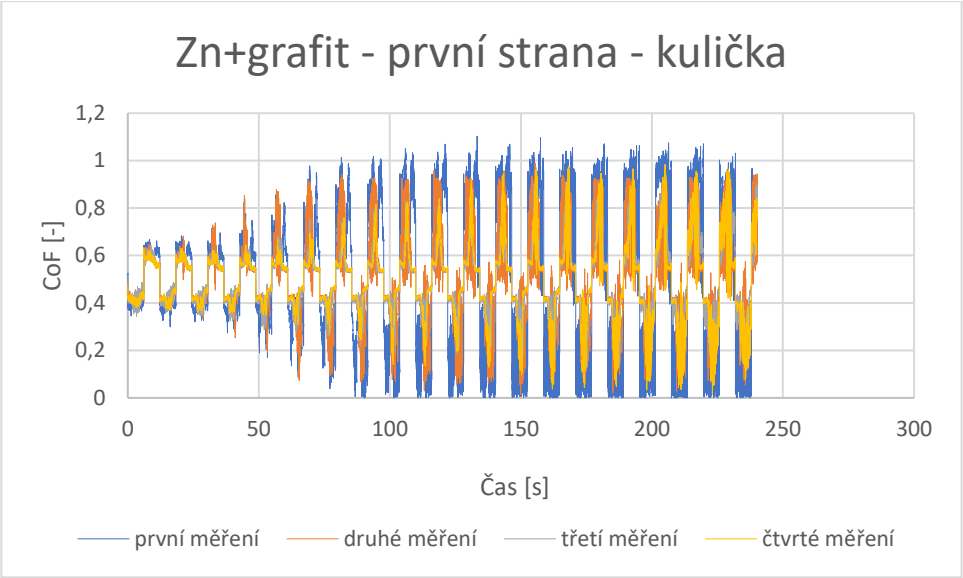
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5213	0,5037	0,5072	0,5479	0,5200

Zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu

Pro vzorek 2 se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu bylo provedeno 4 měření z každé strany vzorku. Naměřená data byly z jednotlivých měření zapsána do excel soboru, ze kterého potom byl dopočítán činitel tření (CoF -Coefficient of Friction).

PIN: kulička

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 32) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 49).



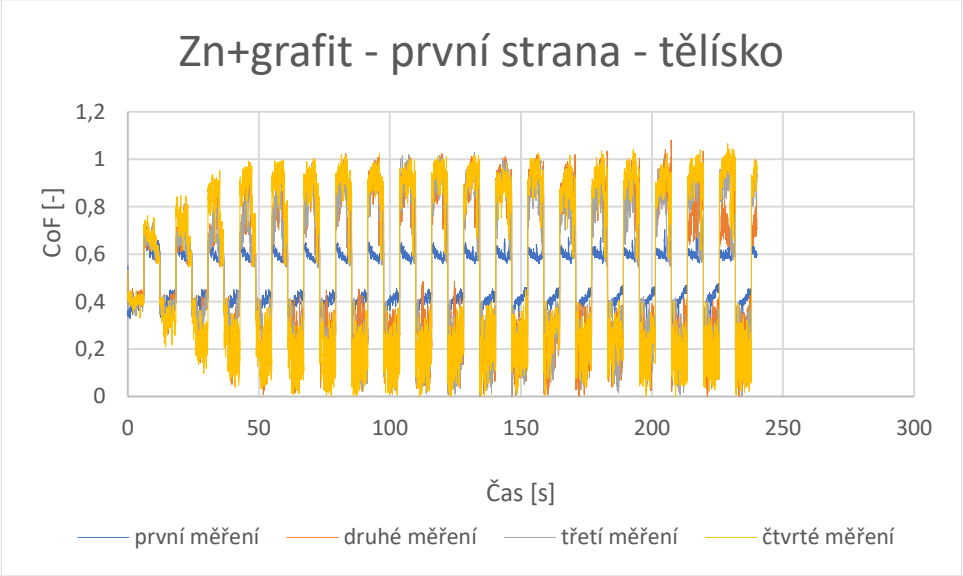
Obr. 32: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: kulička

Tab. 49: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: kulička

Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5002	0,4948	0,4980	0,4923	0,4963

PIN: tělísko

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 33) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 50).



Obr. 33: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: tělísko

Tab. 50: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: tělísko

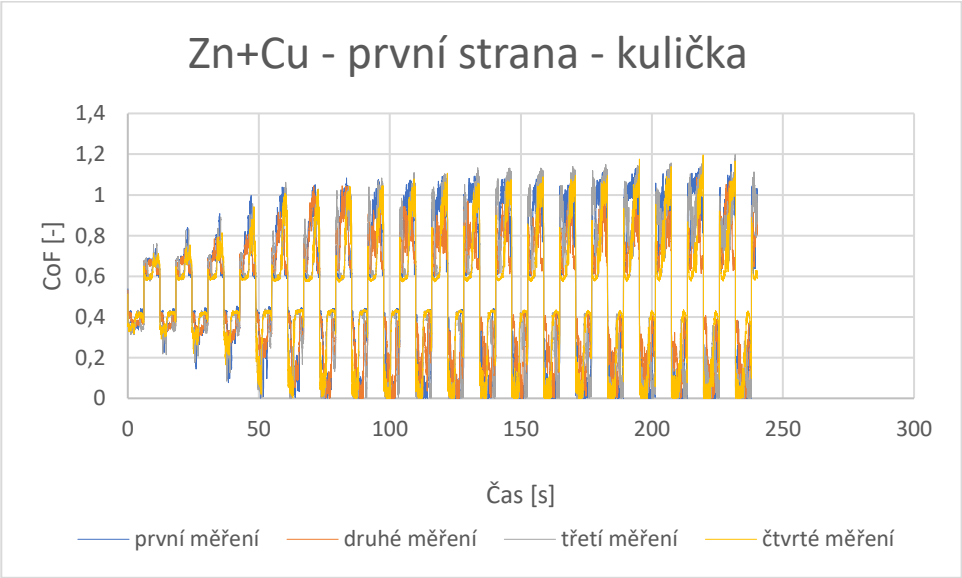
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,4984	0,5302	0,5148	0,5350	0,5196

Zinkový povlak s disperzními částicemi mědi

Pro vzorek 2 se zinkovým povlakem s disperzními částicemi mědi bylo provedeno 4 měření z každé strany vzorku. Naměřená data byly z jednotlivých měření zapsána do excel soboru, ze kterého potom byl dopočítán činitel tření (CoF -Coefficient of Friction).

PIN: kulička

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 34) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 51).



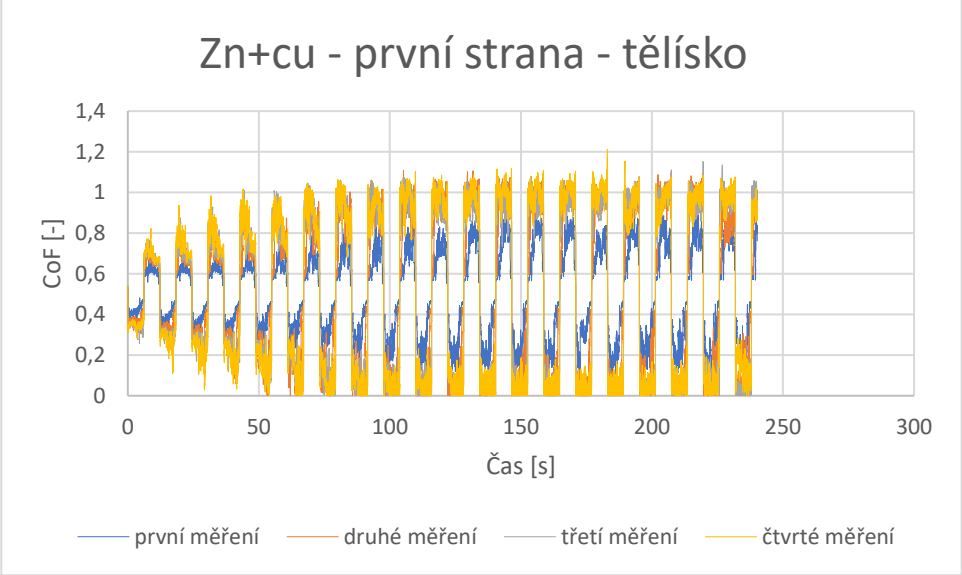
Obr. 34: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: kulička

Tab. 51: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: kulička

Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5110	0,4950	0,5075	0,4968	0,5026

PIN: tělísko

Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu (viz. obr. 35) a byly dopočítány průměrné hodnoty součinitele tření (viz. tab. 52).



Obr. 35: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: tělísko

Tab. 52: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: tělísko

Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,4994	0,4997	0,4948	0,5048	0,4997

5.4.5 Zkouška teplotním šokem

Zkouška teplotním šokem byla provedena v peci ELSA-I-30/120 od firmy ELSA-THERMO. Zkouška byla provedena na vzorcích 3. Od každého povlaku byly zkoušeny dva vzorky, celkem tedy 6 vzorků.

Zkouška slouží ke stanovení rozdílu koeficientu roztažnosti mezi povlakem a základním materiálem. Pokud je koeficient roztažnosti výrazný, dojde k porušení povlaku. Zkouška je provedena dle ČSN EN ISO 2819 (Kovové povlaky nakovových podkladech – Elektrolyticky a chemicky vyloučené povlaky – Přehled metod pro zkoušení přilnavosti).

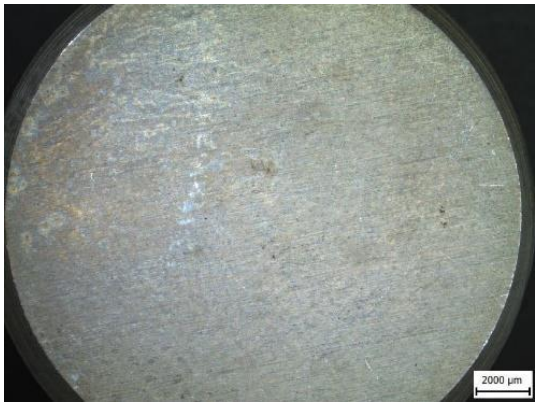
Vzorky byly vloženy do pece na 1 hodinu za teploty 300 °C. Po jedné hodině byly vzorky vytaženy a ihned zchlazeny ve vodě o teplotě 20 °C. Po zchlazení

a osušení vzorků byly povlaky zkoumány na mikroskopu, zda-li nedošlo k porušení povlaku.

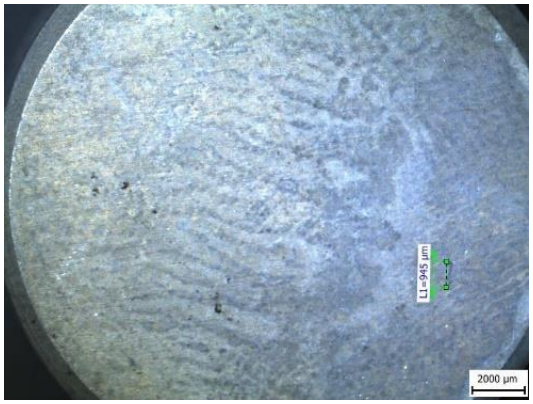
Zinkový povlak

Na obr. 36 a 37 je vyobrazen zinkový povlak před a po zkoušce tepelným šokem. Po tepelném šoku byla vidět trhlina, která je o délce 970 μm (viz. obr. 38). Zinkový vzorek má po zkoušce lehce zoxidovaný povrch.

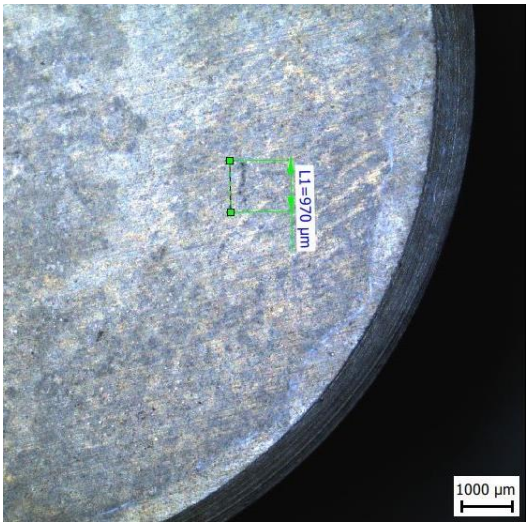
V příloze č. 4 je vyobrazený druhý vzorek. Po tepelném šoku se povlak porušil několika menšími trhlinami. Zinkový vzorek má také místy lehce zoxidovaný povrch.



Obr. 36: Zinkový povlak před teplotním šokem



Obr. 37: Zinkový povlak po teplotním šoku



Obr. 38: Zinkový povlak po teplotním šoku

Zinkový povlak s grafitovými částicemi

Na obr. 39 a 40 je vyobrazen zinkový povlak s grafitovými částicemi před a po zkoušce tepelným šokem. Po tepelném šoku nedošlo k porušení povlaku. Vzorek před tepelným šokem má na povrchu lehký náznak koroze a oxidické vrstvy. Vzorek po tepelném šoku má větší plochu, která vykazuje korozi a oxidickou vrstvu.

V příloze č. 4 je vyobrazený druhý vzorek u kterého nedošlo k porušení povlaku. Vzorek před tepelným šokem má na povrchu lehký náznak koroze. Vzorek po tepelném šoku má lehký náznak koroze a oxidické vrstvy.

Obr. 39: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem

Obr. 40: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku

Zinkový povlak s měděnými částicemi

Na obr. 41 a 42 je vyobrazen zinkový povlak s měděnými částicemi před a po zkoušce tepelným šokem. Vzorek před tepelným šokem má lehký náznak koroze a oxidické vrstvy. Po tepelném šoku se na vzorku více objevila koroze a oxidická vrstva. Na obr. 43 a 44 jsou vyznačená místa koroze, kdy se rozsah koroze pohyboval i k 2 568 µm.

V příloze č. 4 je vyobrazený druhý vzorek. Při čemž vzorek po tepelné zkoušce vykazoval lehce zoxidovaný povrch.

Obr. 41: Zinkový povlak s měděnými částicemi před teplotním šokem

Obr. 42: Zinkový povlak s měděnými po teplotním šoku

Obr. 43: Zinkový povlak s měděnými po teplotním šoku

Obr. 44: Zinkový povlak s měděnými po teplotním šoku

5.4.6 Zkouška v solné mlze

Zkouška v solné mlze byla provedena v komoře Liebisch S 400 M-TR (viz. obr. 45). Zkouška byla provedena na vzorcích 1B. Od každého povlaku byly zkoušeny dva vzorky, celkem tedy 6 vzorků. Vzorky byly kontrolovány po dané době (viz. tab. 53) dle normy ČSN EN ISO 9227. Při čemž se přidaly 4 kontroly navíc a to po 144, 198, 336 a 414 hodinách. Během zkoušky byly vzorky kontinuálně vystaveny solné mlze, která je tvořena chloridem sodným o koncentraci 5 hm.%. Teplota v komoře je 35 ± 2 °C a pH je 6,5 – 7,2.

Obr. 45: Komora Liebisch S 400 M-TR [46]

Tab. 53: Časová doba kontroly vzorků

Kontrola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Čas [h]	2	4	6	24	48	72	96	144	168	198	240	336	414	480

Všechny vzorky 1B byly vyhodnoceny po uplynutí 480 hodin dle normy ČSN EN ISO 10289 (Metody korozních zkoušek kovových a jiných anorganických povlaků na kovových podkladech – Hodnocení vzorků a výrobků p odrobených korozním zkouškám). Vyhodnocení se provádělo vizuální kontrolou a následně se vzorky porovnávaly s obrázkovou dokumentací v normě. Vzorky se porovnávaly s přílohou B v normě, která obsahuje obrázkové standardy pro anodické povlaky vůči kovovému podkladu.

Vyhodnocoval se parametr stupně ochrany R_p, který se dopočítává dle vztahu:

$$R_p = 3 \cdot (2 - \log_{10} \cdot A) \qquad (4)$$

R_p – stupeň ochrany

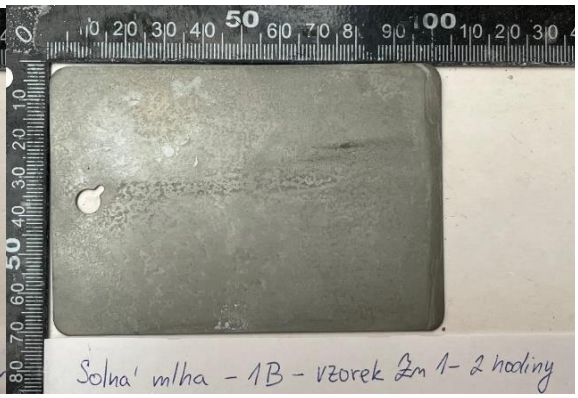
A – procentuální podíl celkové plochy, která vykazuje korozi podkladového kovu

Zinkový povlak

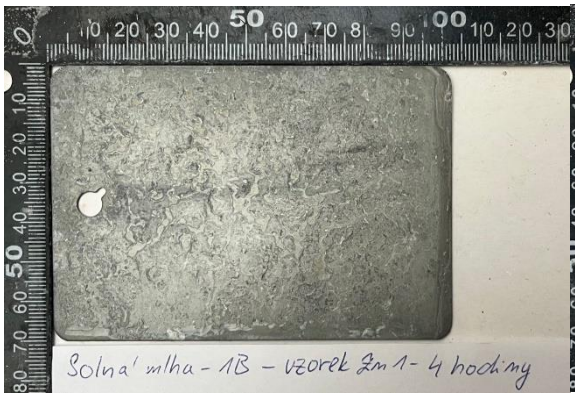
Na obr. 46 je vyobrazen povlak před zkouškou v solné mlze. Po 2 hodinách na obr. 47 nedošlo zatím k oxidaci. Po 4 hodinách na obr. 48 je vyobrazen první náznak pasivační vrstvy a po 6 hodinách na obr. 49 se pasivační vrstva projevila více. Na obr. 50 až 60 se pasivační vrstva se s narůstajícím časem zvětšovala. Po 480 hodinách plocha nevykazovala žádnou červenou korozi. Plocha vad byla A=0% a stupeň ochrany byl R_p=10.

V příloze č. 5 je vyobrazen druhý vzorek zinkového povlaku. Průběh zkoušky v solné mlze byl obdobný prvnímu vzorku.

Obr. 46: Zinkový povlak – 0 hodin

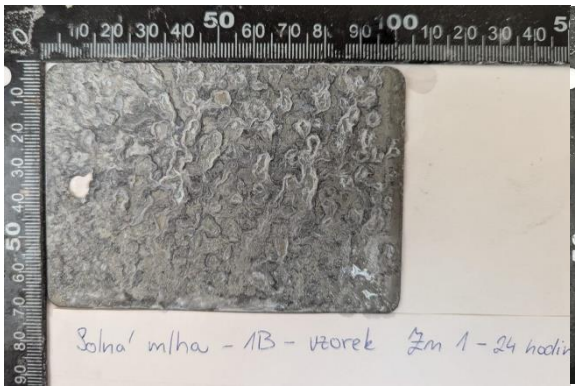


Obr. 47: Zinkový povlak – 2 hodin



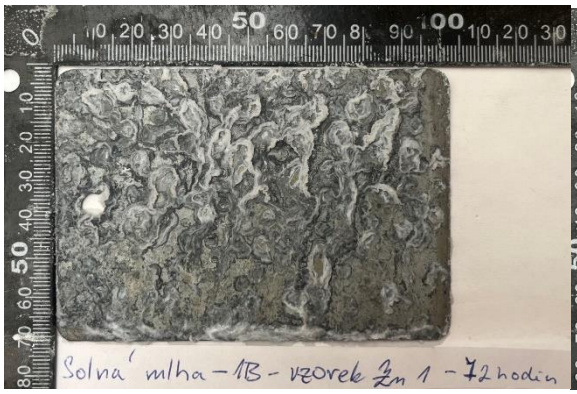
Obr. 48: Zinkový povlak – 4 hodin

Obr. 49: Zinkový povlak – 6 hodin

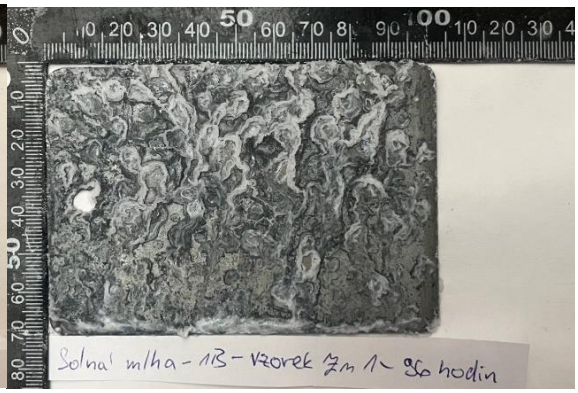


Obr. 50: Zinkový povlak – 24 hodin

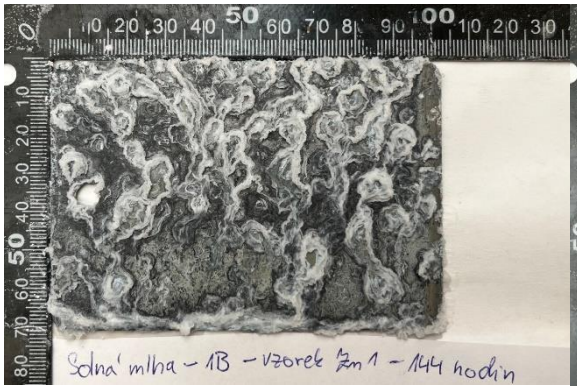
Obr. 51: Zinkový povlak – 48 hodin



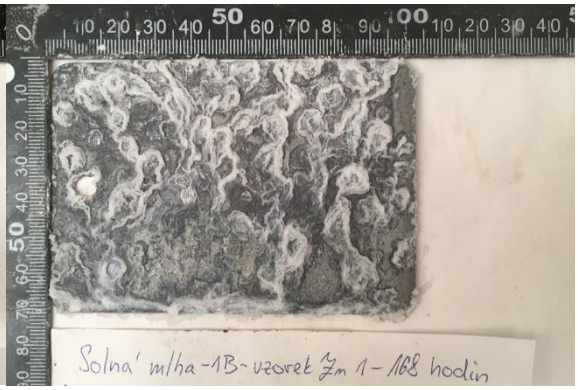
Obr. 52: Zinkový povlak – 72 hodin



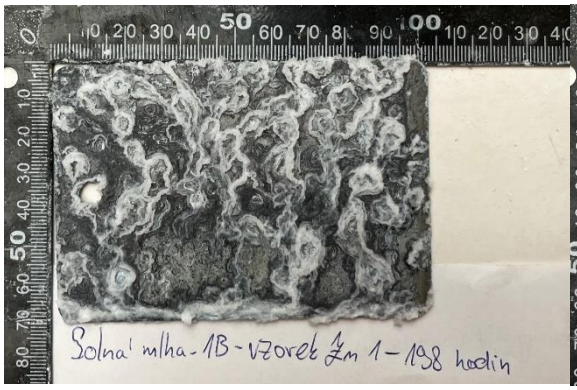
Obr. 53: Zinkový povlak – 96 hodin



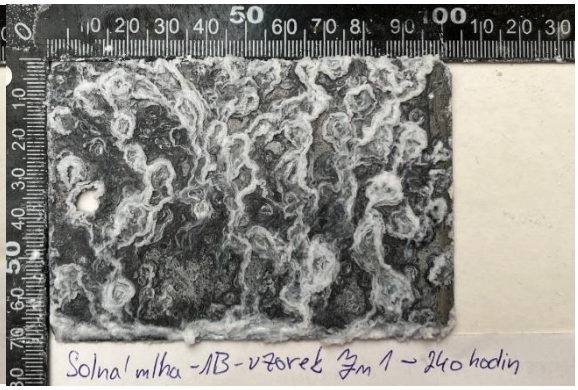
Obr. 54: Zinkový povlak – 144 hodin



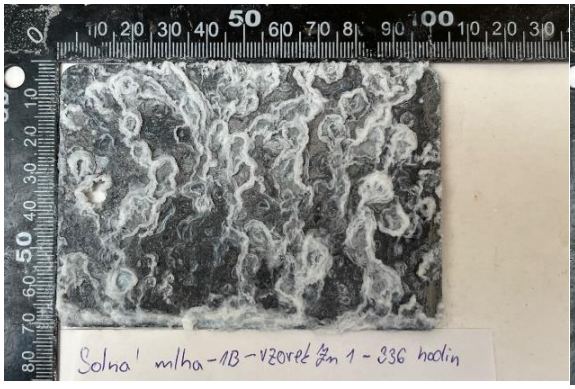
Obr. 55: Zinkový povlak – 168 hodin



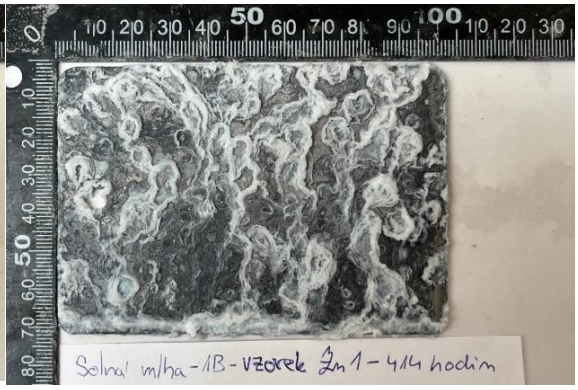
Obr. 56: Zinkový povlak – 198 hodin



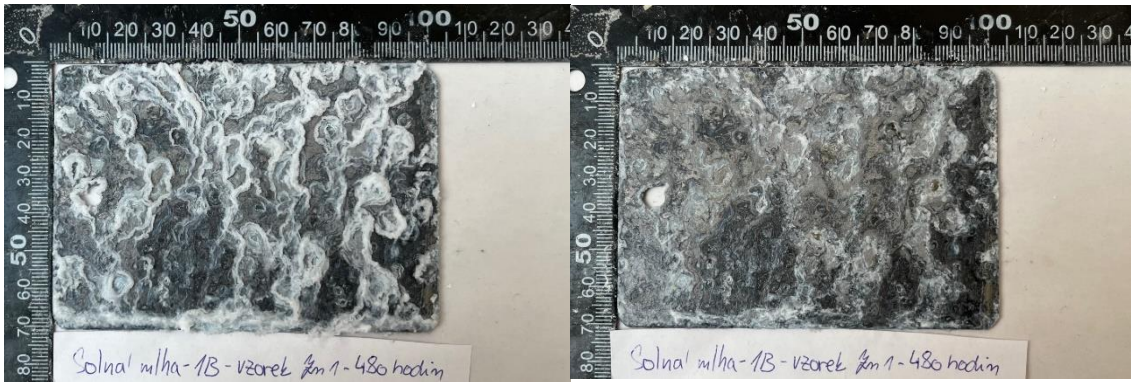
Obr. 57: Zinkový povlak – 240 hodin



Obr. 58: Zinkový povlak – 336 hodin



Obr. 59: Zinkový povlak – 414 hodin



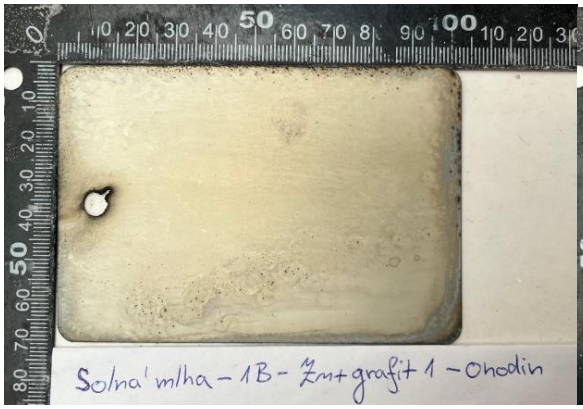
Obr. 60: Zinkový povlak – 480 hodin

(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)

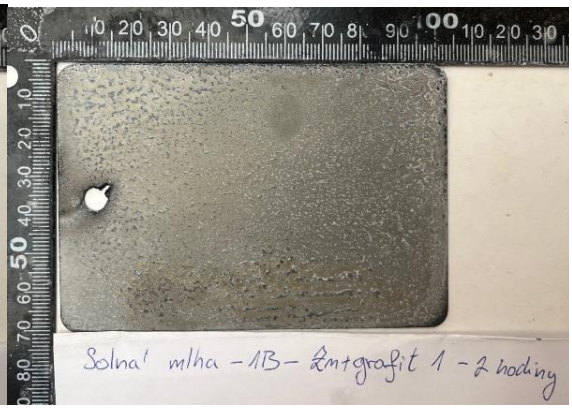
Zinkový povlak s grafitovými částicemi

Na obr. 61 je vyobrazen vzorek před zkouškou v solné mlze. Po 2 hodinách na obr. 62 je vyobrazen lehký náznak pasivační vrstvy. Na obr. 62 a 63 se vytvořila mírná mapovitá pasivační vrstva. Po 24 hodinách až 198 hodinách na obr. 65 až 71 se pasivační vrstva se s narůstajícím časem zvětšovala. Po 240 hodinách na obr. 72 se objevil nevýrazný první náznak koroze. Na obr. 73 až 75 se koroze minimálně zvětšovala. Po 480 hodinách plocha vykazovala minimální červenou korozi. Plocha vad byla A=0,5 % a stupeň ochrany byl R_p=7.

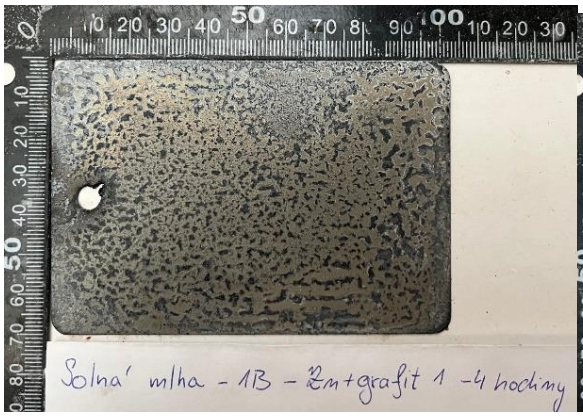
V příloze č. 5 je vyobrazen druhý vzorek zinkového povlaku s grafitovými částicemi. Průběh zkoušky v solné mlze byl obdobný prvnímu vzorku do doby 240 hodin. Následně se koroze zvětšovala. Po 480 hodinách plocha vykazovala minimální červenou korozi. Plocha vad byla A=25 % a stupeň ochrany byl R_p=2.



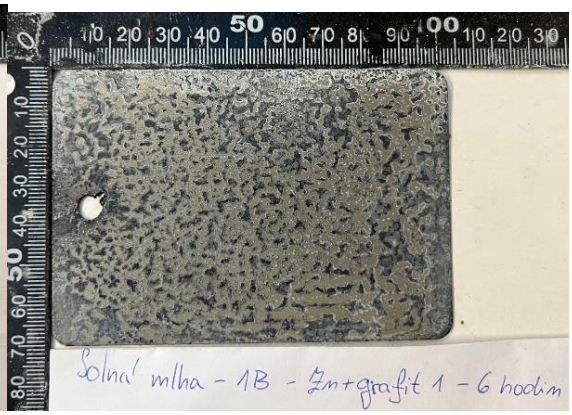
Obr. 61: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 0 hodin



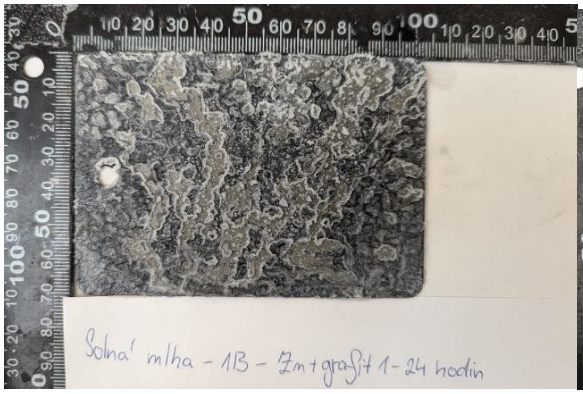
Obr. 62: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 2 hodin



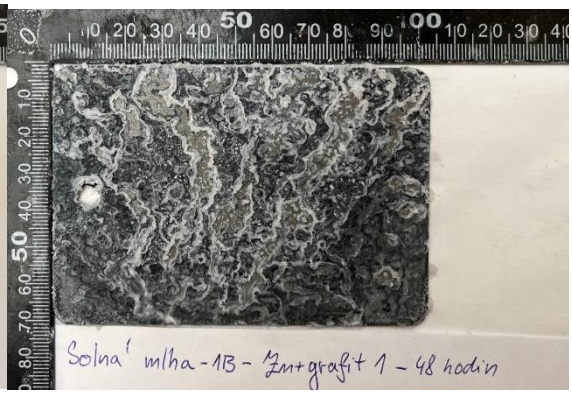
Obr. 63: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 4 hodin



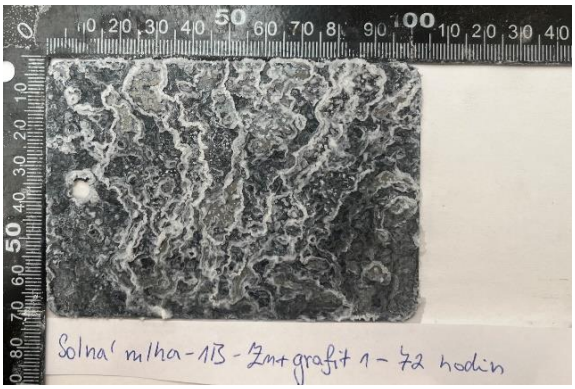
Obr. 64: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 6 hodin



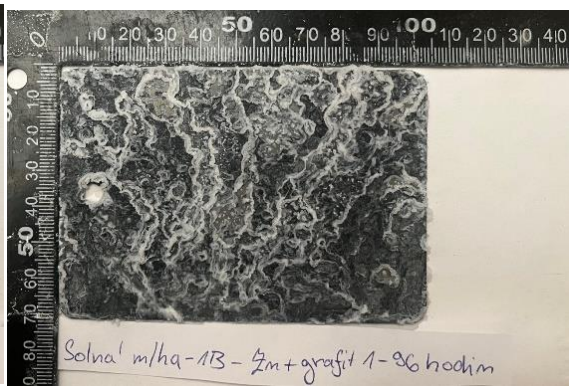
Obr. 65: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 24 hodin



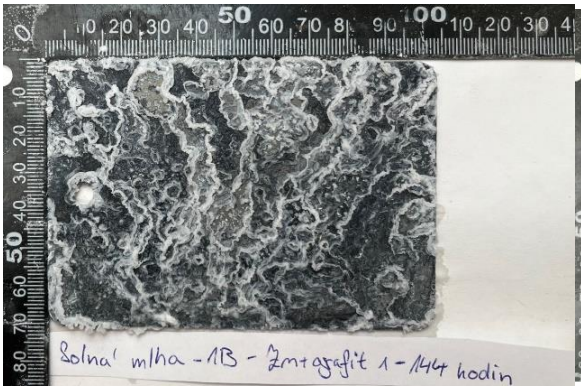
Obr. 66: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 48 hodin



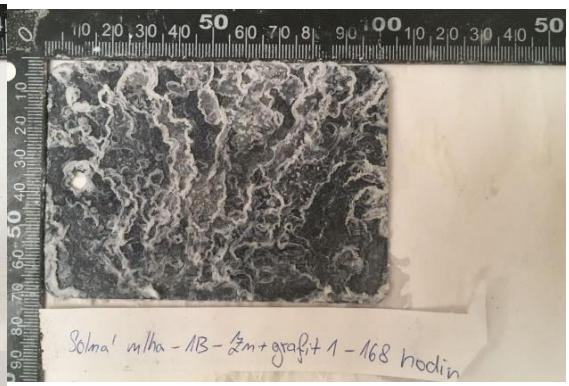
Obr. 67: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 72 hodin



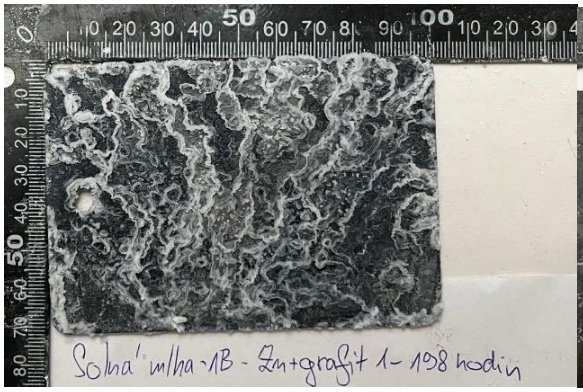
Obr. 68: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 96 hodin



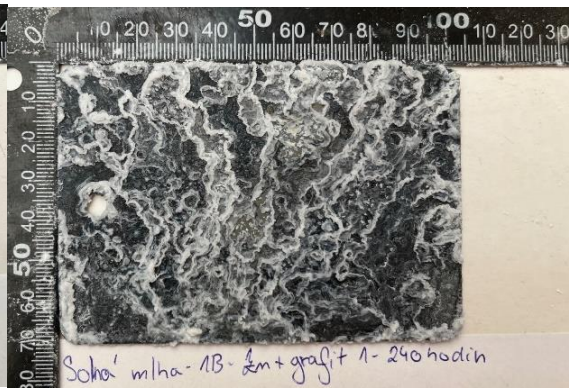
Obr. 69: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 144 hodin



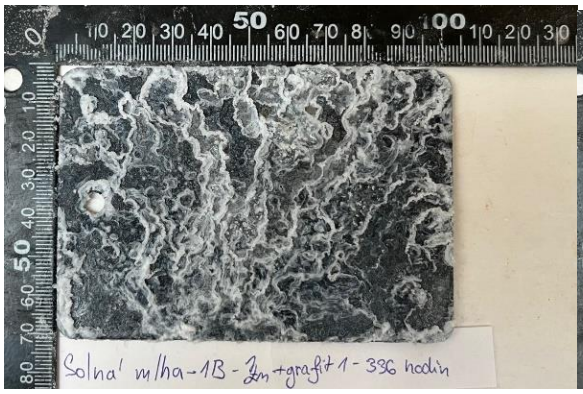
Obr. 70: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 168 hodin



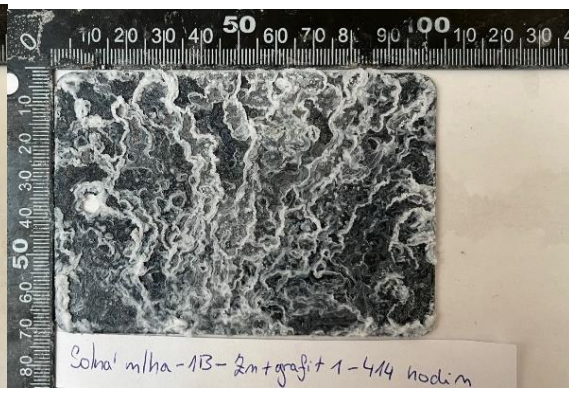
Obr. 71: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 198 hodin



Obr. 72: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 240 hodin



Obr. 73: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 336 hodin



Obr. 74: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 414 hodin

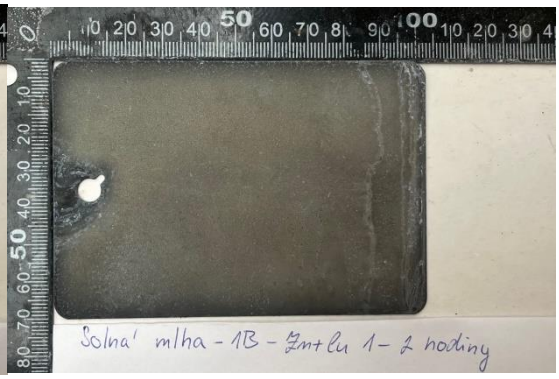
Obr. 75: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 480 hodin
(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)

Zinkový povlak s měděnými částicemi

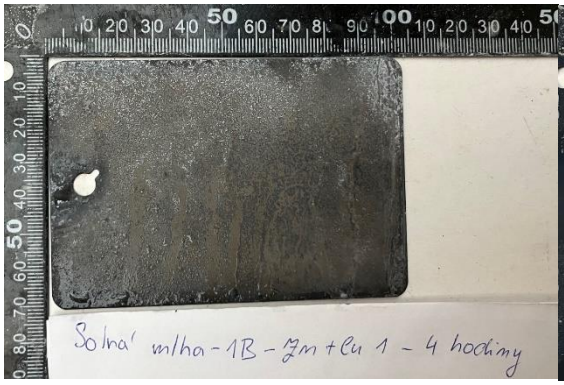
Na obr. 76 je vyobrazen povlak před zkouškou v solné mlze. Po 2 hodinách na obr. 77 nedošlo zatím k oxidaci. Po 4 hodinách na obr. 78 je vyobrazen první náznak pasivační vrstvy a po 6 hodinách na obr. 79 se pasivační vrstva projevila více. Na obr. 80 až 88 se pasivační vrstva se s narůstajícím časem zvětšovala. Na obr. 89 až 90 je vidět vznik červené koroze. Po 480 hodinách plocha vykazovala červenou korozi. Plocha vad byla A=2,5 % a stupeň ochrany byl R_p=5.

V příloze č. 5 je vyobrazený druhý vzorek zinkového povlaku s měděnými částicemi. Průběh zkoušky v solné mlze byl obdobný prvnímu vzorku do 414 hodin. Po této době se neprojevila koroze, tak jako u prvního vzorku. Po 480 hodinách plocha nevykazovala červenou korozi. Plocha vad byla A=0 % a stupeň ochrany byl R_p=10.

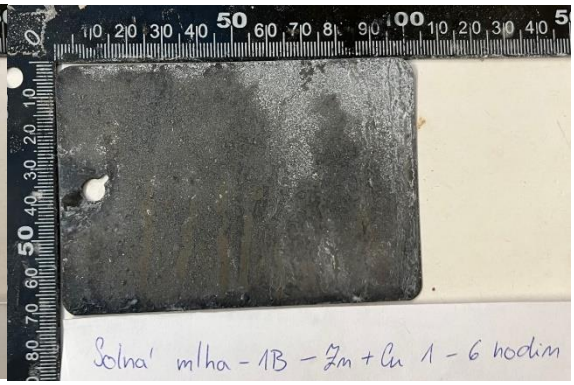
Obr. 76: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 0 hodin



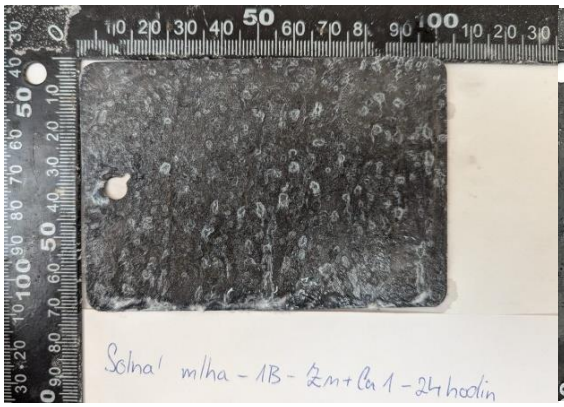
Obr. 77: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 2 hodin



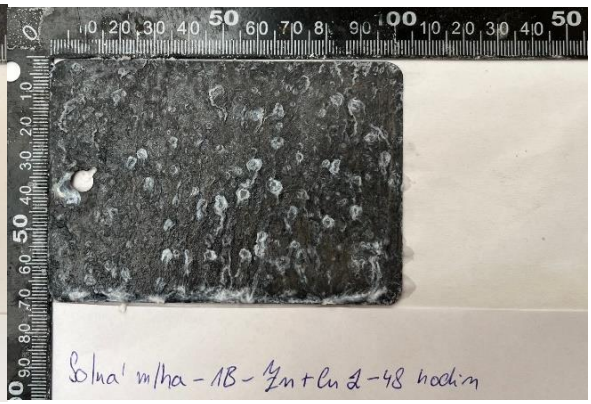
Obr. 78: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 4 hodin



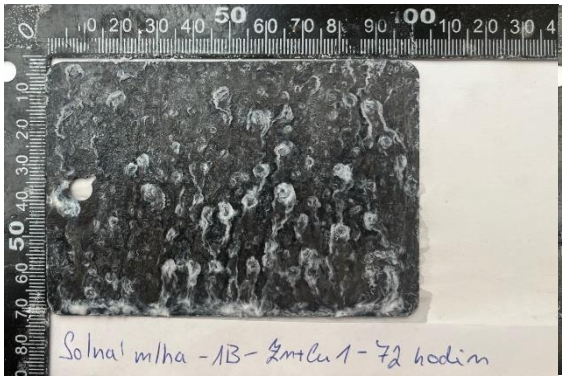
Obr. 79: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 6 hodin



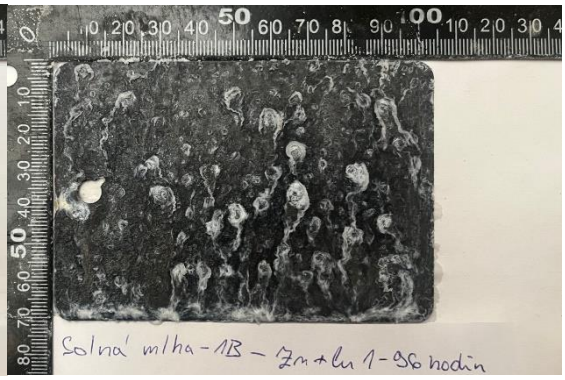
Obr. 80: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 24 hodin



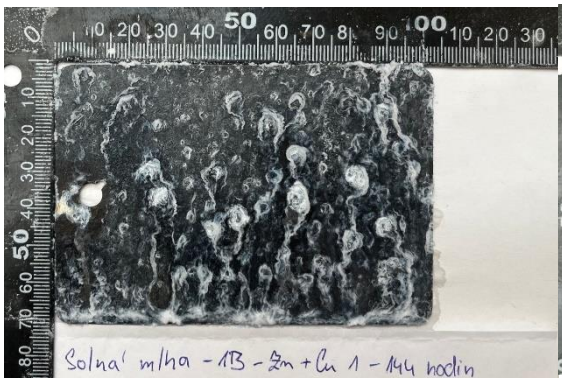
Obr. 81: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 48 hodin



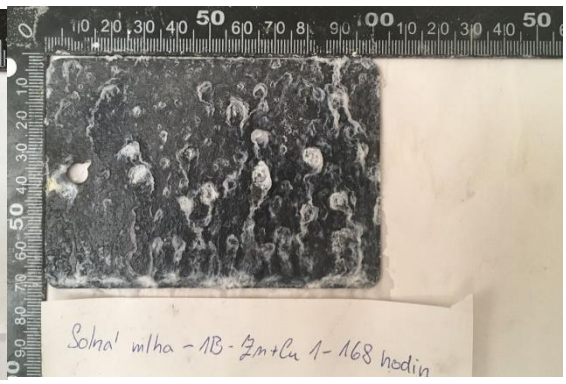
Obr. 82: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 72 hodin



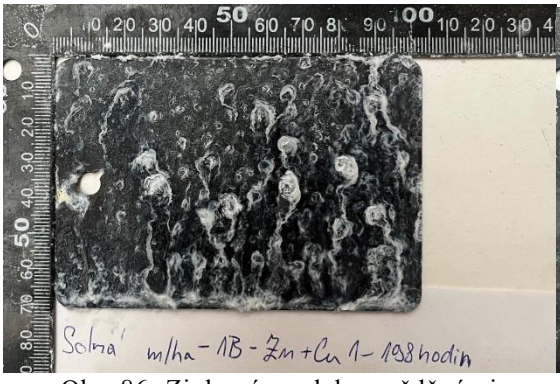
Obr. 83: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 96 hodin



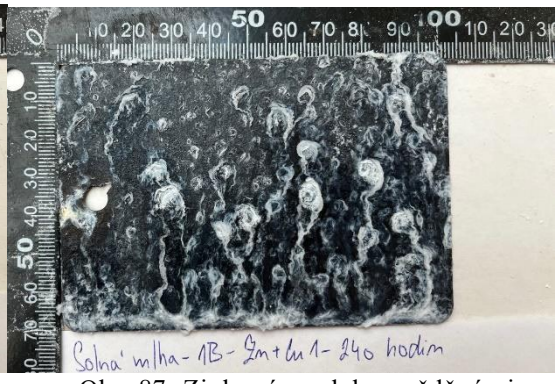
Obr. 84: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 144 hodin



Obr. 85: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 168 hodin

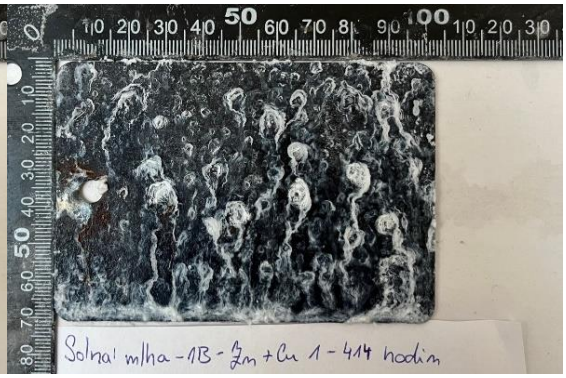


Obr. 86: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 198 hodin

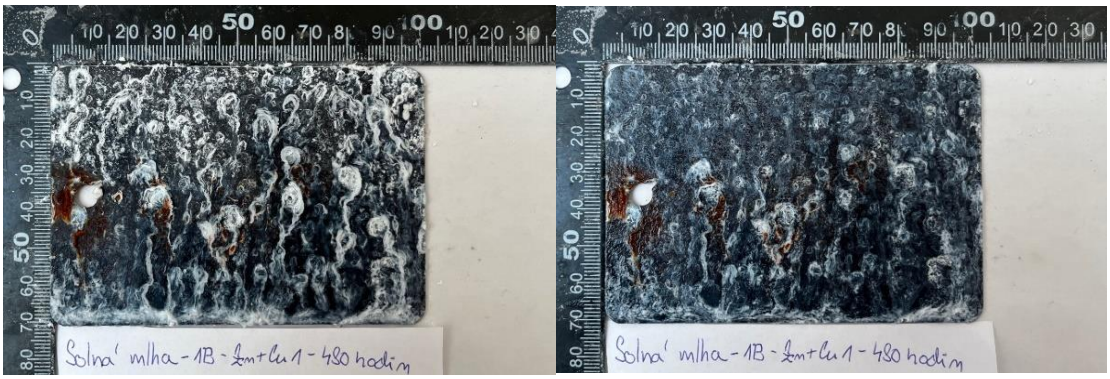


Obr. 87: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 240 hodin

Obr. 88: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 336 hodin



Obr. 89: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 414 hodin



Obr. 90: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 480 hodin

(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)

6 Diskuse výsledků

Na vzorcích 1A, 1B, 2 a 3 byly vyloučeny zinkové povlaky bez disperzních částic a zinkové povlaky s disperzními částicemi grafitu a nebo mědi. Všechny povlaky byly vyloučeny za stejných podmínek, které umožňují vlastnosti povlaků vzájemně vůči sobě zhodnotit. Hodnocena je tloušťka povlaků, drsnost povlaků, přilnavost povlaku při zkoušce ohybem a teplotním šokem, vyhodnocení činitele tření zjištěného při tribologickém zkoušení.

6.1 Měření tloušťky

Měření tloušťky bylo provedeno nedestruktivním měřením na tloušťkoměru, který funguje na principu magneticko-indukční metody. Nanesená tloušťka povlaku ovlivňuje kvalitu životnosti základního materiálu.

Naměřené tloušťky zinkových povlaků pro vzorek 1A, 2 a 3 byly nejmenší. Zinkové povlaky s disperzníma částicemi dosahovaly větších tlouštěk. U vzorků 1B byla naměřená tloušťka povlaků větší a s nevýrazným rozdílem jako u ostatních vzorků. Nanesená tloušťka je větší z důvodu doby pokovování, která byla 30 minut.

Na vzorcích byla na jedné straně větší tloušťka než druhá. To je způsobené vzdáleností vzorku (katody) od anod. Pokud jedna strana vzorku byla blíže k jedné anodě, tak došlo k nanesení větší tloušťky povlaku a naopak.

6.2 Měření drsnosti

Měření drsnosti bylo provedeno nedestruktivním měřením na drsnoměru. Měřily se parametry drsnosti Rz – hloubka drsnosti, Ra – střední aritmetická hodnota drsnosti a Rq – průměrná kvadratická hodnota drsnosti.

Velikost parametrů drsnosti je ovlivněna samotnou předúpravou vzorku, jelikož galvanické povlaky kopírují povrch součásti.

Měření drsnosti bylo zásadní pro tribologické měření a zkoušku v solné mlze. Při tribologickém drsnost ovlivňuje výsledek měření. Pro zkoušku v solné mlze se volí vystavená strana vzorku s nejmenší drsností.

Drsnosti vyšly větší pro zinkové povlaky s disperzními částicemi grafitu a mědi než pro zinkové povlaky. To může být způsobené zabudovanými částicemi grafitu a mědi.

6.3 Zkouška ohybem

Zkouška ohybem byla provedena destruktivním zkoušením ohybem na kónickém trnu. Zkouška proběhla dle normy ČSN EN ISO 2819 a proběhla na vzorcích 1A. Po provedení zkoušky byl vzorky 1A vizuálně kontrolovány, zdali nedošlo k porušení povlaku či k jiné degradaci povlaku. Na základě toho se povlak vyhodnotil jako vyhověl nebo nevyhověl.

Zkoušené vzorky 1A vydržely ohyb a vizuálně nebyly porušeny. Vzorky s povlakem byly vyhodnoceny jako vyhovující.

6.4 Tribologické testování

Tribologické testování bylo provedeno destruktivním zkoušením na tribometru. Měření proběhlo na vzorcích 2 pomocí metody pin-on-plate (lineární vratný pohyb). Vyhodnocoval se činitel tření pro jednotlivé povlaky, a to dvěma PINy (kulička, tělísko).

Činitel tření vyšel velmi podobně pro zinkový povlak bez disperzních částic a s disperzními částicemi. To může být způsobeno množstvím zabudovaných částic grafitu nebo mědi v povlaku. Pro další měření, a pro lepší zjištění tribologických vlastností vytvořených kompozitních povlaků, bude lepší, pro další výzkum, zamíchat vyšší koncentraci disperzních částic do lázně.

6.5 Zkouška teplotním šokem

Zkoušení probíhalo na vzorcích 3 od každého povlaku 2 vzorky. Vyhodnocovalo se porušení povlaku v závislosti na rozdílech teplotní roztažnosti mezi základním materiálem a povlakem.

U obou vzorků se zinkovým povlakem došlo k narušení povlaku. U prvního vzorku vznikla delší trhlinka o délce 970 μm. U druhého vzorku vzniklo několik menších trhlinek. U obou vzorků byl lehce zoxidovaný povrch.

U obou vzorků se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu nedošlo k poškození povlaku. Došlo na vzorcích k zoxidování povrchu a náznak lehké koroze.

U obou vzorků se zinkovým povlakem s disperzními částicemi mědi nedošlo k poškození povlaku. Došlo na vzorcích k zoxidování povrchu a náznak lehké koroze.

6.6 Zkouška v solné mlze

. Zkoušení probíhalo na vzorcích 1B od každého povlaku 2 vzorky. Vyhodnocovalo se vznik červené koroze a vyhodnocovala se procentuálně napadená plocha. Následně byl dopočítán stupeň ochrany R_p.

Vzorky se zinkovým povlakem vykazují R_p=10. Vzorky se zinkovým povlakem s disperzními částicemi grafitu vykazují napadení červenou korozí. Jeden vzorek měl R_p=7 a druhý vzorek měl R_p=2. Jeden vzorek se zinkovým povlakem s disperzními částicemi mědi vykazuje napadení červenou korozí a R_p=5. Druhý vzorek se zinkovým povlakem s disperzními částicemi mědi nevykazuje napadení červenou korozí a R_p=10.

Nejmenší korozní odolnost vykazuje zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu. Jeden vzorek se zinkový povlakem s disperzními částicemi mědi vykazoval červenou korozi, to může být způsobeno procentuálním zastoupením částic v daném povlaku. Pro lepší zjištění korozních vlastností vytvořených kompozitních povlaků, bude lepší, pro další výzkum, zamíchat vyšší koncentraci disperzních částic do lázně.

Závěr

Cílem této práce bylo sepsání literární rešerše v oblasti galvanického zinkování, kompozitních a slitinových povlaků na bázi zinku. Na základě poznatků z literární rešerše byly provedeny zkoušky pro zhodnocení vlastností galvanických kompozitních povlaků na bázi zinku a tyto povlaky byly porovnávány s galvanickým zinkovým povlakem bez disperzních částic. Výsledky zkoušky byly vyhodnoceny a porovnány.

Z měření tloušťky a drsnosti vyplývá, že povlaky s disperzními částicemi měly vyšší hodnoty. To může být způsobené zabudovanými disperzními částicemi v povlaku.

Zkoušce ohybem vyhověly všechny typy povlaků. Ovšem při zkoušce teplotním šokem zinkový povlak vykazoval trhlinky. Také došlo k mírnému zoxidování povlaků během zkoušky.

Při tribologickém měření nedošlo k výrazné změně činitele tření mezi druhy povlaků. To může být způsobené množstvím zabudovaných částic v povlaku. Pro další měření, a pro lepší zjištění tribologických vlastností vytvořených kompozitních povlaků, bude lepší, pro další výzkum, zamíchat vyšší koncentraci disperzních částic do lázně Při zkoušce v solné mlze nejvíce vykazoval červenou korozi zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu. Samotný zinkový povlak nevykazoval žádnou červenou korozi. U zinkového povlaku s disperzními částicemi mědi došlo na jednom vzorku k výskytu červené koroze a na druhém vzorku nedošlo k žádnému vzniku červené koroze. To může být způsobeno množstvím částic v povlaku nebo výraznými nerovnostmi na povrchu povlaku.

Pro lepší zjištění korozních vlastností vytvořených kompozitních povlaků, bude lepší, pro další výzkum, zamíchat vyšší koncentraci disperzních částic do lázně.

Zdroje

[1] KREIBICH, V., HOCH, K. *Koroze a technologie povrchových úprav*. Praha: ČVUT Praha, 1991, 270 s.

[2] KRAUS, V. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2668-1.

[3] ASM International Handbook Committee. *ASM Handbook, Volume 05: Surface Engineering*. ASM International, 1994. ISBN 978-0-87170-384-2.

[4] GANESAN, S., PRABHU, G., POPOV, B. Electrodeposition and characterization of Zn-Mn coatings for corrosion protection. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2014, roč. 238, s. 143-151. [cit. 2023-12-03]. ISSN 02578972. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.10.062.

[5] *Universal metal finishing handbook* [online]. New York: Metal finishing magazine, 2013. [cit. 2023-12-18]. ISSN 0026-0576.

[6] BENEŠOVÁ, D., KREIBICH, V. Kompozitní galvanické povlaky – vlastnosti povlaků. *Povrcháři* [online]. 2015 (7) [cit. 2023-12-21] ISSN 1802-9833. http://www.povrchari.cz/kestazeni/201507_povrchari.pdf

[7] SCHLESINGER, M., PAUNOVIC, M. *Modern electroplating 5rd ed*. [online]. New York: John Wiley, 2010. [cit. 2024-01-06]. ISBN 978-0-470-16778-6.

[8] ELIAZ, N.; VENKATAKRISHNA, K., HEGDE, A. Chitharanjan. Electroplating and characterization of Zn–Ni, Zn–Co and Zn–Ni–Co alloys. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2010, roč. 205, č. 7, s. 1969-1978. [cit. 2024-01-13]. ISSN 02578972. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.08.077.

[9] PAZDEROV, M., BRADAC, M., VALES, M. Tribological Behaviour of Composite Coatings. *Procedia Engineering*. [online]. 2011, roč. 10, č. 7, s. 472-477. [cit. 2024-01-15]. ISSN 18777058. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.080.

[10] DRAŠNAR, P. *Composite coatings with electroplated Zn matrix* [online]. [cit. 2024-01-17]. Dostupné z: https://stc.fs.cvut.cz/pdf/DrasnarPetr-305030.pdf.

[11] *Technologie povrchových úprav* [online]. Zengrovka, 2020. [cit. 2024-01-23]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/Technologie _povrchovych_uprav_VEC.pdf.

[12] BENEŠOVÁ, D.; KREIBICH, V., KUDLÁČEK, J. *Kompozitní povlaky jako možná náhrada za povlaky na bázi CrIV* [online]. 2017. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/kompozitni-povlaky-jako-mozna-nahrada-za-povlaky-na-bazi-criv.

[13] ADAMIŠ, P; MOHYLA, M. *Vlastnosti kompozitních povlaků s katodicky vylučovanou matricí* [online] Ostrava-Poruba, 2015, s. 8-10. [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: http://konference.tanger.cz/data/metal2000/sbornik/papers/653.pdf

[14] LOW, C.T.J., WILLS, R.G.A., WALSH, F.C. Electrodeposition of composite coatings containing nanoparticles in a metal deposit. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2006, roč. 201, s. 371-383. [cit. 2024-03-11]. ISSN 02578972. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.11.123.

[15] WALSH, F., WANG, S., ZHOU, N. The electrodeposition of composite coatings: Diversity, applications and challenges. *Current Opinion in Electrochemistry* [online]. 2020, roč. 20, s. 8-19. [cit. 2024-03-12]. ISSN 24519103. [cit. 2024-03-12]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.coelec.2020.01.011.

[16] TSELUIKIN, V., DZHUMIEVA, A., TRIBIS, A., TIKHONOV, D., TSYGANOV, A. *Study of Electrodeposition and Properties of Composite Nickel Coatings Modified with Ti3C2TX MXene* [online]. 2023, roč. 13, č. 6. [cit. 2024-03-24]. ISSN 2079-6412. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/coatings13061042.

[17] KRISTOFORY, F., MOHYLA, M., KANIA, P., VÍTEK, J. *Elektrolyticky vylučované kompozitní povlaky (ECC) jako povrchová ochrana odolná proti opotřebení ve strojírenství*. Hradec nad Moravicí: METAL, 14.-16.5.2002.

[18] ANWAR, S., KHAN, F., ZHANG, Y., CAINES, S. *Zn composite corrosion resistance coatings: What works and what does not work?* [online]. 2021, roč. 69. [cit. 2024-03-27]. ISSN 09504230. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104376.

[19] SZELAG, P. *Příprava povrchu před technologiemi povrchových úprav*. Praha: ASOCIACE KOROZNÍCH INŽENÝRŮ, Kurz Korozní inženýr. 19.9.2022.

[20] SZELAG, P. *Odmašťování*. Praha: ASOCIACE KOROZNÍCH INŽENÝRŮ, Kurz Korozní inženýr. 19.9.2022.

[21] SZELAG, P. *Moření*. Praha: ASOCIACE KOROZNÍCH INŽENÝRŮ, Kurz Korozní inženýr. 19.9.2022.

[22] Galvanovna Omega. *Pokovení* [online]. [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html.

[23] MOHYLA, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-953-0.

[24] UNIVERZITA PARDUBICE. *11 PŘEDÚPRAVA POVRCHU* [online]. 2023 [cit. 2024-04-06]. Dostupné z: https://fcht.upce.cz/sites/default/files/public/luva3059/mater-vstrojar-vyrobe.pdf.

[25] TSELUIKIN, V. N. Composite electrochemical coatings: Preparation, structure, properties. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* [online] 2009, roč. 45, č. 3, s. 312-326. [cit. 2024-04-11]. ISSN 2070-2051. Dostupné z: https://doi.org/10.1134/S2070205109030083.

[26] LEKKA, M. Electrochemical Deposition of Composite Coatings. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry* [online] 2018, s. 54-67. [cit. 2024-04-26]. ISBN 9780128098943. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11716-0.

[27] SANKARA NARAYANAN, T. S. N., SESHADRI, S. K. *Encyclopedia of Tribology*. Boston: Springer, 2013

[28] WALSH, F.C., LARSON, C. *Towards improved electroplating of metal-particle composite coatings* [online]. 2020, roč. 98, č. 6, s. 288-299. [cit. 2024-04-27]. ISSN 0020-2967. Dostupné z: https://doi.org/10.1080/00202967.2020.1819022.

[29] JACKSON, R. P. *Engineering Tribology*. PDH Center, 2022.

[30] HALLING, J. *Principles of Tribology*. London and Basingstoke: THE MACMILLAN PRESS, 1975. ISBN 978-0-333-24686-3.

[31] ASM International Handbook Committee.: *ASM Handbook, volume 18 - Friction, Lubrication and Wear Technology*. ASM International, 1992. ISBN 0-87170-380-7

[32] BHUSHAN, B. *Introduction to tribology*. New York: Wiley, 2002. ISBN 04-711-5893-3.

[33] WANG, X., YANG, H.; YU, X., HU, Ch., HU, J. et al. Functional metal powders: Design, properties, applications, and prospects. *Materials Science and*

Engineering [online] 2022, roč. 280. [cit. 2024-06-06]. ISSN 09215107. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.mseb.2022.115708.

[34] NEIKOV, 0. D., NABOYCHENKO, S. S., MURASHOVA, I. B. Production of Copper and Copper Alloy Powders. *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders* [online] 2019, s. 571-614. [cit. 2024-06-06]. ISBN 9780081005439. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100543-9.00019-1.

[35] WU, Z., YANG, H.; WU, L., HU, C., GAO, W. et al. Research progress in preparation of metal powders by pressurized hydrogen reduction. *International Journal of Hydrogen Energy* [online] 2021, roč. 46, č. 71, s. 35102-35120. [cit. 2024-06-06]. ISSN 03603199. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.08.076.

[36] ZHANG, Y., BU, A., XIANG, Y., YANG, Y., CHEN, W. et al. *Cubic γ-Al2O3 coating modified graphite powder* [online] 2020, roč. 181. [cit. 2024-06-06]. ISSN 0042207X. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109739.

[37] SHIVANANDA, C.S., MADHU, S., POOJITHA, G., SUDARSHAN, A.R.; JEETHENDRA, S. et al. Structural, chemical and morphological properties of graphite powder, graphene oxide and reduced graphene oxide. *Materials Today: Proceedings* [online] 2023, roč. 89, s. 49-53. [cit. 2024-06-06]. ISSN 22147853. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.608.

[38] ROHATGI, P. K., RAY, S., LIU, Y. Tribological properties of metal matrix-graphite particle composites. *International Materials Reviews* [online] 2013, roč. 37, č. 1, s. 129-152. [cit. 2024-06-07]. ISSN 0950-6608. Dostupné z: https://doi.org/10.1179/imr.1992.37.1.129.

[39] FAMFULÍK, J., MÍKOVÁ, J. *Teorie údržby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1509-1.

[40] KRAINTEK CZECH, S.R.O. *Průmyslová ultrazvuková čistička K-2IM nerezová, mechanické ovládaní* [online] [cit. 2024-06-07]. Dostupné z: https://www.kraintek.cz/prumyslove-ultrazvukove-cisticky-s-mechanickym-ovladanim/prumyslova-ultrazvukova-cisticka-k-2im-nerezova-mechanicke-ovladani-d155.

[41] *MANSON SPS-9602 laboratorní zdroj 1-30V/0-30A* [online]. 2004. [cit. 2024-06-07]. Dostupné z: https://www.gme.cz/v/1505599/manson-sps-9602-laboratorni-zdroj-1-30v-0-30a.

[42] *WiseStir MSH-20D hotplate stirrer* [online]. 2010. [cit. 2024-06-07]. Dostupné z: https://www.miliot.com/product/wisestir-msh-20d-hotplate-stirrer/.

[43] *Tloušťkoměr povlaků PosiTector 6000 FS1* [online]. 2022. [cit. 2024-07-10]. Dostupné z: https://www.qtest.cz/tloustkomery-povlaku/positector6000-fs1.

[44] *Mitutoyo Surftest SJ-210 [mm]* [online]. [cit. 2024-07-13]. Dostupné z : https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/mitutoyo/1292249246959/Surftest%20SJ-210%20%5Bmm%5D/%24catalogue/mitutoyoData/PR/178-560-11D/index.xhtml.

[45] *MFT-5000 Multi Function Tribometer* [online]. 2021. [cit. 2024-07-13]. Dostupné z: https://rtec-instruments.com/tribometer/universal-tribometer/.

[46] *Korrosionsprüfgerät als Truhengeräte zur Umweltsimulation* [online]. [cit. 2024-07-13]. Dostupné z: https://www.liebisch.com/Produkte/korrosionspruefgeraete/truhengeraete.php.

Seznam Obrázků

Obr. 1: Zinkový povlak (anodická povlak)
Obr. 2: Schéma zapojení pro galvanické (elektrolytické) pokovování
Obr. 3: Základní schéma technologického postupu galvanického pokovení
Obr. 4: Schéma broušení
Obr. 5: Kotouče pro kartáčování
Obr. 6: Omílání a) vibrační, b) odstředivé
Obr. 7: Mechanismus odmašťování (V – vzduch, R – odmašťovací roztok, O – vrstva oleje, K – kov)
Obr. 8: Proces moření
Obr. 9: Mechanismus kodepozice částic kovového depozitu
Obr. 10: Změna součinitele tření v závislosti na obsahu grafitu u kompozitů s rozdílnou základní slitinou
Obr. 11: Styčný spoje
Obr. 12: Schématické znázornění druhů opotřebení
Obr. 13: Vzorek 1A a 1B
Obr. 14: Vzorek 2
Obr. 15: Vzorek 3
Obr. 16: Průmyslová ultrazvuková čistička K-2IM
Obr. 17: MANSON SPS-9602 laboratorní zdroj 1-30V/0-30 A
Obr. 18: Pokovovací soustava
Obr. 19: WiseStir MSH-20D hotplate stirrer
Obr. 20: Vylučovací rychlost pro Zn lázeň
Obr. 21: Vylučovací rychlost pro Zn+grafit lázeň
Obr. 22: Vylučovací rychlost pro Zn+Cu lázeň
Obr. 23: PosiTector 6000 FS1
Obr. 24: Surftest SJ-210
Obr. 25: Kónický trn
Obr. 26: Vzorek 1A – zinkový povlak
Obr. 27: Vzorek 1A – zinkový povlak s grafitovými částicemi
Obr. 28: Vzorek 1A – zinkový povlak s měděnými částicemi
Obr. 29: Tribometr MFT-5000

Obr. 30: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: kulička
Obr. 31: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: tělísko
Obr. 32: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: kulička
Obr. 33: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: tělísko
Obr. 34: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: kulička
Obr. 35: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: tělísko
Obr. 36: Zinkový povlak před teplotním šokem
Obr. 37: Zinkový povlak po teplotním šoku
Obr. 38: Zinkový povlak po teplotním šoku
Obr. 39: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem
Obr. 40: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku
Obr. 41: Zinkový povlak s měděnými částicemi před teplotním šokem
Obr. 42: Zinkový povlak s měděnými částicemi po teplotním šoku
Obr. 43: Zinkový povlak s měděnými částicemi po teplotním šoku
Obr. 44: Zinkový povlak s měděnými částicemi po teplotním šoku
Obr. 45: Komora Constasal od firmy Liebisch
Obr. 46: Zinkový povlak – 0 hodin
Obr. 47: Zinkový povlak – 2 hodin
Obr. 48: Zinkový povlak – 4 hodin
Obr. 49: Zinkový povlak – 6 hodin
Obr. 50: Zinkový povlak – 24 hodin
Obr. 51: Zinkový povlak – 48 hodin
Obr. 52: Zinkový povlak – 72 hodin
Obr. 53: Zinkový povlak – 96 hodin
Obr. 54: Zinkový povlak – 144 hodin
Obr. 55: Zinkový povlak – 168 hodin
Obr. 56: Zinkový povlak – 198 hodin
Obr. 57: Zinkový povlak – 240 hodin

Obr. 58: Zinkový povlak – 336 hodin
Obr. 59: Zinkový povlak – 414 hodin
Obr. 60: Zinkový povlak – 480 hodin
Obr. 61: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 0 hodin
Obr. 62: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 2 hodin
Obr. 63: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 4 hodin
Obr. 64: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 6 hodin
Obr. 65: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 24 hodin
Obr. 66: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 48 hodin
Obr. 67: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 72 hodin
Obr. 68: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 96 hodin
Obr. 69: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 144 hodin
Obr. 70: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 168 hodin
Obr. 71: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 198 hodin
Obr. 72: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 240 hodin
Obr. 73: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 336 hodin
Obr. 74: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 414 hodin
Obr. 75: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 480 hodin
Obr. 76: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 0 hodin
Obr. 77: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 2 hodin
Obr. 78: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 4 hodin
Obr. 79: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 6 hodin
Obr. 80: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 24 hodin
Obr. 81: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 48 hodin
Obr. 82: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 72 hodin
Obr. 83: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 96 hodin
Obr. 84: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 144 hodin
Obr. 85: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 168 hodin
Obr. 86: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 198 hodin
Obr. 87: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 240 hodin
Obr. 88: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 336 hodin
Obr. 89: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 414 hodin
Obr. 90: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 480 hodin

Obr. 91: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 2 strana – PIN: kulička
Obr. 92: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 2 strana – PIN: tělísko
Obr. 93: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: kulička
Obr. 94: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: tělísko
Obr. 95: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: kulička
Obr. 96: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: tělísko
Obr. 97: Zinkový povlak před teplotním šokem
Obr. 98: Zinkový povlak po teplotním šoku
Obr. 99: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem
Obr. 100: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku
Obr. 101: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem
Obr. 102: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku
Obr. 103: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem
Obr. 104: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku
Obr. 105: Zinkový povlak s měděnými částicemi před teplotním šokem
Obr. 106: Zinkový povlak s měděnými částicemi po teplotním šoku
Obr. 107: Zinkový povlak – 0 hodin
Obr. 108: Zinkový povlak – 2 hodin
Obr. 109: Zinkový povlak – 4 hodin
Obr. 110: Zinkový povlak – 6 hodin
Obr. 111: Zinkový povlak – 24 hodin
Obr. 112: Zinkový povlak – 48 hodin
Obr. 113: Zinkový povlak – 72 hodin
Obr. 114: Zinkový povlak – 96 hodin
Obr. 115: Zinkový povlak – 144 hodin
Obr. 116: Zinkový povlak – 168 hodin
Obr. 117: Zinkový povlak – 198 hodin
Obr. 118: Zinkový povlak – 240 hodin

Obr. 119: Zinkový povlak – 336 hodin
Obr. 120: Zinkový povlak – 414 hodin
Obr. 121: Zinkový povlak – 480 hodin
Obr. 122: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 0 hodin
Obr. 123: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 2 hodin
Obr. 124: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 4 hodin
Obr. 125: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 6 hodin
Obr. 126: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 24 hodin
Obr. 127: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 48 hodin
Obr. 128: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 72 hodin
Obr. 129: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 96 hodin
Obr. 130: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 144 hodin
Obr. 131: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 168 hodin
Obr. 132: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 198 hodin
Obr. 133: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 240 hodin
Obr. 134: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 336 hodin
Obr. 135: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 414 hodin
Obr. 136: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 480 hodin
Obr. 137: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 0 hodin
Obr. 138: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 2 hodin
Obr. 139: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 4 hodin
Obr. 140: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 6 hodin
Obr. 141: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 24 hodin
Obr. 142: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 48 hodin
Obr. 143: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 72 hodin
Obr. 144: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 96 hodin
Obr. 145: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 144 hodin
Obr. 146: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 168 hodin
Obr. 147: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 198 hodin
Obr. 148: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 240 hodin
Obr. 149: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 336 hodin
Obr. 150: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 414 hodin
Obr. 151: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 480 hodin

Seznam tabulek

Tab. 1: Standartní elektrodové potenciály některých kovů
Tab. 2: Různá složení kyanidových zinkových lázní
Tab. 3: Složení alkalické nekyanidové zinkové lázně
Tab. 4: Složení kyselých chloridových zinkovacích lázní
Tab. 5: Parametry lázně pro kyselou zinko-niklovou lázeň
Tab. 6: Parametry lázně pro alkalickou zinko-niklovou lázeň
Tab. 7: Parametry lázně pro kyselou zinko-železitou lázeň
Tab. 8: Parametry lázně pro alkalickou zinko-železitou lázeň
Tab. 9: Parametry lázně pro kyselou zinko-kobaltovou lázeň]
Tab. 10: Parametry lázně pro alkalickou zinko-kobaltovou lázeň
Tab. 11: Parametry lázně pro lázeň cínu a zinku s neutrálním pH
Tab. 12: Vlastnosti nejpoužívanějších disperzních částic
Tab. 13: Vzorkovací tabulka
Tab. 14: Technologický postup galvanického pokovení
Tab. 15: Doba galvanického pokovení pro jednotlivé vzorky
Tab. 16: Vypočítané velikosti ploch a proudu
Tab. 17: Průměrná tloušťka vzorku 1A
Tab. 18: Průměrná tloušťka vzorku 1B
Tab. 19: Průměrná tloušťka vzorku 2
Tab. 20: Průměrná tloušťka vzorku 3
Tab. 21: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku 1 - 1 strana
Tab. 22: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku 1 - 2 strana
Tab. 23: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s grafitovými částicemi 1 - 1 strana
Tab. 24: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s grafitovými částicemi 1 - 2 strana
Tab. 25: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s měděnými částicemi 1 - 1 strana
Tab. 26: Průměrná drsnost vzorku 1A – Zinkového povlaku s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 27: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 28: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Tab. 29: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 30: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 31: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 32: Průměrná drsnost vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 33: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 34: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 35: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 36: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 37: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 38: Průměrná drsnost vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 39: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 40: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 41: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 42: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 43: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 44: Průměrná drsnost vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 45: Výsledky ohybové zkoušky
Tab. 46: Parametry tribologické zkoušky
Tab. 47: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: kulička
Tab. 48: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 1 strana – PIN: tělísko

Tab. 49: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: kulička
Tab. 50: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 1 strana – PIN: tělísko
Tab. 51: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: kulička
Tab. 52: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 1 strana – PIN: tělísko
Tab. 53: Časová doba kontroly vzorků
Tab. 54: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 1A
Tab. 55: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 1B
Tab. 56: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 2
Tab. 57: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 3
Tab. 58: Naměřené drsnosti vzorku 1A – bez povlaku – 1 strana
Tab. 59: Naměřené drsnosti vzorku 1A – bez povlaku – 2 strana
Tab. 60: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 61: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 62: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 2 – 1 strana
Tab. 63: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 2 – 2 strana
Tab. 64: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 65: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 66: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 67: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 68: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 69: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 70: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana

Tab. 71: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 72: Naměřené drsnosti vzorku 1B – bez povlaku – 1 strana
Tab. 73: Naměřené drsnosti vzorku 1B – bez povlaku – 2 strana
Tab. 74: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 75: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 76: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 2 – 1 strana
Tab. 77: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 2 – 2 strana
Tab. 78: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 79: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 80: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 81: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 82: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 83: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 84: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 85: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 86: Naměřené hodnoty vzorku 2 – bez povlaku – 1 strana
Tab. 87: Naměřené hodnoty vzorku 2 – bez povlaku – 2 strana
Tab. 88: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 89: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 90: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak 2 – 1 strana
Tab. 91: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak 2 – 2 strana
Tab. 92: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 93: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Tab. 94: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 95: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 96: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 97: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 98: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 99: Naměřené hodnoty vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 100: Naměřené drsnosti vzorku 3 – bez povlaku – 1 strana
Tab. 101: Naměřené drsnosti vzorku 3 – bez povlaku – 2 strana
Tab. 102: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 1 strana
Tab. 103: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 2 strana
Tab. 104: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 2 – 1 strana
Tab. 105: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 2 – 2 strana
Tab. 106: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 107: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 108: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 109: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana
Tab. 110: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana
Tab. 111: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana
Tab. 112: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana
Tab. 113: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana

Tab. 114: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 2 strana – PIN: kulička
Tab. 115: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak – 2 strana – PIN: tělísko
Tab. 116: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: kulička
Tab. 117: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: tělísko
Tab. 118: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: kulička
Tab. 119: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: tělísko

Seznam rovnic

Rovnice 1: Faradayův zákon
Rovnice 2: Proudový výtěžek
Rovnice 3: Proudová hustota
Rovnice 4: Stupeň ochrany

Přílohy

Příloha č.1

Tab. 54: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 1A

Vzorek	**1A**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Naměřené hodnoty [µm]	5	~~12~~	13	~~13~~	~~6~~	8	12	~~8~~	17	13	14	~~17~~
	4	6	11	12	8	7	15	16	13	13	13	12
	5	10	10	9	11	11	~~12~~	11	~~8~~	11	14	~~11~~
	6	8	~~7~~	10	9	9	18	14	12	~~8~~	~~9~~	11
	~~3~~	7	~~16~~	9	11	10	14	9	12	15	12	16
	5	9	9	~~7~~	10	8	15	9	11	13	14	13
	6	6	8	7	~~14~~	11	13	12	14	16	12	15
	5	11	9	13	12	11	18	11	12	~~18~~	~~19~~	13
	4	8	10	10	14	10	18	~~17~~	10	12	13	12
	7	9	11	11	10	~~6~~	15	14	13	10	9	14
	7	~~5~~	10	10	12	8	14	10	~~18~~	14	11	12
	~~11~~	10	9	9	13	~~12~~	~~23~~	16	15	15	13	11
Průměrná hodnota [µm]	**5,4**	**8,4**	**10**	**10**	**11**	**8,9**	**15,2**	**12,2**	**12,9**	**13,2**	**12,5**	**12,9**

Tab. 55: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 1B

Vzorek	**1B**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Naměřené hodnoty [µm]	21	~~23~~	16	23	17	28	21	14	22	18	21	14
	21	21	17	~~19~~	~~15~~	29	~~18~~	15	19	17	~~18~~	15
	23	~~14~~	15	21	16	30	20	~~13~~	18	~~13~~	20	~~13~~
	21	17	16	21	18	27	22	14	22	13	~~22~~	14
	~~20~~	16	~~14~~	23	20	~~31~~	21	16	22	14	21	16
	22	23	17	24	21	25	~~22~~	15	19	16	22	15
	24	17	19	26	17	24	20	15	24	17	20	15
	27	22	~~24~~	23	16	~~22~~	18	~~19~~	19	14	18	~~19~~
	~~29~~	18	23	27	~~24~~	23	19	17	~~17~~	18	19	17
	23	17	24	~~29~~	21	22	21	15	19	~~19~~	21	15
	27	17	19	27	19	22	22	18	17	13	22	18
	26	21	18	26	17	25	19	18	~~25~~	15	19	18
Průměrná hodnota [µm]	**23,5**	**18,9**	**18,4**	**24,1**	**18,2**	**25,5**	**20,3**	**15,7**	**20,1**	**15,5**	**20,3**	**15,7**

Tab. 56: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 2

Vzorek	**2**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Naměřené hodnoty [µm]	9	7	9	7	17	14	~~13~~	10	16	12	12	13
	~~10~~	9	7	6	18	13	14	11	~~19~~	10	8	9
	~~6~~	10	~~11~~	~~11~~	14	11	16	10	8	11	12	16
	6	6	7	8	16	~~8~~	17	13	19	~~17~~	14	~~8~~
	10	~~11~~	7	7	14	13	16	~~9~~	~~7~~	~~9~~	14	10
	7	10	8	9	~~19~~	12	~~18~~	9	17	12	13	10
	8	7	9	6	~~13~~	10	18	11	10	10	8	14
	7	5	7	10	15	~~15~~	16	~~14~~	10	9	~~7~~	~~14~~
	7	8	7	~~5~~	19	10	17	14	15	15	10	13
	7	8	10	6	14	11	18	12	11	16	~~16~~	10
	9	~~4~~	8	8	17	10	16	12	15	13	15	12
	8	6	~~6~~	5	18	9	14	9	13	11	11	9
Průměrná hodnota [µm]	**7,8**	**7,6**	**7,9**	**7,2**	**16,2**	**11,3**	**16,2**	**11,1**	**13,4**	**11,9**	**11,7**	**11,6**

Tab. 57: Naměřené tloušťky povlaků pro vzorek 3

Vzorek	**3**											
Povlak	Zn		Zn		Zn+grafit		Zn+grafit		Zn+Cu		Zn+Cu	
Strana vzorku	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Naměřené hodnoty [µm]	~~11~~	14	~~16~~	13	~~15~~	23	20	~~23~~	24	~~30~~	20	23
	14	~~15~~	13	~~12~~	~~10~~	21	21	23	~~25~~	24	23	21
	11	14	~~12~~	15	11	22	20	21	25	~~21~~	24	~~29~~
	12	13	12	15	10	23	20	~~19~~	24	28	21	~~20~~
	~~15~~	~~12~~	16	12	13	~~19~~	~~23~~	22	23	29	~~19~~	25
	14	15	13	~~16~~	10	~~24~~	23	21	~~21~~	26	22	23
	11	12	14	12	12	22	~~18~~	20	24	28	~~29~~	22
	13	13	13	13	12	23	21	22	21	26	20	20
Průměrná hodnota [µm]	**12,5**	**13,5**	**13,5**	**13,3**	**11,3**	**22,3**	**20,8**	**21,5**	**23,5**	**26,8**	**21,7**	**22,3**

Příloha č. 2

Vzorek 1A

Tab. 58: Naměřené drsnosti vzorku 1A – bez povlaku – 1 strana

Vzorek 1A – bez povlaku – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	10,759	12,896	1,907	2,445	2,453	3,037
	10,529	~~15,710~~	~~1,698~~	2,796	2,220	3,403
	12,322	14,480	2,343	2,526	2,903	3,262
	11,414	11,034	1,932	2,518	2,431	2,962
	~~12,136~~	10,026	2,457	2,058	2,982	2,533
	11,615	8,858	2,525	1,569	3,009	2,030
	12,263	~~8,317~~	~~2,625~~	~~1,452~~	~~3,117~~	~~1,800~~
	11,501	11,610	2,040	2,424	2,553	2,921
	11,648	15,257	2,031	~~3,004~~	2,565	~~3,685~~
	11,166	13,042	1,814	2,526	2,380	3,191
	~~8,921~~	11,543	1,688	2,167	2,058	2,638
	9,487	13,153	1,482	2,051	~~1,842~~	2,730
Průměrná hodnota [µm]	**11,270**	**12,189**	**2,022**	**2,308**	**2,555**	**2,871**

Tab. 59: Naměřené drsnosti vzorku 1A – bez povlaku – 2 strana

Vzorek 1A – bez povlaku – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	8,775	7,491	1,486	1,317	1,920	1,652
	~~10,432~~	8,524	1,521	1,237	2,016	1,607
	7,331	8,329	1,358	1,444	1,713	1,846
	10,063	8,661	~~1,585~~	1,262	~~2,057~~	1,669
	7,886	8,900	1,220	1,486	1,555	1,837
	8,697	9,750	1,583	1,631	1,943	~~2,164~~
	~~5,246~~	~~11,925~~	~~0,906~~	~~2,023~~	~~1,150~~	~~2,496~~
	6,848	~~6,778~~	1,183	1,306	1,473	1,577
	7,574	7,760	1,305	1,291	1,602	1,688
	7,690	6,862	1,347	1,314	1,710	1,574
	8,032	6,833	1,317	1,442	1,686	1,735
	6,116	6,991	0,972	~~1,116~~	1,226	~~1,413~~
Průměrná hodnota [µm]	**7,901**	**8,010**	**1,324**	**1,373**	**1,684**	**1,735**

Tab. 60: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	7,835	9,083	1,221	1,500	1,559	1,855
	8,762	8,573	~~1,629~~	1,452	~~1,980~~	1,824
	7,081	~~6,305~~	1,253	~~1,176~~	1,554	~~1,400~~
	8,766	9,139	1,553	~~1,739~~	1,914	2,062
	~~6,801~~	8,887	1,391	1,613	1,653	2,043
	6,880	7,376	1,250	1,411	1,520	1,700
	6,974	6,753	~~1,108~~	1,190	~~1,394~~	1,447
	7,810	8,357	1,529	1,540	1,830	1,895
	7,494	8,398	1,259	1,369	1,568	1,682
	7,561	10,334	1,248	1,724	1,558	~~2,200~~
	7,710	~~11,181~~	1,334	1,398	1,642	1,985
	~~8,858~~	8,917	1,352	1,439	1,711	1,824
Průměrná hodnota [µm]	**7,687**	**8,582**	**1,339**	**1,464**	**1,651**	**1,832**

Tab. 61: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	12,741	~~11,382~~	2,211	2,057	2,671	2,582
	12,014	14,105	~~1,800~~	2,406	2,321	2,988
	14,844	11,898	2,439	~~1,763~~	3,000	2,247
	11,480	12,986	2,112	2,123	2,568	2,690
	14,513	11,696	2,366	2,072	3,012	2,473
	~~15,689~~	14,032	~~2,778~~	2,573	~~3,638~~	3,145
	12,066	12,065	2,109	1,921	2,657	2,440
	11,125	15,984	2,015	~~2,896~~	2,362	3,615
	~~10,673~~	12,797	1,937	1,848	2,292	~~2,366~~
	12,949	12,379	2,626	2,188	3,080	2,652
	14,923	11,915	2,325	2,219	2,960	2,665
	11,895	~~18,522~~	2,314	2,588	~~1,810~~	~~3,683~~
Průměrná hodnota [µm]	**11,855**	**12,986**	**2,245**	**2,199**	**2,692**	**2,750**

Tab. 62: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 2 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~4,327~~	14,068	~~0,796~~	2,390	~~0,941~~	2,974
	12,606	13,730	2,133	2,138	2,619	2,812
	14,039	16,544	2,615	~~3,221~~	3,276	3,899
	11,482	~~17,727~~	1,777	2,907	2,212	3,698
	14,068	13,568	~~2,742~~	2,078	3,307	2,607
	12,098	13,645	1,933	2,451	2,502	3,021
	14,300	14,706	2,379	2,267	2,992	2,916
	13,963	16,016	2,500	2,528	3,030	3,158
	12,735	13,477	1,968	2,463	2,587	2,974
	11,545	16,420	2,129	3,120	2,573	~~3,950~~
	12,160	14,811	2,048	2,333	2,586	2,940
	~~15,498~~	~~11,063~~	2,507	~~1,961~~	~~3,357~~	~~2,410~~
Průměrná hodnota [µm]	**12,899**	**14,699**	**2,199**	**2,468**	**2,768**	**3,099**

Tab. 63: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak 2 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~17,733~~	13,922	~~2,773~~	2,371	~~3,436~~	2,975
	10,540	~~16,315~~	~~1,546~~	~~2,774~~	2,080	~~3,499~~
	14,993	15,366	2,472	2,577	3,172	3,255
	9,702	14,235	1,597	2,375	1,995	3,018
	14,714	15,270	2,692	2,356	3,253	2,960
	~~9,565~~	12,973	1,635	2,598	~~1,956~~	3,111
	12,004	14,176	2,223	2,224	2,751	2,842
	11,567	~~10,452~~	2,171	~~1,836~~	2,642	~~2,238~~
	13,362	13,217	2,459	2,079	2,996	2,664
	10,879	13,703	2,069	2,352	2,449	2,950
	13,177	12,409	2,167	2,239	2,757	2,727
	12,169	13,972	2,461	2,365	2,919	3,084
Průměrná hodnota [µm]	**12,312**	**13,924**	**2,195**	**4,354**	**2,701**	**2,959**

Tab. 64: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~16,154~~	10,326	1,811	1,798	2,533	2,221
	12,428	12,014	1,374	1,687	2,064	2,243
	9,820	~~8,899~~	~~1,322~~	1,420	~~1,736~~	1,786
	~~9,583~~	10,200	1,494	1,457	1,868	1,924
	10,296	10,799	1,412	1,507	1,834	1,928
	14,370	12,775	2,013	~~1,954~~	2,630	2,582
	13,668	10,925	1,614	1,643	2,229	2,098
	10,279	11,973	1,647	1,659	2,016	2,162
	10,793	9,408	1,485	~~1,300~~	1,929	~~1,647~~
	13,661	11,586	1,716	1,723	2,247	2,193
	15,303	~~15,289~~	~~2,074~~	1,885	~~2,736~~	~~2,633~~
	10,768	14,145	1,535	1,878	1,852	2,472
Průměrná hodnota [µm]	**12,139**	**11,415**	**1,610**	**1,666**	**2,120**	**2,161**

Tab. 65: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	14,793	15,061	2,421	2,222	3,062	2,951
	12,753	~~19,169~~	2,059	2,995	2,624	~~3,774~~
	12,856	15,704	1,932	2,336	2,430	3,160
	14,050	17,639	2,465	~~3,037~~	2,943	3,686
	~~15,623~~	11,513	~~3,155~~	~~1,867~~	~~3,822~~	~~2,378~~
	15,433	11,145	2,098	1,946	2,812	2,394
	12,890	13,277	2,234	2,132	2,797	2,740
	13,486	15,461	2,473	2,308	2,987	3,003
	14,797	14,250	2,404	2,275	3,013	2,852
	12,822	13,253	2,380	2,468	2,851	2,982
	13,720	13,502	1,917	2,101	2,498	2,577
	~~12,014~~	~~11,083~~	~~1,807~~	2,078	~~2,355~~	2,540
Průměrná hodnota [µm]	**13,760**	**14,081**	**2,238**	**2,286**	**2,802**	**2,889**

Tab. 66: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	15,695	19,043	2,507	3,039	3,158	3,950
	15,829	14,522	2,916	~~2,328~~	~~3,702~~	~~2,845~~
	14,407	13,857	~~3,001~~	2,507	3,554	3,164
	12,941	16,428	2,635	2,887	3,211	3,553
	12,717	13,214	2,412	2,655	2,936	3,184
	~~16,231~~	14,325	2,462	2,605	3,342	3,214
	~~11,463~~	14,089	2,082	2,649	~~2,573~~	3,168
	14,011	14,205	2,191	2,456	2,799	3,081
	13,186	15,067	2,319	~~3,049~~	2,981	3,716
	13,268	13,695	~~2,076~~	2,538	2,707	3,137
	15,897	~~17,551~~	2,885	3,017	3,537	~~3,763~~
	11,771	~~13,121~~	2,164	2,339	2,630	2,998
Průměrná hodnota [µm]	**13,972**	**14,845**	**2,457**	**2,669**	**3,086**	**3,317**

Tab. 67: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn + grafit 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	14,039	14,020	2,044	2,336	2,802	3,045
	16,189	11,758	2,344	1,610	3,188	2,125
	11,876	11,734	1,741	1,719	2,265	2,203
	10,598	~~26,573~~	1,597	~~3,317~~	1,965	~~5,015~~
	10,575	14,765	1,715	2,029	2,101	2,709
	11,720	21,737	1,842	2,966	2,379	3,947
	14,262	~~9,827~~	1,674	~~1,594~~	2,388	~~1,963~~
	~~22,026~~	14,195	~~3,225~~	1,745	~~4,450~~	2,445
	19,630	10,397	2,331	1,691	3,379	2,093
	~~8,795~~	14,499	~~1,303~~	2,444	~~1,662~~	3,191
	12,376	25,993	2,084	3,129	2,628	4,683
	14,273	20,638	1,821	2,647	2,356	3,763
Průměrná hodnota [µm]	**13,554**	**15,974**	**1,919**	**2,232**	**2,545**	**3,020**

Tab. 68: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn+Cu 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	16,789	16,176	~~2,808~~	2,266	~~3,628~~	2,947
	~~13,603~~	17,122	2,414	3,804	2,950	3,695
	14,107	~~14,202~~	2,170	~~2,264~~	2,758	~~2,798~~
	~~17,428~~	~~21,440~~	2,493	~~3,834~~	3,303	~~4,794~~
	13,953	16,886	~~2,115~~	2,716	~~2,690~~	3,350
	14,990	14,959	2,553	2,475	3,101	3,054
	14,565	19,724	2,250	3,382	2,873	4,277
	17,345	14,552	2,618	2,370	3,314	3,020
	15,878	19,567	2,787	3,304	3,523	4,190
	15,314	18,799	2,579	3,166	3,295	3,876
	16,214	16,818	2,405	2,630	3,124	3,386
	15,060	15,548	2,515	2,947	3,193	3,516
Průměrná hodnota [µm]	**15,422**	**17,015**	**2,478**	**2,906**	**3,143**	**3,531**

Tab. 69: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn+Cu 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	11,992	~~15,516~~	1,705	1,870	2,174	2,518
	11,990	13,673	1,912	~~2,115~~	2,372	~~2,674~~
	14,658	12,210	2,007	2,039	2,613	2,519
	9,513	11,088	1,500	1,626	1,849	2,106
	11,561	10,588	1,777	1,662	2,244	2,112
	9,841	~~8,059~~	1,701	~~1,206~~	2,096	~~1,496~~
	9,259	12,191	~~1,471~~	1,845	1,841	2,490
	~~8,829~~	12,392	1,481	1,983	~~1,810~~	2,456
	11,390	12,722	1,701	1,820	2,148	2,438
	9,184	10,327	1,536	1,470	1,952	1,811
	12,808	8,904	1,714	1,492	2,273	1,814
	~~15,866~~	13,561	~~2,377~~	1,946	~~3,080~~	2,598
Průměrná hodnota [µm]	**11,220**	**11,766**	**1,703**	**1,775**	**2,156**	**2,286**

Tab. 70: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 1A – Zn+Cu 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	13,545	13,800	1,967	2,242	2,536	2,769
	~~12,333~~	~~13,369~~	~~1,958~~	~~2,079~~	~~2,458~~	~~2,657~~
	15,713	15,947	2,540	2,592	3,168	3,382
	~~18,428~~	13,991	2,806	2,800	3,581	3,267
	17,933	13,947	2,924	2,195	3,648	2,853
	16,952	15,533	~~3,017~~	2,612	~~3,672~~	3,288
	14,773	14,839	2,721	2,555	3,370	3,182
	14,460	15,563	2,018	2,322	2,644	3,061
	13,375	~~18,147~~	2,366	3,063	2,842	3,710
	18,137	14,253	2,672	2,493	3,374	3,110
	14,766	14,270	2,142	2,777	2,749	3,382
	13,835	16,470	2,231	~~3,084~~	2,787	~~3,774~~
Průměrná hodnota [µm]	**15,349**	**14,861**	**2,439**	**2,656**	**3,070**	**3,200**

Tab. 71: Naměřené drsnosti vzorku 1A – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 1A – Zn+Cu 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~15,020~~	12,865	2,111	1,955	2,756	2,468
	13,529	13,493	1,992	2,073	2,594	2,643
	10,761	12,244	1,706	1,966	2,170	2,423
	10,037	12,660	1,584	1,939	1,946	2,532
	8,801	~~14,527~~	1,471	1,927	1,863	2,606
	8,525	11,233	1,395	1,973	1,747	2,383
	10,370	13,613	1,558	~~2,219~~	2,003	~~2,898~~
	~~7,971~~	~~9,101~~	1,437	1,378	1,779	1,744
	12,541	13,315	1,976	1,789	2,532	2,459
	9,898	9,722	1,918	~~1,376~~	2,299	~~1,734~~
	8,809	9,219	~~1,366~~	1,737	~~1,706~~	2,097
	14,311	9,953	~~2,331~~	1,392	~~3,045~~	1,826
Průměrná hodnota [µm]	**10,758**	**11,832**	**1,715**	**1,813**	**2,169**	**2,318**

Vzorek 1B

Tab. 72: Naměřené drsnosti vzorku 1B – bez povlaku – 1 strana

Vzorek 1B – bez povlaku – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	2,177	0,372	0,451
	2,095	0,363	0,438
	2,175	0,400	0,487
	2,180	~~0,407~~	0,487
	2,326	0,385	0,471
	2,099	0,349	0,427
	~~2,366~~	0,387	0,480
	~~2,067~~	0,369	0,454
	2,127	0,373	0,456
	2,231	0,375	0,464
	2,087	~~0,333~~	~~0,415~~
	2,151	0,406	~~0,494~~
Průměrná hodnota [µm]	**2,165**	**0,378**	**0,462**

Tab. 73: Naměřené drsnosti vzorku 1B – bez povlaku – 2 strana

Vzorek 1B – bez povlaku – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	2,486	0,443	0,550
	~~2,855~~	0,464	0,572
	~~2,340~~	0,437	~~0,527~~
	2,516	0,470	0,566
	2,428	0,438	0,536
	2,458	~~0,433~~	0,530
	2,581	0,453	0,557
	2,644	0,451	0,548
	2,524	0,477	0,578
	2,832	~~0,494~~	~~0,607~~
	2,506	0,466	0,557
	2,595	0,461	0,559
Průměrná hodnota [µm]	**2,557**	**0,456**	**0,555**

Tab. 74: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,080	0,653	0,805
	4,235	0,614	0,773
	4,478	0,659	0,815
	~~3,370~~	0,602	0,724
	3,948	~~0,575~~	~~0,713~~
	3,542	0,592	0,727
	3,981	0,636	0,790
	4,061	0,642	0,792
	3,634	0,592	0,717
	4,526	0,668	0,802
	3,917	0,601	0,735
	~~4,772~~	~~0,684~~	~~0,871~~
Průměrná hodnota [µm]	**4,040**	**0,626**	**0,768**

Tab. 75: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	5,143	0,590	0,828
	~~4,324~~	~~0,525~~	~~0,703~~
	4,412	0,567	0,768
	4,288	0,543	0,739
	~~5,891~~	~~0,625~~	~~0,927~~
	4,929	0,615	0,881
	5,768	0,601	0,887
	5,021	0,563	0,828
	4,557	0,551	0,756
	4,811	0,578	0,818
	4,438	0,539	0,761
	~~4,154~~	0,569	0,758
Průměrná hodnota [µm]	**4,769**	**0,572**	**0,727**

Tab. 76: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 2 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,420	0,609	~~0,847~~
	4,374	~~0,487~~	0,645
	~~3,635~~	0,497	~~0,626~~
	~~4,521~~	0,521	0,689
	4,298	0,588	0,756
	4,011	0,508	0,677
	4,365	0,561	0,732
	4,211	0,586	0,746
	3,738	0,509	0,672
	3,843	0,586	0,845
	4,007	~~0,611~~	0,772
	4,495	0,530	0,805
Průměrná hodnota [µm]	**4,176**	**0,549**	**0,734**

Tab. 77: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak 2 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	8,710	1,066	1,512
	8,367	0,911	1,431
	~~7,021~~	0,892	~~1,322~~
	~~9,065~~	~~1,270~~	~~1,709~~
	8,682	~~0,872~~	1,385
	7,411	0,944	1,498
	7,844	0,968	1,456
	8,229	0,981	1,579
	8,541	0,962	1,353
	8,908	0,907	1,472
	8,433	1,104	1,387
	8,682	1,076	1,379
Průměrná hodnota [µm]	**8,3807**	**0,9811**	**1,4452**

Tab. 78: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	10,471	0,940	1,521
	~~4,234~~	~~0,524~~	~~0,702~~
	10,249	1,179	1,933
	7,123	0,569	0,940
	5,920	0,633	0,920
	7,121	0,688	1,106
	~~11,852~~	~~1,645~~	~~2,264~~
	5,546	0,599	0,736
	6,733	0,710	1,086
	7,643	0,728	1,132
	6,112	0,616	0,946
	8,332	0,883	1,381
Průměrná hodnota [µm]	**7,525**	**0,755**	**1,170**

Tab. 79: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,406	0,583	0,747
	4,270	0,575	0,749
	4,563	0,621	0,793
	4,337	0,590	0,745
	~~4,008~~	~~0,574~~	~~0,721~~
	6,763	0,788	1,098
	~~9,601~~	~~1,245~~	~~1,751~~
	6,454	0,765	1,072
	5,429	0,723	0,934
	6,212	0,666	0,924
	4,907	0,629	0,830
	5,530	0,695	0,923
Průměrná hodnota [µm]	**5,287**	**0,664**	**0,882**

Tab. 80: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	3,125	0,445	0,560
	4,683	0,578	0,803
	3,865	0,491	0,625
	4,271	0,545	0,734
	3,326	0,505	0,653
	3,259	0,500	0,619
	2,908	0,454	0,564
	~~6,176~~	~~0,691~~	~~1,011~~
	~~2,792~~	~~0,423~~	~~0,520~~
	3,378	0,486	0,621
	2,990	0,485	0,604
	3,071	0,459	0,587
Průměrná hodnota [µm]	**3,488**	**0,495**	**0,637**

Tab. 81: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + grafit 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	7,646	~~0,908~~	1,275
	8,096	0,886	1,284
	5,808	0,642	0,878
	7,842	0,733	1,175
	6,935	0,679	1,055
	6,918	0,647	0,976
	7,519	0,653	1,034
	~~9,858~~	0,832	~~1,496~~
	5,958	0,634	0,871
	6,853	0,700	1,108
	8,405	0,711	1,113
	~~4,680~~	~~0,506~~	~~0,691~~
Průměrná hodnota [µm]	**7,198**	**0,712**	**1,077**

Tab. 82: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	10,159	~~1,418~~	~~1,906~~
	7,943	1,168	1,513
	8,298	1,160	1,578
	8,731	1,355	1,755
	8,093	1,109	1,560
	~~6,424~~	~~0,921~~	~~1,229~~
	9,227	1,286	1,740
	9,155	1,125	1,577
	8,361	1,098	1,475
	~~10,270~~	1,341	1,878
	8,401	1,006	1,408
	8,789	1,193	1,632
Průměrná hodnota [µm]	**8,716**	**1,184**	**1,612**

Tab. 83: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	6,920	0,957	1,213
	7,342	1,107	1,401
	5,936	0,951	1,198
	~~9,339~~	~~1,266~~	~~1,640~~
	8,977	1,091	1,513
	6,980	1,019	1,323
	~~5,165~~	0,770	0,984
	5,305	~~0,747~~	~~0,939~~
	6,537	0,929	1,173
	7,591	0,996	1,311
	6,624	0,932	1,214
	6,758	0,911	1,187
Průměrná hodnota [µm]	**6,897**	**0,966**	**1,252**

Tab. 84: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	5,361	~~0,845~~	~~1,102~~
	3,728	0,525	0,679
	4,073	0,526	0,666
	~~3,436~~	0,515	0,649
	4,911	0,548	0,768
	3,474	0,520	0,654
	3,744	~~0,446~~	~~0,585~~
	4,895	0,538	0,730
	~~6,575~~	0,703	1,032
	4,106	0,583	0,741
	4,920	0,597	0,805
	4,484	0,573	0,742
Průměrná hodnota [µm]	**4,370**	**0,563**	**0,747**

Tab. 85: Naměřené drsnosti vzorku 1B – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 1B – Zn + Cu 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	8,459	1,136	1,549
	~~8,967~~	~~1,287~~	~~1,764~~
	7,439	1,123	1,446
	~~5,580~~	~~0,691~~	~~0,956~~
	8,618	1,110	1,608
	8,675	1,085	1,551
	7,780	0,980	1,353
	8,145	1,085	1,479
	7,962	1,113	1,504
	7,554	0,942	1,319
	7,070	0,869	1,182
	6,110	0,773	1,106
Průměrná hodnota [µm]	**7,781**	**1,022**	**1,410**

Vzorek 2

Tab. 86: Naměřené drsnosti vzorku 2 – bez povlaku – 1 strana

Vzorek 2 – bez povlaku – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~2,668~~	~~3,322~~	~~0,461~~	~~0,338~~	~~0,592~~	~~0,469~~
	1,234	0,683	0,141	0,118	0,186	0,148
	1,199	1,234	0,117	0,101	0,156	0,146
	0,974	0,868	0,114	0,083	0,151	0,115
	1,107	~~0,653~~	0,135	~~0,063~~	0,176	~~0,085~~
	1,390	1,682	0,189	0,161	0,243	0,252
	~~0,822~~	1,228	1,117	0,121	0,149	0,165
	2,635	0,655	0,205	0,096	0,395	0,119
	0,902	1,489	~~0,103~~	0,163	~~0,136~~	0,252
	1,530	0,854	0,167	0,102	0,251	0,133
	1,086	1,189	0,134	0,104	0,184	0,141
	2,647	0,698	0,241	0,077	0,359	0,100
Průměrná hodnota [µm]	**1,470**	**1,058**	**0,156**	**0,113**	**0,225**	**0,157**

Tab. 87: Naměřené drsnosti vzorku 2 – bez povlaku – 2 strana

Vzorek 2 – bez povlaku – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	2,203	0,870	~~0,366~~	~~0,086~~	~~0,510~~	0,119
	1,549	0,736	~~0,148~~	0,093	0,225	0,126
	1,117	0,567	0,165	0,094	0,211	0,118
	1,913	0,566	0,169	0,091	0,236	~~0,109~~
	3,866	~~0,557~~	0,273	0,100	0,493	0,121
	1,570	1,306	0,129	0,150	0,187	0,206
	~~0,999~~	2,067	0,114	0,265	~~0,148~~	0,381
	2,523	~~2,874~~	0,365	~~0,347~~	0,487	~~0,514~~
	2,070	0,936	0,249	0,113	0,346	0,150
	2,849	1,103	0,198	0,097	0,331	0,153
	1,740	1,220	0,260	0,178	0,341	0,239
	~~4,713~~	1,149	0,230	0,181	0,406	0,232
Průměrná hodnota [µm]	**2,140**	**1,052**	**0,215**	**0,224**	**0,326**	**0,198**

Tab. 88: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~2,251~~	1,974	~~0,235~~	0,154	~~0,365~~	0,238
	~~1,627~~	~~2,020~~	~~0,174~~	~~0,133~~	~~0,237~~	0,220
	1,826	1,763	0,184	~~0,175~~	0,256	0,232
	1,797	1,865	0,179	0,162	0,284	0,235
	1,945	1,796	0,188	0,143	0,251	0,221
	1,821	1,933	0,190	0,139	0,299	0,241
	2,118	2,006	0,211	0,158	0,256	0,237
	2,094	1,967	0,203	0,140	0,317	~~0,253~~
	1,967	1,843	0,196	0,137	0,246	0,243
	1,844	~~1,708~~	0,191	0,139	0,278	~~0,218~~
	1,920	1,832	0,200	0,162	0,289	0,226
	2,198	1,971	0,223	0,168	0,307	0,239
Průměrná hodnota [µm]	**1,953**	**1,895**	**0,197**	**0,150**	**0,278**	**0,233**

Tab. 89: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~4,186~~	2,778	0,319	0,245	0,516	0,375
	~~2,518~~	2,984	0,243	0,240	~~0,349~~	0,356
	3,809	2,713	0,240	0,260	0,428	0,369
	3,681	2,787	0,274	0,251	0,422	0,365
	3,920	2,894	0,216	0,238	0,483	0,351
	4,017	2,993	0,242	0,241	0,497	0,369
	2,963	2,871	0,267	~~0,295~~	0,378	0,363
	3,678	2,773	0,289	0,277	0,434	0,351
	3,941	~~2,657~~	0,290	~~0,218~~	0,399	~~0,309~~
	3,775	2,881	~~0,209~~	0,239	0,381	0,341
	4,121	~~3,017~~	~~0,324~~	0,246	~~0,531~~	~~0,387~~
	3,130	2,946	0,277	0,255	0,482	0,344
Průměrná hodnota [µm]	**3,704**	**2,862**	**0,266**	**0,249**	**0,442**	**0,358**

Tab. 90: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak 2 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	2,437	1,986	0,233	0,164	~~0,343~~	0,259
	~~1,658~~	2,575	~~0,159~~	0,149	0,218	0,279
	1,669	~~1,726~~	0,161	~~0,139~~	0,217	~~0,214~~
	1,844	1,823	0,176	0,178	0,328	0,246
	1,899	1,998	0,188	~~0,205~~	0,342	0,219
	1,777	2,231	0,241	0,152	0,286	0,265
	2,285	2,512	0,239	0,156	0,223	0,267
	2,190	~~2,608~~	0,220	0,149	0,325	0,227
	2,456	2,311	0,211	0,140	0,294	~~0,284~~
	2,232	2,490	~~0,265~~	0,181	~~0,213~~	0,248
	~~2,546~~	2,233	0,257	0,183	0,290	0,263
	1,943	1,965	0,176	0,174	0,319	0,255
Průměrná hodnota [µm]	**2,073**	**2,212**	**0,210**	**0,163**	**0,284**	**0,253**

Tab. 91: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak 2 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~3,928~~	~~2,570~~	~~0,485~~	~~0,273~~	~~0,733~~	~~0,366~~
	3,433	2,757	0,392	0,414	0,527	0,516
	~~2,847~~	~~5,256~~	0,387	~~0,733~~	~~0,513~~	~~0,976~~
	3,225	2,971	0,390	0,450	0,562	0,912
	3,173	2,923	0,397	0,528	0,593	0,869
	3,890	2,572	0,391	0,503	0,602	0,371
	2,963	2,673	~~0,386~~	0,364	0,579	0,427
	2,897	2,839	0,401	0,477	0,576	0,478
	3,337	2,731	0,460	0,469	0,622	0,549
	3,628	2,994	0,388	0,512	0,598	0,603
	3,231	2,606	0,412	0,608	0,534	0,554
	3,561	2,601	0,399	0,429	0,592	0,596
Průměrná hodnota [µm]	**3,334**	**2,767**	**0,402**	**0,475**	**0,579**	**0,598**

Tab. 92: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	17,314	16,095	2,546	1,637	3,643	2,698
	11,488	18,524	1,252	2,107	2,075	3,168
	18,910	12,977	2,438	1,222	3,654	1,941
	13,444	~~10,645~~	1,935	1,298	2,758	1,968
	16,499	11,601	2,094	1,396	3,127	2,098
	20,214	14,036	2,872	1,372	4,105	2,271
	15,866	11,015	2,368	1,270	3,347	1,988
	17,100	14,727	2,102	1,899	3,297	2,758
	15,705	~~21,165~~	1,680	~~2,559~~	2,845	~~3,592~~
	~~10,600~~	16,197	~~1,164~~	2,464	~~1,779~~	3,367
	12,781	15,681	1,742	1,727	2,512	2,721
	~~20,271~~	11,046	~~3,274~~	~~1,137~~	~~4,312~~	~~1,772~~
Průměrná hodnota [µm]	**15,932**	**14,190**	**2,103**	**1,639**	**3,136**	**2,498**

Tab. 93: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	4,652	4,700	0,537	0,438	0,785	0,694
	3,919	5,281	~~0,407~~	0,531	0,592	0,857
	4,354	3,963	0,492	0,352	0,694	0,559
	5,620	~~3,318~~	0,434	0,370	0,670	~~0,508~~
	5,241	3,829	0,414	~~0,350~~	0,690	0,560
	5,058	4,081	0,477	0,377	0,767	0,604
	3,605	5,247	0,349	0,635	0,542	0,953
	5,261	6,371	0,498	~~0,822~~	0,788	~~1,213~~
	~~3,494~~	~~6,540~~	0,338	0,670	~~0,495~~	0,999
	4,653	6,147	0,492	0,670	0,742	1,003
	4,674	5,208	0,462	0,592	0,719	0,844
	~~6,711~~	5,387	~~0,752~~	0,498	~~1,174~~	0,805
Průměrná hodnota [µm]	**4,704**	**5,021**	**0,449**	**0,513**	**0,699**	**0,788**

Tab. 94: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	~~33,245~~	16,354	2,198	1,872	3,644	2,950
	14,518	18,138	2,085	2,815	2,966	3,921
	18,221	14,679	~~2,767~~	1,809	3,883	2,771
	16,565	~~18,213~~	2,493	~~2,843~~	3,468	~~4,015~~
	15,278	14,792	2,108	1,802	~~4,522~~	2,775
	~~11,838~~	16,421	1,631	2,000	2,361	3,136
	16,580	16,158	1,791	1,994	3,059	3,099
	11,975	17,125	2,579	1,866	3,764	3,103
	15,020	14,646	2,063	1,746	3,016	2,638
	13,684	14,929	~~1,548~~	1,777	~~2,228~~	2,576
	12,378	~~12,815~~	1,549	~~1,615~~	2,406	~~2,380~~
	16,354	14,539	1,872	1,615	2,950	2,501
Průměrná hodnota [µm]	**15,057**	**15,788**	**2,037**	**1,930**	**3,152**	**2,947**

Tab. 95: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn + grafit 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	4,963	~~3,000~~	0,535	~~1,227~~	0,805	~~1,623~~
	5,993	~~8,914~~	0,621	1,132	0,878	1,576
	4,172	7,408	0,484	0,926	0,655	1,217
	4,007	6,138	0,551	0,886	0,733	~~1,112~~
	6,459	6,302	~~0,945~~	0,886	~~1,234~~	1,116
	~~7,635~~	6,682	0,933	~~0,875~~	1,272	1,125
	5,249	6,551	0,513	0,890	0,772	1,157
	4,957	6,591	0,495	0,940	0,709	1,214
	6,290	7,425	0,536	1,042	0,840	1,373
	~~3,110~~	5,764	0,403	0,898	0,541	1,127
	5,138	6,012	0,658	0,883	0,923	1,120
	4,175	7,515	~~0,329~~	0,970	~~0,540~~	1,274
Průměrná hodnota [µm]	**5,140**	**6,639**	**0,573**	**0,945**	**0,809**	**1,230**

Tab. 96: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn+Cu 1 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	4,672	7,641	~~0,604~~	0,754	0,798	1,133
	2,930	~~3,907~~	0,269	0,633	0,468	0,787
	~~5,682~~	4,558	0,576	0,607	~~0,839~~	0,798
	4,689	4,036	0,424	~~0,587~~	0,670	~~0,738~~
	4,392	5,044	0,428	0,655	0,665	0,857
	4,865	5,254	0,482	0,712	0,717	0,921
	3,740	6,235	0,322	0,782	0,537	1,021
	3,085	6,684	~~0,248~~	0,736	~~0,420~~	1,013
	3,562	~~8,067~~	0,473	0,835	0,637	~~1,192~~
	3,283	7,079	0,314	0,858	0,472	1,183
	4,220	6,492	0,355	~~0,905~~	0,590	1,181
	~~2,493~~	4,938	0,343	0,655	0,468	0,835
Průměrná hodnota [µm]	**3,944**	**5,796**	**0,399**	**0,723**	**0,602**	**0,973**

Tab. 97: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn+Cu 1 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	4,810	4,132	0,505	0,412	0,733	0,656
	4,872	4,297	0,402	0,508	0,622	0,729
	6,942	2,773	0,559	0,342	0,902	0,487
	3,534	3,726	0,365	0,377	0,538	0,567
	~~3,486~~	3,404	~~0,360~~	0,452	~~0,534~~	0,636
	4,953	3,047	0,479	0,354	0,740	0,515
	~~9,548~~	2,732	~~0,981~~	~~0,298~~	~~1,562~~	0,441
	5,273	3,070	0,523	0,329	0,794	0,475
	4,510	4,378	0,425	0,413	0,655	0,672
	3,496	~~6,176~~	0,376	~~0,565~~	0,538	~~0,891~~
	4,995	2,574	0,495	0,300	0,724	~~0,425~~
	5,065	~~2,516~~	0,428	0,334	0,714	0,461
Průměrná hodnota [µm]	**4,845**	**3,413**	**0,456**	**0,382**	**0,696**	**0,564**

Tab. 98: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 2 – Zn+Cu 2 – 1 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	3,966	5,828	0,455	0,835	0,642	1,061
	6,332	6,244	~~0,812~~	0,928	~~1,117~~	1,162
	~~6,418~~	6,534	0,751	0,923	1,063	1,165
	3,747	6,189	0,406	1,029	0,570	1,274
	2,947	7,385	0,423	0,925	0,536	1,290
	~~2,409~~	8,297	0,373	~~1,201~~	0,479	1,615
	3,663	7,229	0,396	1,019	0,570	1,338
	3,645	~~9,849~~	0,353	1,184	0,526	~~1,645~~
	3,723	6,235	0,374	0,920	0,576	1,159
	3,714	~~5,261~~	0,431	~~0,831~~	0,595	~~1,036~~
	2,439	6,337	~~0,345~~	0,980	~~0,442~~	1,244
	2,608	6,598	0,379	1,057	0,476	1,310
Průměrná hodnota [µm]	**3,678**	**6,688**	**0,434**	**0,980**	**0,603**	**1,262**

Tab. 99: Naměřené drsnosti vzorku 2 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 2 – Zn+Cu 2 – 2 strana						
Parametry drsnosti	Rz		Ra		Rq	
Směr měření	podélně	příčně	podélně	příčně	podélně	příčně
Naměřené hodnoty [µm]	6,464	3,301	0,640	~~0,336~~	1,001	~~0,524~~
	7,203	4,896	0,534	0,536	0,860	0,832
	5,767	4,099	0,513	0,387	0,774	0,573
	6,936	4,511	0,553	0,525	0,905	0,643
	~~4,420~~	4,431	~~0,416~~	0,507	~~0,615~~	0,752
	7,416	~~6,935~~	0,634	~~0,787~~	0,988	~~1,197~~
	7,060	6,104	0,541	0,564	0,903	0,921
	5,679	5,073	0,463	0,564	0,740	0,859
	7,218	4,743	0,585	0,614	1,005	0,878
	6,808	~~3,011~~	0,657	0,406	1,024	0,573
	~~8,133~~	5,536	~~0,678~~	0,570	~~1,104~~	0,832
	5,919	3,984	0,466	0,377	0,783	0,592
Průměrná hodnota [µm]	**6,647**	**4,668**	**0,559**	**0,505**	**0,898**	**0,746**

Vzorek 3

Tab. 100: Naměřené drsnosti vzorku 3 – bez povlaku – 1 strana

Vzorek 3 – bez povlaku – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	5,075	0,688	0,883
	3,827	0,612	0,761
	~~5,917~~	~~0,780~~	~~1,026~~
	4,117	0,634	0,793
	4,062	0,642	0,806
	~~3,777~~	~~0,575~~	~~0,715~~
	4,791	0,700	0,889
	4,058	0,600	0,751
Průměrná hodnota [µm]	**4,322**	**0,646**	**0,814**

Tab. 101: Naměřené drsnosti vzorku 3 – bez povlaku – 2 strana

Vzorek 3 – bez povlaku – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,060	0,629	0,785
	4,505	0,657	0,854
	4,098	0,609	0,774
	4,562	0,706	0,868
	~~3,757~~	~~0,576~~	~~0,728~~
	4,416	0,659	0,843
	4,553	0,679	0,856
	~~5,529~~	~~0,750~~	~~0,962~~
Průměrná hodnota [µm]	**4,366**	**0,657**	**0,830**

Tab. 102: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~3,336~~	~~0,951~~	~~0,512~~
	~~4,462~~	0,678	~~0,855~~
	4,342	0,650	0,832
	3,970	0,618	0,774
	4,118	0,607	0,768
	4,223	~~0,589~~	0,709
	4,084	0,638	0,822
	3,983	0,742	0,687
Průměrná hodnota [µm]	**4,120**	**0,656**	**0,765**

Tab. 103: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~6,624~~	~~0,857~~	~~1,140~~
	4,349	0,731	0,897
	4,905	0,679	0,891
	4,488	0,686	0,876
	~~4,331~~	~~0,625~~	~~0,819~~
	5,075	0,718	0,847
	4,876	0,659	0,896
	5,032	0,793	0,906
Průměrná hodnota [µm]	**4,788**	**0,711**	**0,886**

Tab. 104: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 2 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,540	~~0,663~~	0,832
	4,376	0,644	0,826
	3,862	0,608	0,763
	~~3,447~~	~~0,528~~	~~0,666~~
	3,779	0,564	0,721
	~~4,619~~	0,581	0,752
	3,672	0,620	0,815
	4,286	0,533	~~0,842~~
Průměrná hodnota [µm]	**4,086**	**0,595**	**0,785**

Tab. 105: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak 2 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	4,169	0,586	0,752
	4,886	0,703	0,904
	~~3,984~~	~~0,539~~	0,689
	4,546	0,651	0,811
	~~4,951~~	~~0,755~~	~~0,936~~
	4,586	0,613	0,752
	4,193	0,684	~~0,663~~
	4,907	0,629	0,799
Průměrná hodnota [µm]	**4,548**	**0,644**	**0,758**

Tab. 106: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~4,118~~	~~0,555~~	~~0,705~~
	~~5,687~~	~~0,857~~	~~1,085~~
	4,250	0,651	0,822
	4,841	0,715	0,893
	5,335	0,815	1,033
	4,886	0,748	0,977
	4,309	0,687	0,953
	5,138	0,822	1,059
Průměrná hodnota [µm]	**4,793**	**0,740**	**0,956**

Tab. 107: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	19,546	3,614	4,451
	~~18,613~~	~~3,345~~	~~4,176~~
	19,582	3,500	4,269
	~~20,246~~	~~3,996~~	~~4,826~~
	19,394	3,823	4,638
	19,456	3,408	4,225
	20,187	3,754	4,467
	19,337	3,578	4,313
Průměrná hodnota [µm]	**19,584**	**3,613**	**4,394**

Tab. 108: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~4,309~~	0,660	0,849
	5,697	~~0,747~~	~~1,016~~
	4,741	0,642	0,841
	5,536	0,684	0,890
	4,548	~~0,608~~	~~0,799~~
	~~5,876~~	0,742	0,864
	5,297	0,694	0,953
	4,845	0,633	0,885
Průměrná hodnota [µm]	**5,111**	**0,676**	**0,880**

Tab. 109: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s grafitovými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn + grafit 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~12,502~~	~~1,743~~	~~2,438~~
	11,983	1,513	2,166
	11,216	1,591	2,122
	~~9,787~~	~~1,451~~	~~1,974~~
	10,893	1,695	2,189
	10,632	1,687	2,097
	11,856	1,523	2,157
	10,599	1,577	2,185
Průměrná hodnota [µm]	**11,197**	**1,598**	**2,153**

Tab. 110: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn+Cu 1 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	7,676	1,034	1,358
	6,808	0,939	1,189
	7,651	1,016	1,344
	~~6,389~~	0,911	1,174
	6,646	~~0,777~~	~~1,027~~
	6,571	0,883	1,155
	6,813	0,913	1,210
	~~8,005~~	~~1,037~~	~~1,423~~
Průměrná hodnota [µm]	**7,028**	**0,949**	**1,238**

Tab. 111: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 1 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn+Cu 1 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	9,397	1,137	1,601
	9,399	1,151	1,545
	9,086	~~1,242~~	1,604
	~~9,646~~	1,180	1,576
	~~7,002~~	~~0,919~~	~~1,203~~
	9,344	1,236	~~1,637~~
	7,733	0,989	1,316
	8,078	1,067	1,405
Průměrná hodnota [µm]	**8,840**	**1,127**	**1,508**

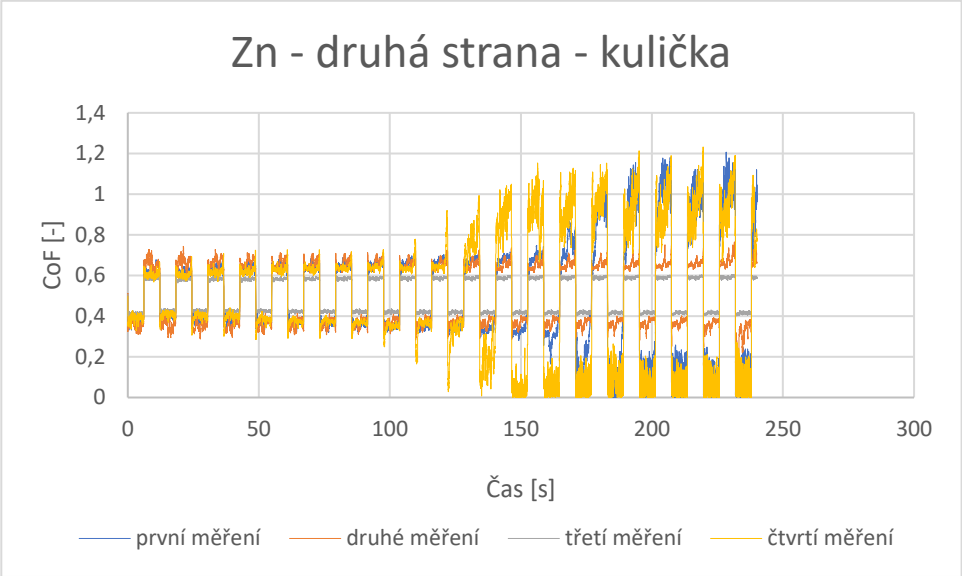
Tab. 112: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 1 strana

Vzorek 3 – Zn+Cu 2 – 1 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	18,614	3,639	~~4,267~~
	20,603	4,239	4,971
	~~18,019~~	3,642	4,365
	18,252	~~3,534~~	4,325
	20,218	~~4,688~~	~~5,419~~
	21,577	4,627	4,380
	~~21,696~~	4,451	5,232
	19,219	3,955	4,645
Průměrná hodnota [µm]	**19,747**	**4,092**	**4,653**

Tab. 113: Naměřené drsnosti vzorku 3 – Zinkový povlak s měděnými částicemi 2 – 2 strana

Vzorek 3 – Zn+Cu 2 – 2 strana			
Parametry drsnosti	Rz	Ra	Rq
Naměřené hodnoty [µm]	~~19,803~~	3,430	4,131
	17,674	3,311	3,982
	18,569	~~3,248~~	3,986
	19,244	3,483	4,147
	18,315	~~3,531~~	~~4,238~~
	~~17,621~~	3,388	4,080
	17,953	3,253	~~3,887~~
	19,132	3,385	4,078
Průměrná hodnota [µm]	**18,574**	**3,375**	**4,067**

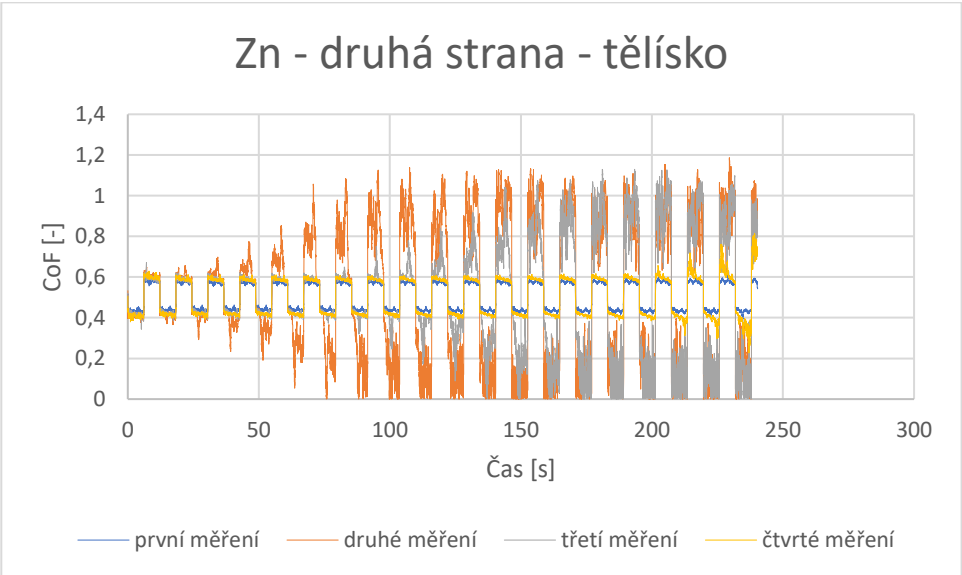
Příloha č. 3



Obr. 91: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak– 2 strana – PIN: kulička

Tab. 114: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak– 2 strana – PIN: kulička

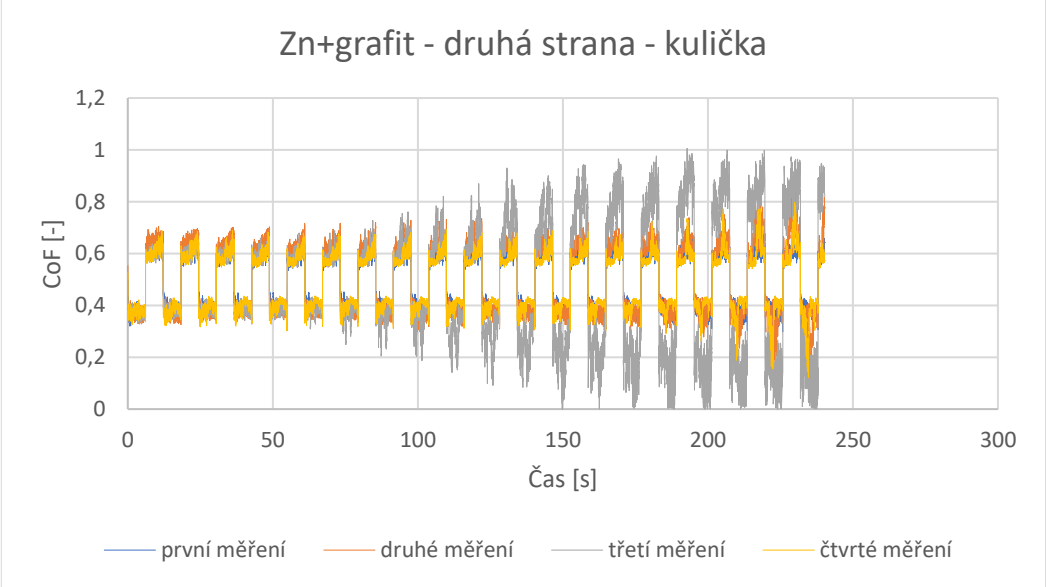
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5083	0,5071	0,5014	0,4973	0,5035



Obr. 92: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak– 2 strana – PIN: tělísko

Tab. 115: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak– 2 strana – PIN: tělísko

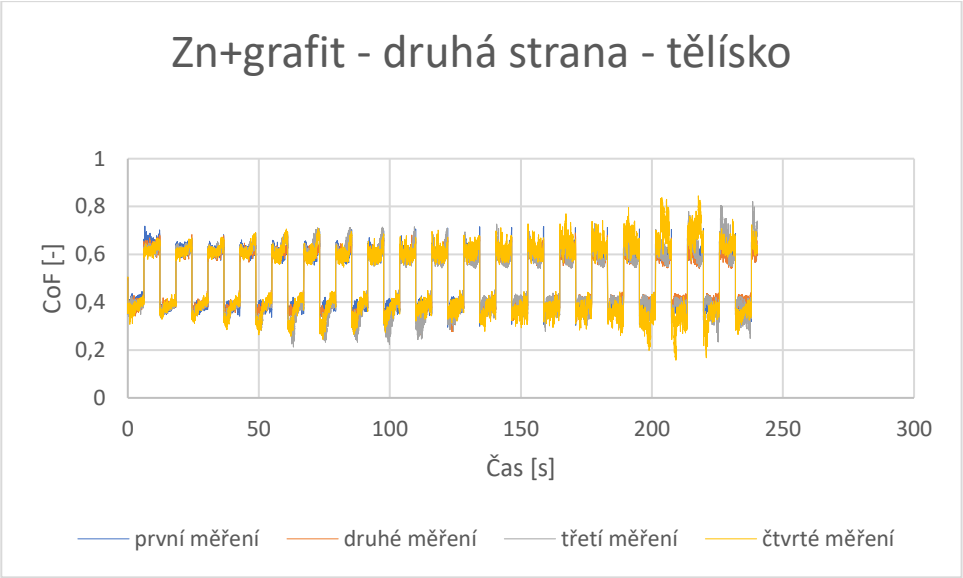
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5048	0,5138	0,5051	0,5022	0,5065



Obr. 93: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: kulička

Tab. 116: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: kulička

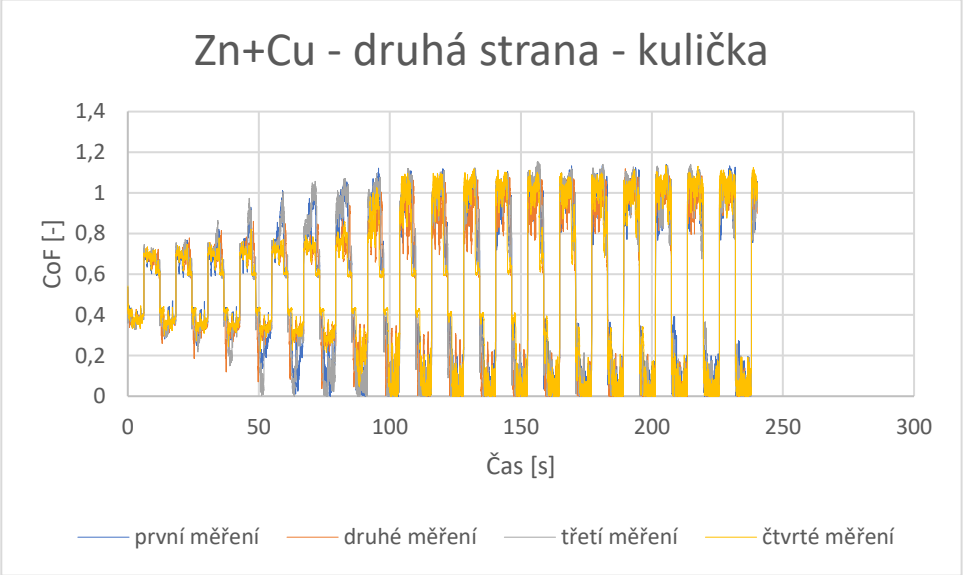
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,4921	0,5044	0,4859	0,4903	0,4932



Obr. 94: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: tělísko

Tab. 117: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi grafitu – 2 strana – PIN: tělísko

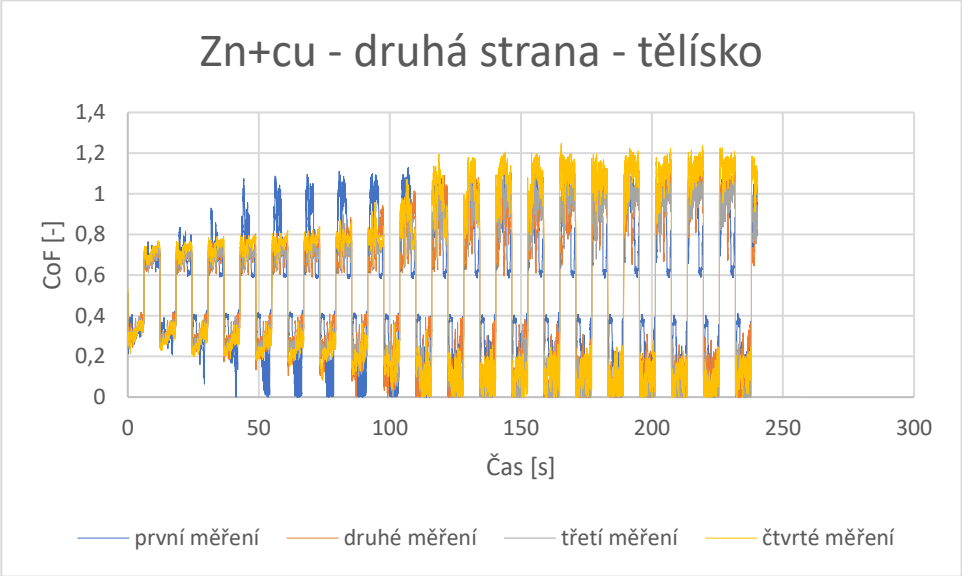
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,4955	0,4927	0,4911	0,4942	0,4934



Obr. 95: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: kulička

Tab. 118: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: kulička

Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5156	0,5012	0,5231	0,5228	0,5157

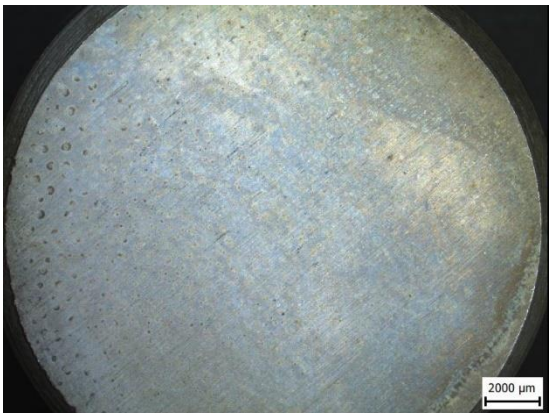


Obr. 96: Naměřené hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: tělísko

Tab. 119: Průměrné hodnoty součinitele tření pro zinkový povlak s disperzními částicemi mědi – 2 strana – PIN: tělísko

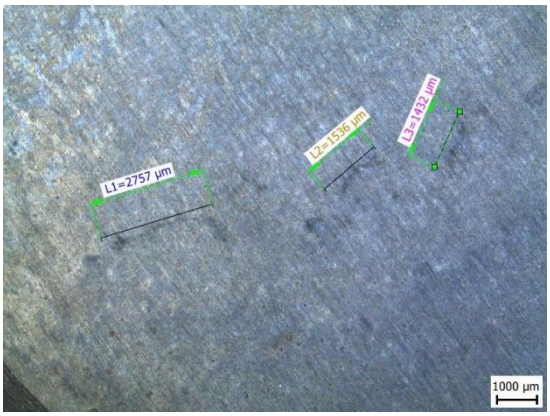
Měření	1	2	3	4	Průměr
CoF [-]	0,5173	0,5012	0,4949	0,5405	0,5135

Příloha č.4



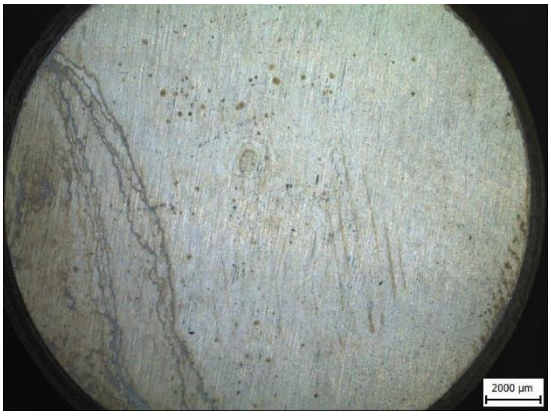
Obr. 97: Zinkový povlak před teplotním šokem

Obr. 98: Zinkový povlak po teplotním šoku

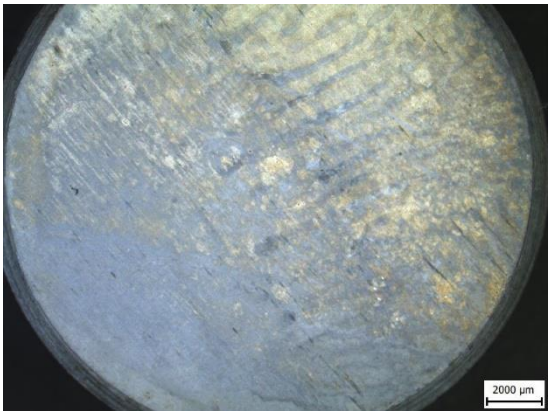


Obr. 99: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem

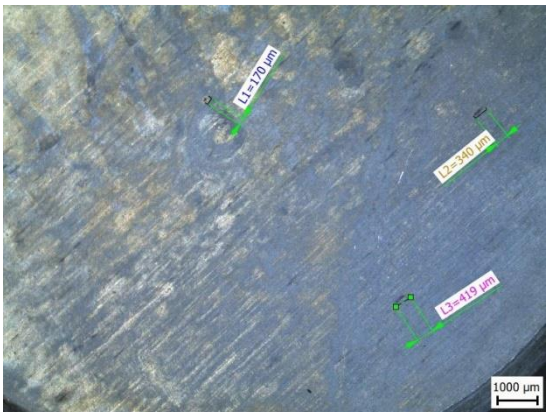
Obr. 100: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku



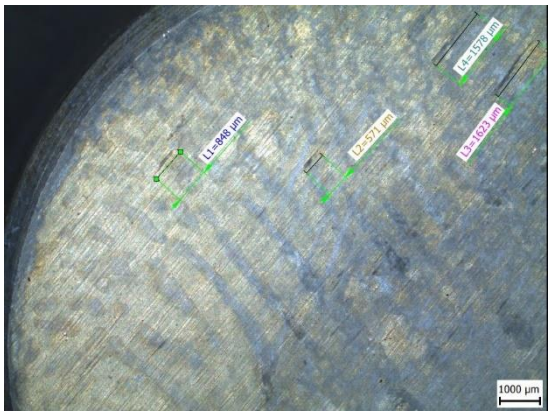
Obr. 101: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem



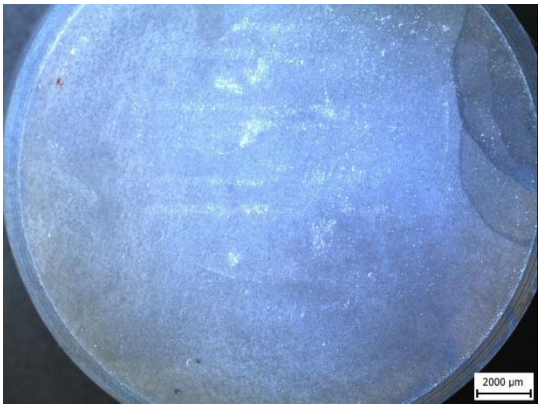
Obr. 102: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku



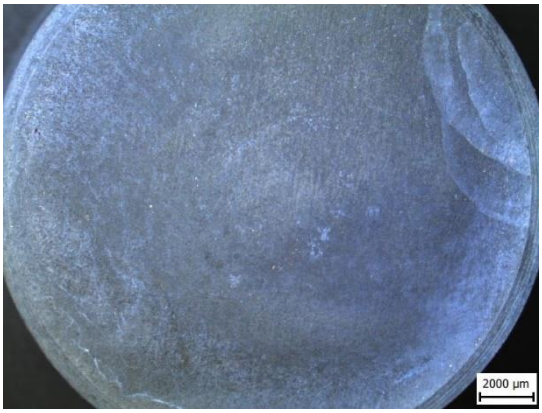
Obr. 103: Zinkový povlak s grafitovými částicemi před teplotním šokem



Obr. 104: Zinkový povlak s grafitovými částicemi po teplotním šoku



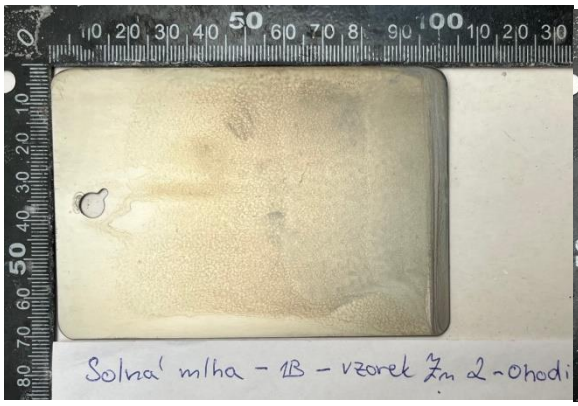
Obr. 105: Zinkový povlak s měděnými částicemi před teplotním šoku



Obr. 106: Zinkový povlak s měděnými částicemi po teplotním šoku

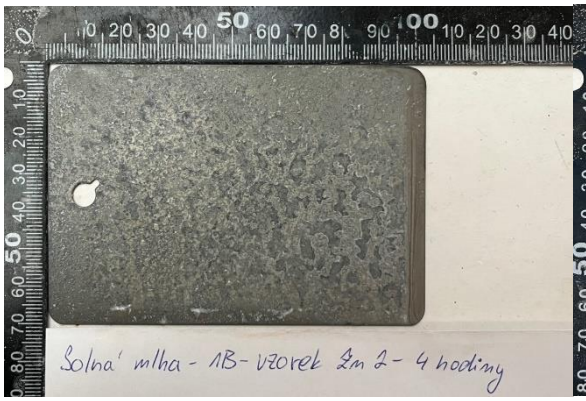
Příloha č. 5

Povlak Zn 2

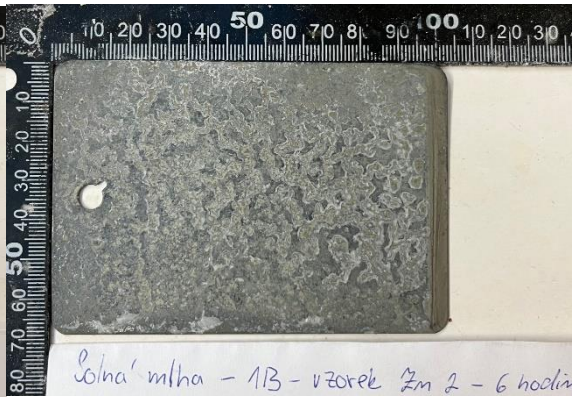


Obr. 107: Zinkový povlak – 0 hodin

Obr. 108: Zinkový povlak – 2 hodin



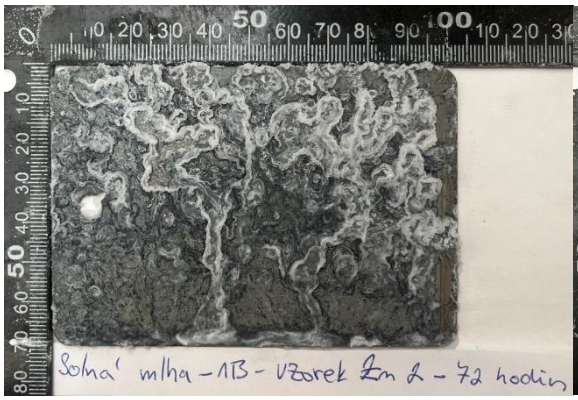
Obr. 109: Zinkový povlak – 4 hodin



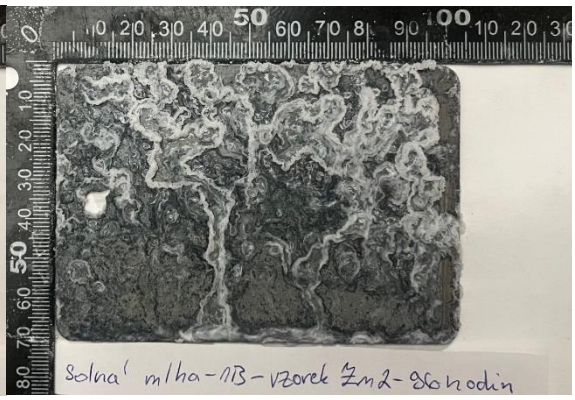
Obr. 110: Zinkový povlak – 6 hodin

Obr. 111: Zinkový povlak – 24 hodin

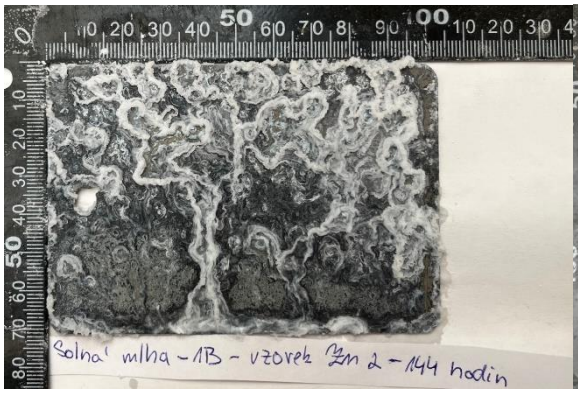
Obr. 112: Zinkový povlak – 48 hodin



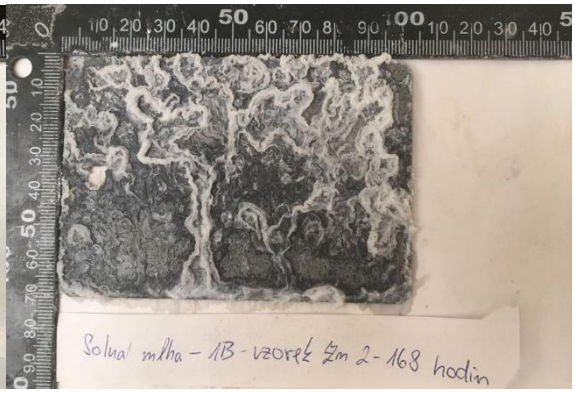
Obr. 113: Zinkový povlak – 72 hodin



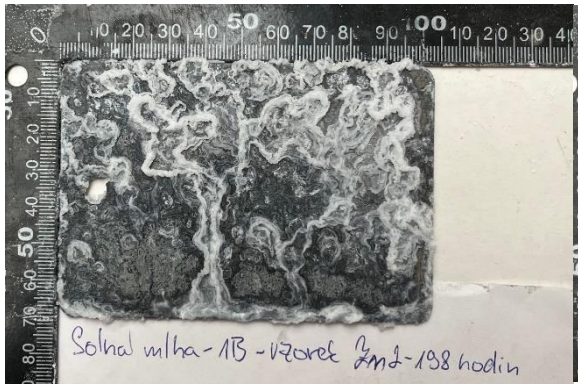
Obr. 114: Zinkový povlak – 96 hodin



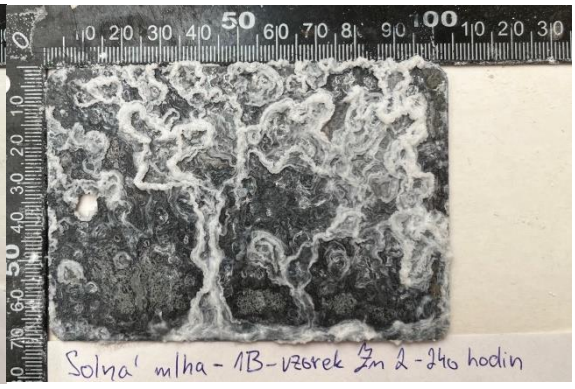
Obr. 115: Zinkový povlak – 144 hodin



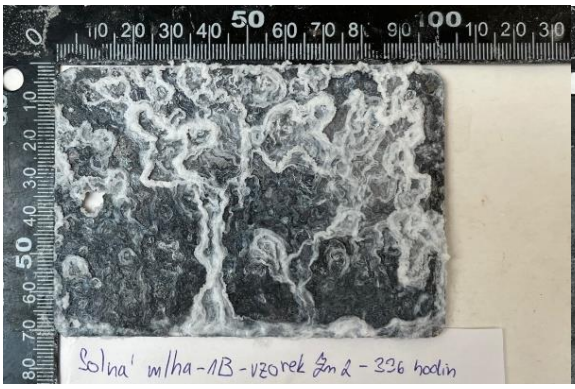
Obr. 116: Zinkový povlak – 168 hodin



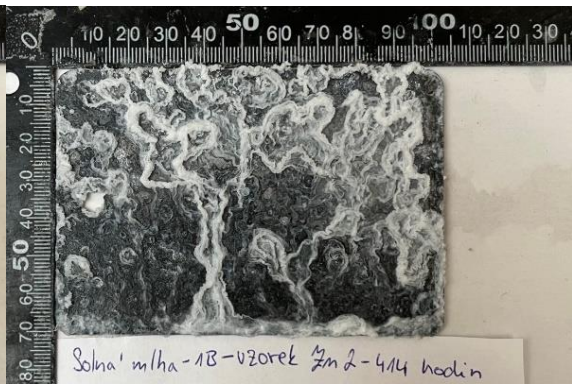
Obr. 117: Zinkový povlak – 198 hodin



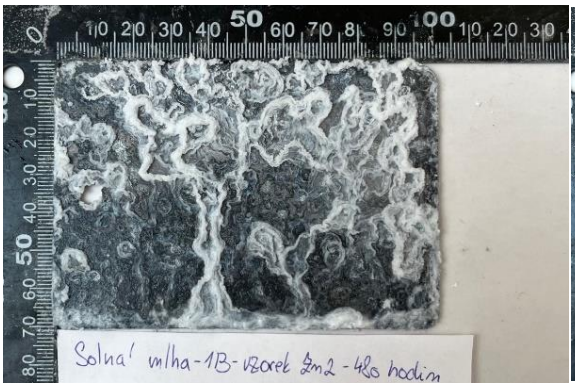
Obr. 118: Zinkový povlak – 240 hodin

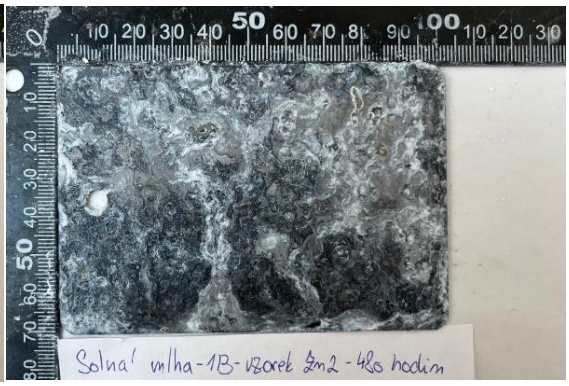


Obr. 119: Zinkový povlak – 336 hodin



Obr. 120: Zinkový povlak – 414 hodin

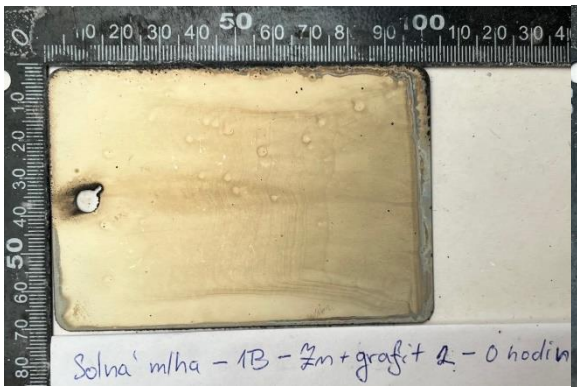




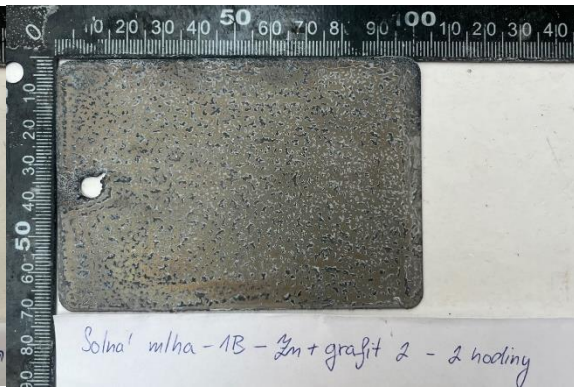
Obr. 121: Zinkový povlak – 480 hodin

(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)

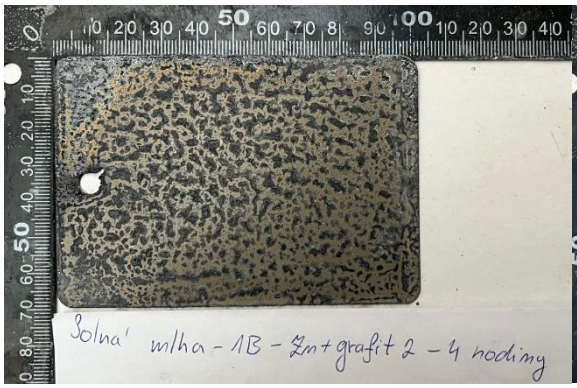
Povlak Zn + grafit 2



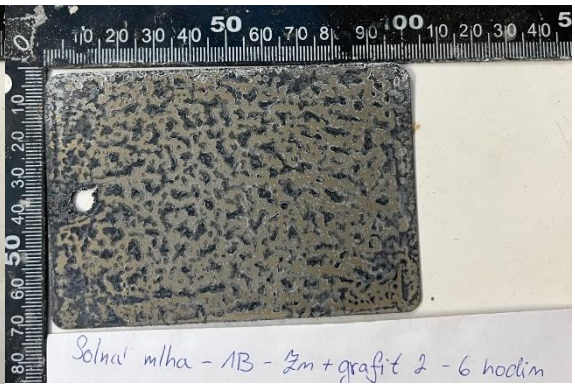
Obr. 122: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 0 hodin



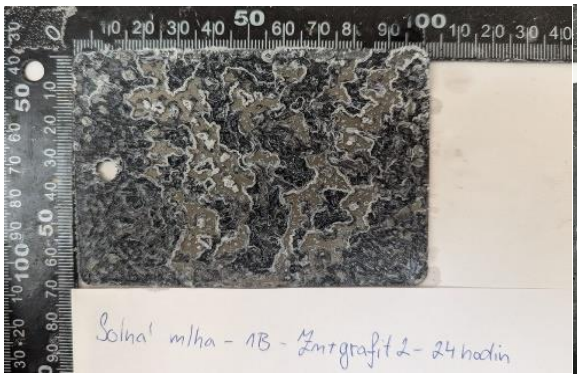
Obr. 123: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 2 hodin



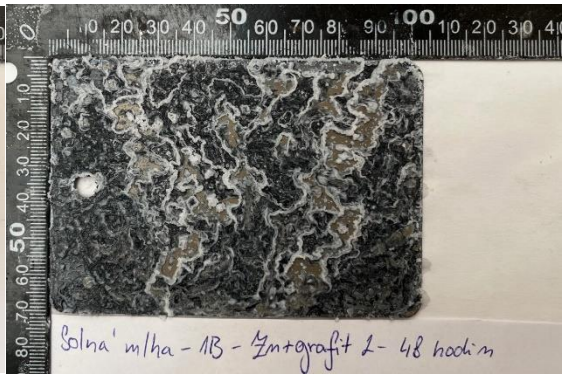
Obr. 124: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 4 hodin



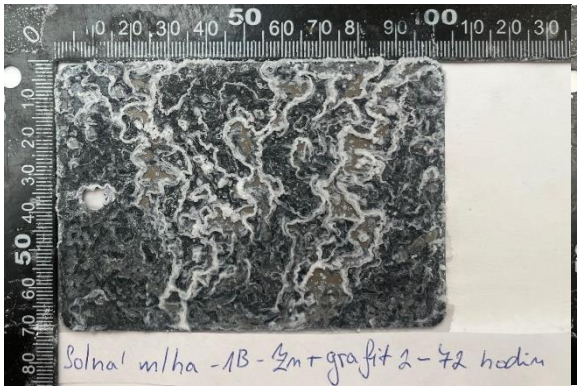
Obr. 125: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 6 hodin



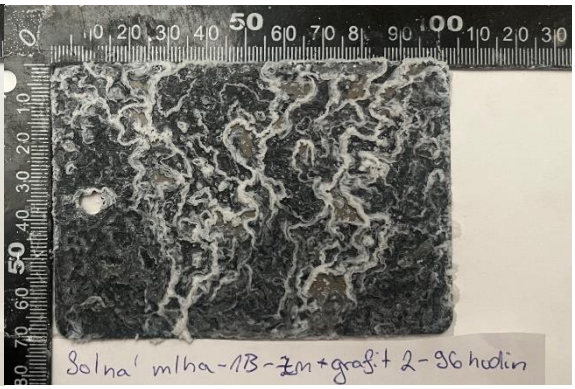
Obr. 126: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 24 hodin



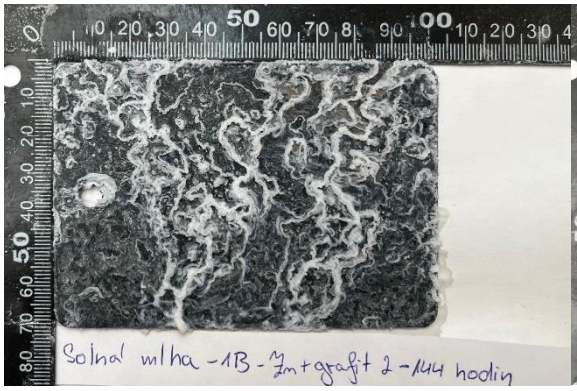
Obr. 127: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 48 hodin



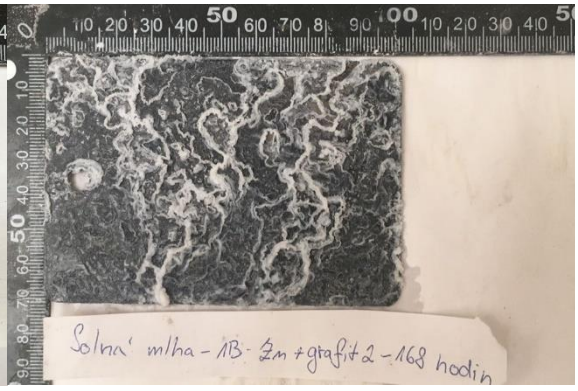
Obr. 128: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 72 hodin



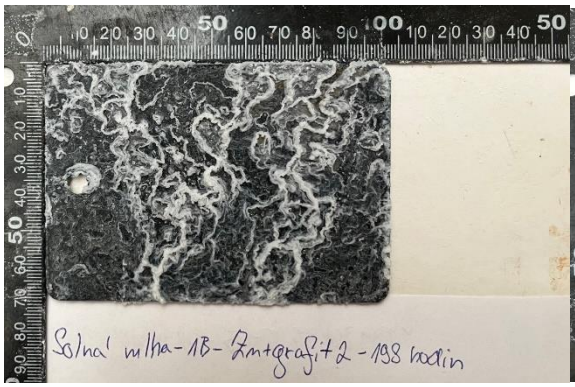
Obr. 129: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 96 hodin



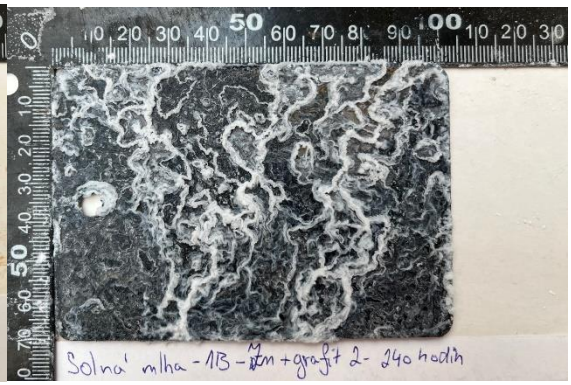
Obr. 130: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 144 hodin



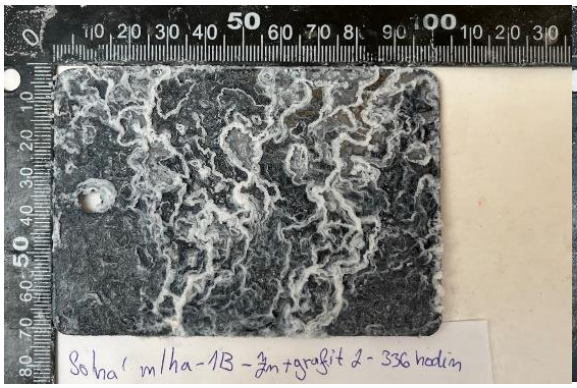
Obr. 131: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 168 hodin



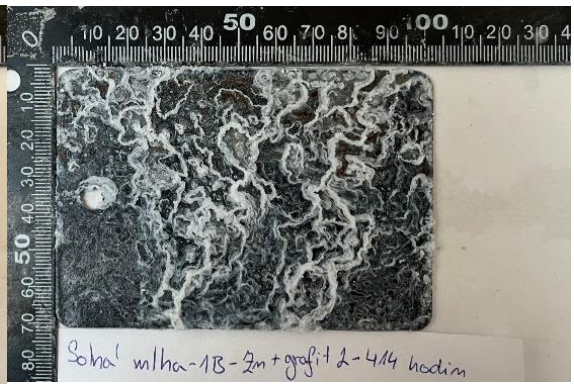
Obr. 132: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 198 hodin



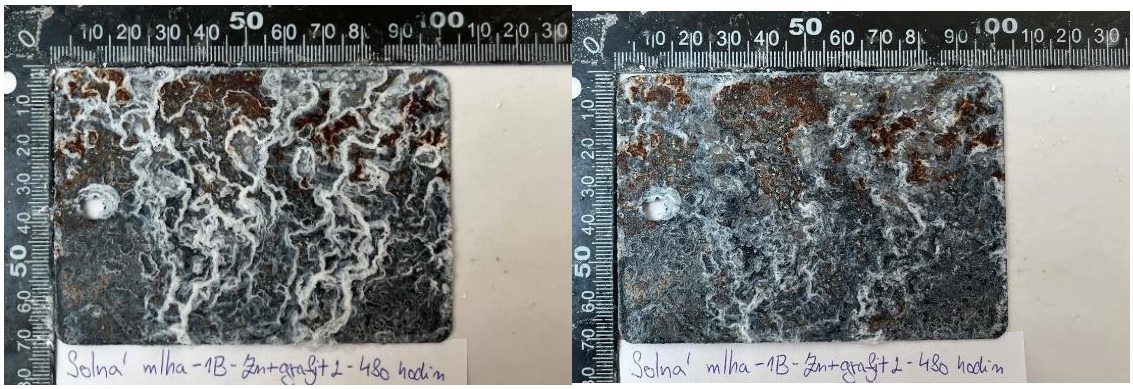
Obr. 133: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 240 hodin



Obr. 134: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 336 hodin

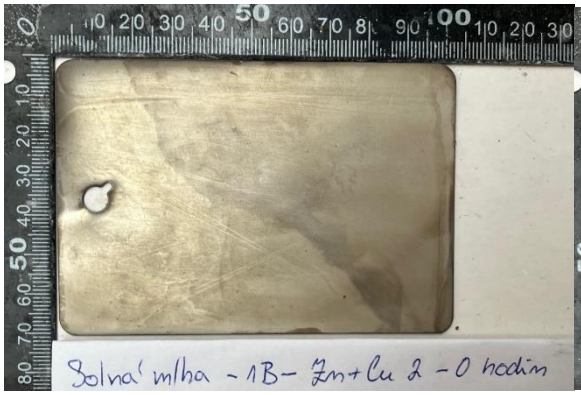


Obr. 135: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 414 hodin



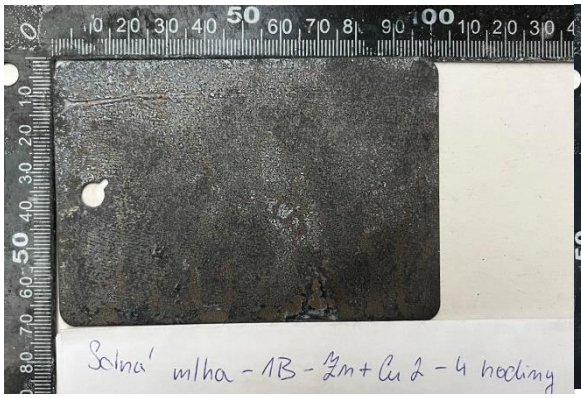
Obr. 136: Zinkový povlak s grafitovými částicemi – 480 hodin
(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)

Povlak Zn + měď 2

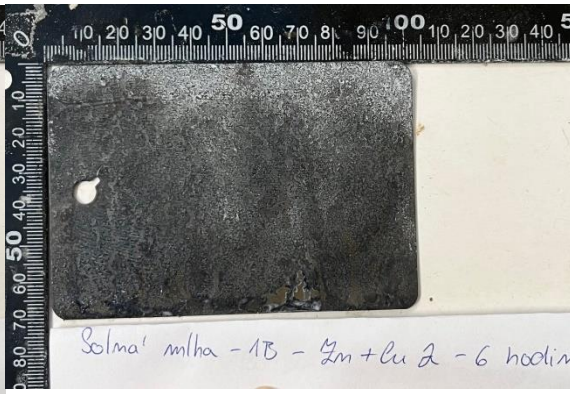


Obr. 137: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 0 hodin

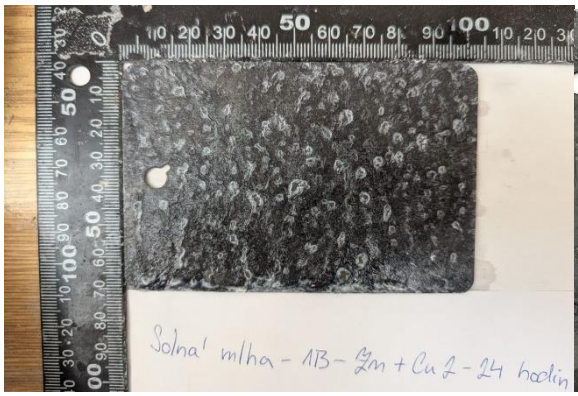
Obr. 138: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 2 hodin



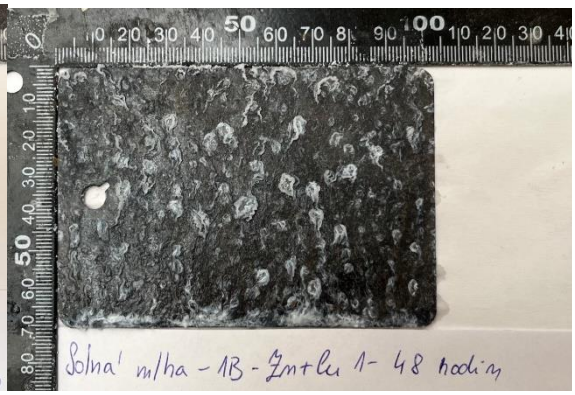
Obr. 139: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 4 hodin



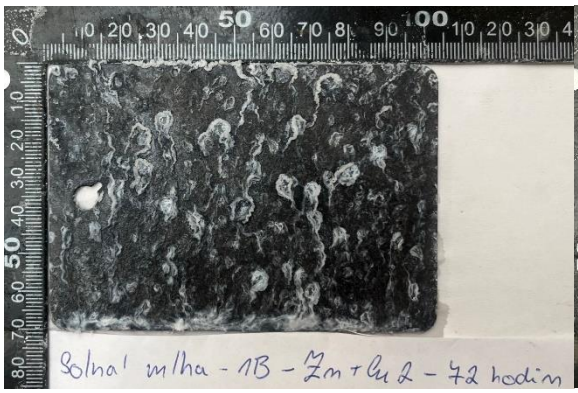
Obr. 140: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 6 hodin



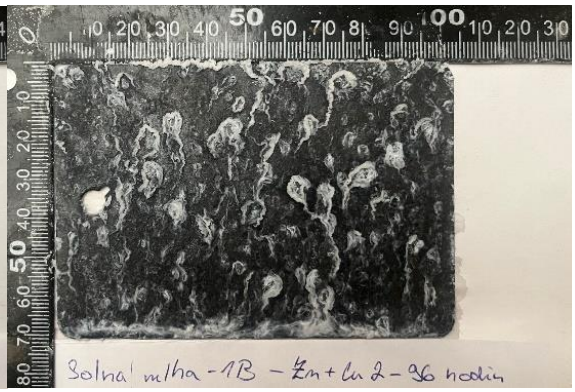
Obr. 141: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 24 hodin



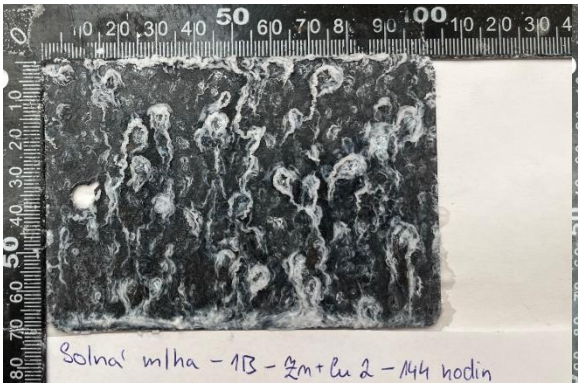
Obr. 142: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 48 hodin



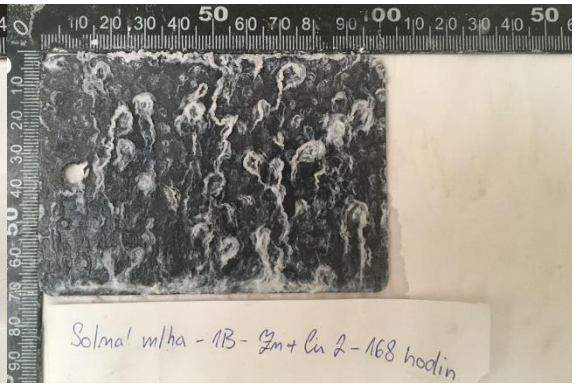
Obr. 143: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 72 hodin



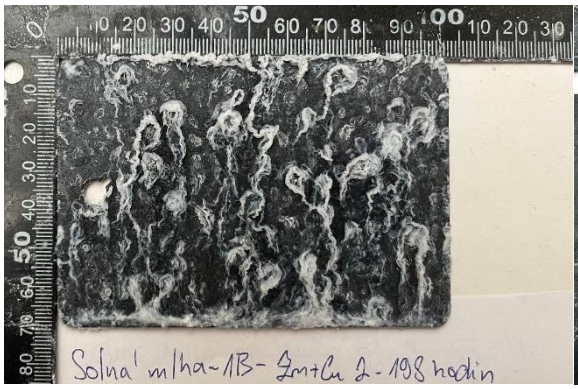
Obr. 144: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 96 hodin



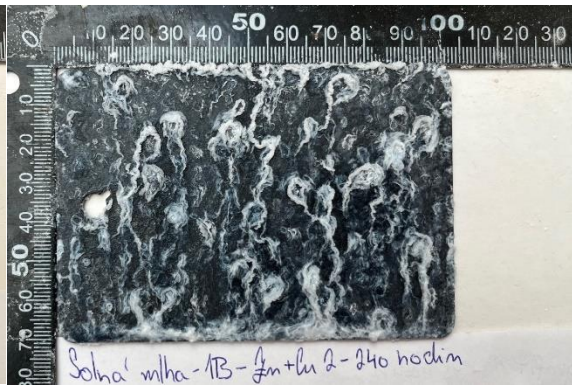
Obr. 145: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 144 hodin



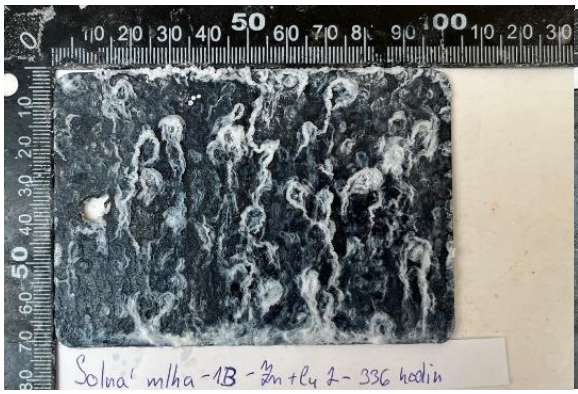
Obr. 146: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 168 hodin



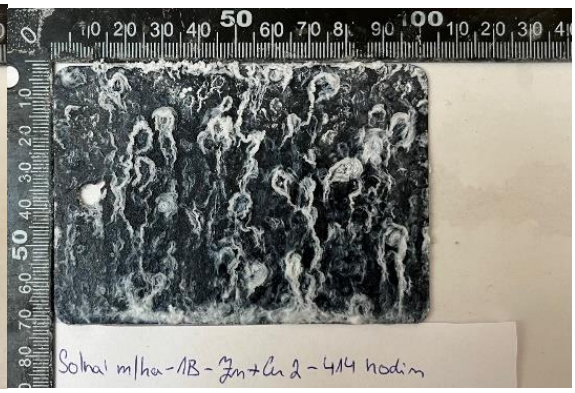
Obr. 147: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 198 hodin



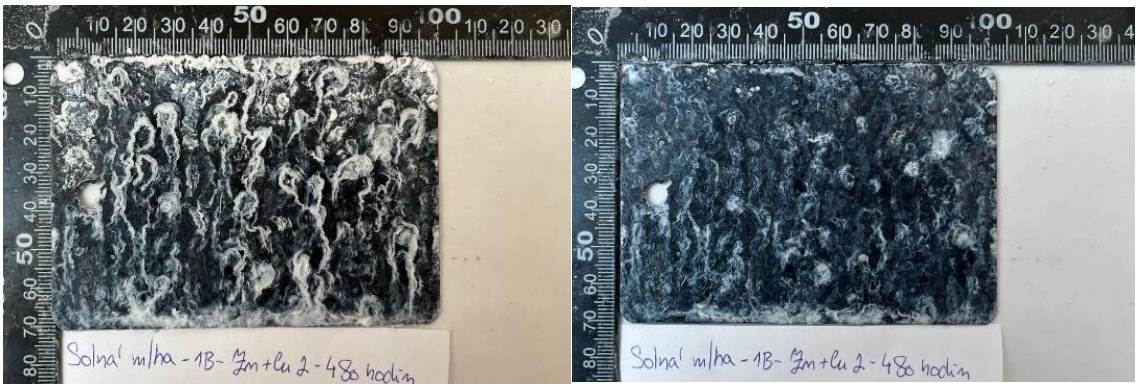
Obr. 148: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 240 hodin



Obr. 149: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 336 hodin



Obr. 150: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 414 hodin



Obr. 151: Zinkový povlak s měděnými částicemi – 480 hodin
(vlevo – vzorek před umytím vodou, vpravo – vzorek po umytím vodou)