

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

VLIV PLASTICKÉ DEFORMACE VÝZTUHY PANELU LETADLA ZE SLITINY HLINÍKU NA PRŮBĚH KOROZNÍHO DĚJE

THE EFFECT OF PLASTIC STRAIN OF THE REINFORCEMENT OF AIRCRAFT PANEL MADE
FROM ALUMINIUM ALLOY ON THE CORROSION PROCESS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ VALOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. BOHUMIL PACAL, CSc.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Valoušek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Materiálové inženýrství (3911R011)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vliv plastické deformace výztuhy panelu letadla ze slitiny hliníku na průběh korozního děje

v anglickém jazyce:

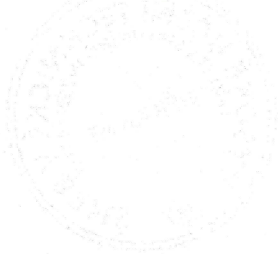
The effect of plastic strain of the reinforcement of aircraft panel made from aluminium alloy on the corrosion process

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude sledován vliv lokální plastické deformace profilů výztuhy panelu letadla z materiálu AlCu4Mg1 na proces výskytu a rozvoje korozního děje v prostředí solné mlhy za definovaných vnějších podmínek.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je zjistit vliv stupně plastické deformace za studena na charakter a intenzitu korozního děje u vysokopevné slitiny hliníku typu AlZnMg.



Seznam odborné literatury:

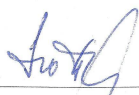
1. PTÁČEK, L. a kolektiv, Nauka o materiálu II., Brno: CERM, 1999. 350 s. ISBN 80 – 7204 – 130 – 4.
2. ROBERGE, R. PIEREE, Handbook of corrosion engineering, USA: McGraw-Hill, 1999, 1129 s, ISBN 0-07-076516-2.
3. ČERNÝ, M. a kol., Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů, 1. vydání, Praha SNTL, 1984, 264 s, DT 620.193:669.018.
4. TULKA, J. Povrchové úpravy materiálů. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005. 136 s. ISBN 80-214-3062-1.
5. MICHNA, Š., LUKÁČ, I., OČENÁŠEK, V., KOŘENÝ, R., DRÁPALA, J., SCHNEIDER, H., MIŠKUFOVÁ, A., a kol., Encyklopedie hliníku, Prešov 2005, ISBN 80-89041-88-4.
6. ČSN EN ISO 9227 (03 8132): Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou. Praha, Český normalizační institut, 2007. 24 s.

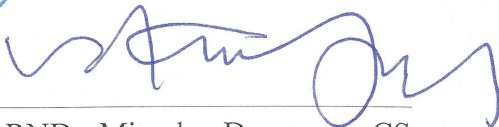
Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Bohumil Pacal, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 14.11.2011




prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na studium koroze výztuže panelu letadla v prostředí solné mlhy. Materiálem výztuže je hliníková slitina AlZnMgCu1,5 po rozpouštěcím žíhání, uvolnění vnitřního pnutí řízenou deformací a umělém přestárnutí s možností malé deformace pro dodržení mezních úchylek. Materiál není opatřen žádnou povrchovou vrstvou. Cílem bylo zjistit jaký má plastická deformace vliv na korozní chování této slitiny. V experimentální části této bakalářské práce byly sledovány velikost a druh korozního napadení vzorků s různou plastickou deformací. Tyto hodnoty byly dále zpracovány, vyhodnoceny a následně z nich byly vyvozeny závěry.

Summary

This bachelor thesis is focused on study of corrosion of reinforcement panel of aircraft in environment of salt fog. The reinforcement material is aluminum alloy AlZnMgCu1,5 after solution annealing, release stress relieving and artificial aging, can be slightly deformed to compliance limit deviation. Material is not provided with any coating. The aim was to find out what is the effect of plastic deformation on the corrosion behavior of this alloy. In the experimental part of this thesis were studied the size and type of corrosion attack of samples with different plastic deformation. These values were further processed, evaluated and were drawn from them conclusions.

Klíčová slova

Slitiny hliníku, koroze, vliv plastické deformace

Keywords

Aluminum alloy, corrosion, influence of plastic deformation

VALOÚŠEK, T. *VLIV PLASTICKÉ DEFORMACE VÝZTUHY PANELU LETADLA ZE SLITINY HLINÍKU NA PRŮBĚH KOROZNÍHO DĚJE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2012. 55 s. Vedoucí doc. Ing. Bohumil Pacal, CSc.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím zdrojů uvedených v přiloženém seznamu.

Tomáš Valoušek

Tímto prostřednictvím bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Bohumilu Pacalovi, CSc. za rady a připomínky, které mi poskytl k napsání této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Simoně Pospíšilové, Ph.D. za pomoc při vyhodnocování experimentu a Ivě Davidové za pomoc při přípravě vzorků.

Tomáš Valoušek

Obsah

1	Úvod	3
2	Slitiny hliníku používané v letectví	4
3	Značení hliníku a slitin podle ČSN EN, ČSN	5
3.1	značení slitin hliníku dle ČSN EN	5
3.1.1	Dle ČSN EN 573–1 až 3	5
3.1.2	Dle ČSN EN 1706	5
3.2	Značení slitin hliníku dle ČSN	5
4	Vliv přísadových prvků na vlastnosti slitin hliníku	7
4.1	Hlavní přísadové prvky:	7
4.2	Další legující prvky:	8
5	Tepelné zpracování slitin hliníku	10
6	Koroze hliníku a jeho slitin	12
6.1	Definice koroze	12
6.2	Vliv chemického složení na odolnost proti korozi	12
6.2.1	Koroze čistého hliníku	13
6.2.2	Vliv jednotlivých prvků na odolnost proti korozi	13
6.3	Vliv deformace na korozní chování hliníkových slitin	13
6.4	Druhy korozního napadení	14
6.5	Vliv prostředí	15
6.5.1	Atmosféra	15
6.5.2	Voda	16
6.5.3	Půda	17
6.5.4	Roztoky solí	17
6.6	Vliv koroze na mechanické vlastnosti	17
6.7	Protikorozní ochrana	18
6.7.1	Ochrana povrchovou vrstvou hliníku a jeho slitin	18
6.7.2	Anodická ochrana	18
6.7.3	Konverzní povlaky	19
6.7.4	Organické nátěry	19
6.7.5	Smaltování	19
6.7.6	Plátování	19
6.7.7	Inhibice korozních procesů	20
7	Hodnocení výsledků korozních zkoušek	21
7.1	Změny hmotnosti	21
7.2	Změny rozměrů	21
7.3	Změny mechanických vlastností	21
7.4	Změny vzhledu	22
8	Cíle práce	23

9	Experimentální část	24
9.1	Materiál použitý pro experiment	24
9.2	Korozní znehodnocení	24
9.3	Metodika hodnocení	26
9.3.1	Příprava metalografických vzorků	26
9.3.2	Pozorování metalografických vzorků	26
9.3.3	Vyhodnocení metalografických vzorků	27
9.4	Naměřené hodnoty	27
9.5	Výsledky experimentu	28
10	Diskuze výsledků	31
10.1	Hodnoty maximálního korozního napadení	31
10.2	Hodnoty minimálního korozního napadení	32
10.3	Vypočítané hodnoty průměrného korozního napadení	32
10.4	Vyhodnocení druhu korozního napadení	33
11	Závěry	34
12	Literatura	35
13	Seznam použitých zkratk	37
14	Přílohy	38

1. Úvod

V dnešní době je letecká doprava jednou z nejvýžívanějších pro cestování na dlouhé vzdálenosti. Vzhledem k ceně komerčních letadel je snaha o to, aby byla letadla co nejdéle ve vzduchu a převážela cestující nebo náklad. To má za následek rychlejší degradaci konstrukce celého letadla. Jako každá konstrukce má svoji danou životnost u letadel to platí také. Hlavními činiteli degradace u letadel jsou koroze a vznik trhlin.

Právě schopnost odhalit zavčas skrytou korozi, zejména u starších letadel je jednou z hlavních bezpečnostních priorit. Aby bylo možné predikovat životnost letadla v závislosti na korozi, je potřeba znát chování daného materiálu v provozním prostředí. Takovou závislost lze zjistit jedině z experimentu, přitom však nejsme schopni dosáhnout přesných provozních podmínek. Ale i tak z experimentu můžeme získat data, která lze dále použít například pro určení servisních prohlídek.

Jelikož jsou dnešní letadla schopny převážet stovky cestujících, je potřeba, aby byla neustále ve výborné kondici, protože jakákoliv nehoda zde může mít fatální následky. Jak pro lidi na palubě letadla, tak i pro lidi na zemi, kde by případně mohlo dojít ke katastrofě. Proto jsou letadla podrobovány neustálým kontrolám. Kontroly se provádí před každým letem, po letu a také zde jsou pravidelné prohlídky v hangárech, které se musejí provádět po určité době provozu. Ty jsou rozděleny do čtyř kategorií.

Podle statistik je 60% vad možno odhalit na zemi, zatímco zbývajících 40% je možno odhalit během letu. Jednou z možností, jak docílit odhalení takových vad je monitorování letadla během letu pomocí nejrůznějších senzorů. Tato technologie se nazývá SHM (System health monitoring), data je možné následně stáhnout při údržbě letadla. S technologií PHM (Prognostic health monitoring) je dokonce možno data v reálném čase posílat do servisního střediska, kde jsou automaticky vyhodnoceny a pokud by se na letadle objevil nějaký problém, je možné ho ihned řešit. Systém funguje na několika senzorech, které jsou umístěny po celém letadle na jeho důležitých místech. Tyto senzory kontrolují poškození, zatížení a napětí, letové parametry a podmínky letu, podmínky prostředí a korozi. Jedním ze senzorů, které lze použít je ETFS (Eddy current testing foil sensors). Tento senzor vytváří vířivé proudy a ty potom v interakci s trhlinou nebo korozí jsou schopny vadu zaznamenat.[23]

2. Slitiny hliníku používané v letectví

Čistý hliník je nemagnetický, neželezný a netoxický kov. Má vynikající korozní odolnost téměř ve všech prostředích, velmi dobře vede proud a teplo. Jeho hustota je pouhých $2,7 \text{ g/cm}^3$, což je zhruba třetina hmotnosti oceli. Vyleštěný hliník na povrchu získává zrcadlový lesk a je schopen odrazu elektromagnetických vln, sálavého tepla, energie záření a také samozřejmě viditelného světla. Čistý hliník má kubickou plošně středěnou mřížku (FCC), což předurčuje jeho výborné plastické vlastnosti, jak za normální, tak i za záporných teplot. Teplota tavení čistého hliníku je $660,4^\circ\text{C}$, tepelná vodivost 247 W/m (při 25°C), atomová hmotnost $26,98 \text{ g/mol}$. [3,15]

Slitiny hliníku mají díky svým vlastnostem obrovské využití nejen v leteckém ale i jemu příbuzném průmyslu. Avšak v letectví jsou na něj kladeny nejvyšší nároky. Využívá se pro části trupu, motoru, nádrží pro paliva a mnoho dalších. Kombinuje v sobě vlastnosti jako jsou vysoká pevnost v poměru k hustotě, výborná korozní odolnost, atd. Jeho korozní vlastnosti se dají dále zvyšovat například povlakováním. [7]

Nejčastější skupinou hliníkových slitin používaných v letectví dle ČSN EN jsou slitiny řady 7, což jsou slitiny typu Al–Zn. Tyto slitiny lze dále tepelně zpracovávat a dosahují výborných mechanických vlastností při zachování dobré korozní odolnosti. Dalším používaným typem jsou slitiny typu Al–Cu, které dosahují také výborných mechanických vlastností, ale mají horší odolnost vůči korozi z důvodu obsahu mědi. [7]

Slitiny typu Al–Zn:

Tyto slitiny jsou v letectví a vesmírném průmyslu často používány pro jejich komplexní vlastnosti, jakými jsou jejich poměr hustota–pevnost, tažnost, odolnost proti únavě a houževnatost. V základním stavu jsou tyto slitiny náchylné ke koroznímu praskání, lokální a interkrystalické korozi a také odlupování. Aby bylo možné tyto slitiny používat pro tak náročné aplikace, jaké vyžaduje letecký průmysl, je potřeba tyto korozní vlastnosti vylepšit. To je naštěstí možné pomocí tepelného zpracování. Například slitiny s tepelným zpracováním T6 (rozpouštěcí žíhání a umělé stárnutí) dosahují vysoké pevnosti, ale jejich korozní vlastnosti jsou stále nedostatečné. Zlepšení přináší tepelné zpracování označované jako T73, T74 a T76. Tyto postupy tepelného zpracování spočívají v rozpouštěcím žíhání a umělém přestárnutí, T73 dále dosahuje nejlepší odolnosti ke korozi za napětí a T76 dosahuje dobré odolnosti vůči korozi po vrstvách. Toto tepelné zpracování sice zlepšuje korozní vlastnosti slitiny, na druhou stranu ale snižuje pevnostní charakteristiky materiálu. Proto je vždy nutné volit určitý kompromis mezi těmito vlastnostmi. Nejběžněji používanou slitinou v letectví je AlZn6Mg2Cu po rozpouštěcím žíhání a umělém stárnutí (7075–T6). Tato slitina je používána i uletadel americké armády, které jsou díky svému nasazení vystavovány extrémním vlivům prostředí. Aby bylo možné zvýšit životnost a současně snížit potřebu jejich servisních prohlídek, začala se hledat náhrada za tuto slitinu. Po provedených testech se došlo ke slitině 7249–T6, která má stejné mechanické vlastnosti, ale vyšší korozní odolnost. [3,12,13]

3. Značení hliníku a slitin podle ČSN EN, ČSN

3.1. značení slitin hliníku dle ČSN EN

3.1.1. Dle ČSN EN 573–1 až 3

Tyto normy jsou platné pouze pro značení hliníkových slitin určených ke tváření.

EN AW – XXXX

EN označuje převzetí z evropské normy

A udává, že se jedná o slitinu hliníku

W udává, že se jedná o slitinu ke tváření

Poslední čtyři číslice značí řadu a chemické složení slitiny hliníku

Číselné značení lze doplnit i konkrétním chemickým složením

Řady hliníkových slitin určených ke tváření:

1000 – čistý Al, minimálně 99 %

2000 – slitina AlCu

3000 – slitina AlMn

4000 – slitina AlSi

5000 – slitina AlMg

6000 – slitina AlMgSi

7000 – slitina AlZn

8000 – slitina Al a další prvky[3]

3.1.2. Dle ČSN EN 1706

EN AC – XXXXX

EN označuje převzetí z evropské normy

A udává, že se jedná o slitinu hliníku

C udává, že se jedná o slitinu určenou k odlévání

První z pěti číslic udává stejně jako u tvářených slitin o jakou skupinu se jedná

Poslední čtyři číslice udávají chemické složení[3]

3.2. Značení slitin hliníku dle ČSN

ČSN XX XXXX

ČSN udává, že se jedná o českou normu

První dvoučíslí udává třídu norem, přičemž hliníku a hliníkovým slitinám jsou přiřazeny skupiny 40–45, které udávají, zda se jedná o slitinu ke tváření nebo k odlévání

Druhé dvoučíslí udává skupinu norem ve třídě norem
Poslední třetí dvoučíslí udává číslo ve skupině norem
Číselné značení lze doplnit i konkrétním chemickým složením[3]

4. Vliv přísadových prvků na vlastnosti slitin hliníku

4.1. Hlavní přísadové prvky:

Měď: používá se jako hlavní přísadový prvek v rozmezí 1–10 %. Běžně se používá s dalšími přísadovými prvky. Měď má výbornou rozpustnost a značně zpevňuje slitinu. Ke zpevnění dochází po tepelném zpracování nebo po procesu vystárnutí hliníkové slitiny, kdy dojde k nárustu pevnosti a tvrdosti, na druhé straně však klesá tažnost. Největší pevnosti se dosahuje při obsahu 4–6 % v závislosti na obsahu dalších prvků. Velkou nevýhodou mědi je snížení odolnosti proti korozi. Pokud se do slitiny Al–Cu přidá hořčík je možné dosáhnout větší pevnosti než u samotné slitiny Al–Cu a navíc se při přirozeném stárnutí zlepši tažnost materiálu. Efekt hořčíku na korozi slitiny Al–Cu je závislý na výsledném produktu a tepelném zpracování.

Mangan: je běžnou nečistotou v elementárním hliníku, kde je jeho obsah v rozmezí 5–50 ppm. Má velice malou rozpustnost. Do 1 % je velice důležitým prvkem pro slitiny, které se tepelně nezpracovávají. Zvyšuje pevnostní charakteristiky, teploty rekrytalizace a citlivost ke kalení. Zvyšuje pevnost v tuhém roztoku nebo po precipitaci jemné intermetalické fáze. Další jeho předností je zjemnění zrna a také nemá vliv na korozi hliníkové slitiny.

Křemík: po železe je křemík považován za druhou největší nečistotu v komerčně používaných slitinách hliníku. Je také hlavním legujícím prvkem pro slitiny ke slévání pro jeho funkci zlepšovat zabíhavost slitin. U některých slitin dává možnost vytvrzování. U slitin ke tváření je používán společně s hořčíkem a jeho obsah je do 1,5 %.

Hořčík: je používán jako hlavní legující prvek, který vede většinou ke zvýšení mechanických vlastností. Jeho maximální rozpustnost v hliníku je 17,4 %. U slitin ke tváření však nepřesahuje množství 5,5 %. Hořčík je vylučován na hranici zrna, jako anodická fáze, tím se však slitina stává náchylnější k interkrystalickému porušení a korozi pod napětím. Často se také používá jako doplňující prvek u slitin, kde je hlavním legujícím prvkem měď nebo zinek. Hořčík výrazně zvyšuje pevnost slitiny bez toho, aniž by došlo k výraznému snížení tažnosti. Celkově má tato slitina dobrou korozní odolnost a také dobrou svařitelnost. V žíhaném stavu se při zatěžování v materiálu tvoří Lüdersova deformace.

Zinek: používá se jako hlavní legující prvek u slitin určených pro tepelné zpracování. Je určen pro slitiny k tepelnému zpracování a dosahuje nejlepších pevnostních charakteristik. Často je kombinován s hořčíkem. Nevýhodou těchto slitin určených ke tváření je náchylnost ke koroznímu praskání pod napětím. U slitin k odlévání dochází zase k praskání při odlévání. Tyto slitiny většinou obsahují další prvky pro zlepšení pevnosti materiálu. Přidáním hořčíku se zlepšuje pevnostní potenciál těchto slitin, speciálně při obsahu 3–7,5 % Zn. Hořčík dále zlepšuje odezvu slitiny k tepelnému zpracování. Negativní stránkou zvyšování obsahu zinku a hořčíku je celkové snížení korozní odolnosti slitiny.

4.2. Další legující prvky:

Bismut: tento prvek má omezenou rozpustnost v tuhé fázi hliníku, jsou měkké, tvoří tak nízkotavitelné fáze, které lehce naruší materiál a také pomáhají mazat nástroje. Proto se používá jako legující prvek z důvodu lepší obrobitelnosti.

Antimon: používá se pro zlepšení koroze za působení mořské vody ve slitinách Al–Mg. Společně s bismutem snižuje náchylnost ke vzniku trhlin za tepla také ve slitinách Al–Mg.

Chrom: má velký vliv na elektrický odpor, u slitin Al–Mg snižuje náchylnost k růstu zrn. Pro slitiny Al–Mg–Si nebo Al–Mg–Zn je přidáván do 0,35 %, zhoršuje rekrystalizaci a pro vytvrditelné slitiny zvýší kalitelnost. Nad tento limit tvoří hrubé částice s dalšími obsaženými prvky jako jsou mangan, železo a titan. U slitin ke tváření má pro svůj malý difuzní poměr za následek jemné rozptýlení fáze, která potlačuje nukleaci a růst zrna. Proto se používá chrom zejména pro kontrolu struktury materiálu. U slitin Al–Mg zabraňuje růstu zrna a u slitin Al–Mg–Si nebo Al–Mg–Zn zabraňuje rekrystalizaci během práce za tepla nebo při tepelném zpracování. Vlákniatá struktura snižuje náchylnost ke korozi pod napětím a nebo také zlepšuje houževnatost. V tuhém roztoku chrom také lehce zlepšuje pevnost. Nedostatkem chromu je zvýšená náchylnost ke kalení, kdy zpevňující fáze má snahu precipitovat na místo existující fáze chromu.

Kobalt: není používán jako běžný přísadový prvek. Používá se zejména ve slitinách Al–Si, které obsahují železo. Dochází k transformaci jehlicovité fáze (hliník – železo – křemík) na zakulacenou fázi (hliník – kobalt – železo) a díky tomu se zvyšují pevnostní a plastické vlastnosti.

Železo: většinou se vyskytuje jako běžná nečistota. Pro jeho nízkou rozpustnost v tuhém stavu se ve struktuře vyskytuje jako intermetalická fáze, čímž například u slitin typu Al–Cu dochází ke snížení pevnostních charakteristik. Pro slitiny Al–Cu–Ni za vysokých teplot a creepu zvyšuje pevnostní charakteristiky.

Olovo: používá se především pro zlepšení obrobitelnosti, kdy se přidává do 0,5 %. U slitin Al–Cu–Mg způsobuje trhliny za tepla.

Lithium: je to nejlehčí prvek, proto je používán pro lehké slitiny a jeho přednostmi jsou, snížení hustoty, zvýšení modulu pružnosti v tahu a pevnostních charakteristik. A to zejména u slitin Al–Cu–Mg. Používá se v množství do 3 hm%.

Molybden: používá se ve vyjíměčných případech a leguje se v malém množství (do 0,3 %) pro zjemnění struktury materiálu.

Nikl: má nízkou rozpustnost v tuhém stavu a u slitin hliníku je používán zejména pro zlepšení mechanických vlastností za vysokých teplot. Dále je schopen zlepšit odolnost proti korozi a také snižuje teplotní roztažnost. Pro jeho absorpci neutronů se nepoužívá v jaderné energetice.

Fosfor: využívá se jako modifikátoru pro slitiny Al–Si, kde vytváří zárodky pro nukleaci křemíku a zlepšuje dále obrobitelnost.

Stroncium: používá se u slévarenských slitin jako modifikátor v množství 0,01 – 0,1 ppm.

Cín: je používán jako hlavní legující prvek u ložiskových slitin pro jeho výborné kluzné vlastnosti. Spolu s prvky jako je Cu, Ni a Si je používán pro ložiska, které jsou vystaveny vysokým rychlostem, zatížením a teplotám. Důležitou vlastností cínu je vliv na stárnutí u

slitin Al–Cu, kdy zvyšuje její citlivost za vyšších teplot a také zvyšuje rychlost celého procesu stárnutí. Tím dochází k nárustu tvrdosti a také ke zlepšení korozních vlastností. Při vyšších obsazích nad 0,05 % u slitin Al–Cu způsobuje vznik trhlin za tepla. Při malých obsazích hořčíku ve slitině je rapidně potlačen vliv cínu na stárnutí, protože spolu dohromady tvoří nekoherentní sekundární fázi.

Titan: ve slitinách se vyskytuje v množství 10–100 ppm. U slitin snižuje elektrickou vodivost, hlavní předností je zjemnění struktury slitiny. Používá se také u svařovacích drátů, kde slouží ke zjemnění struktury svaru a také k jeho ochraně proti praskání.

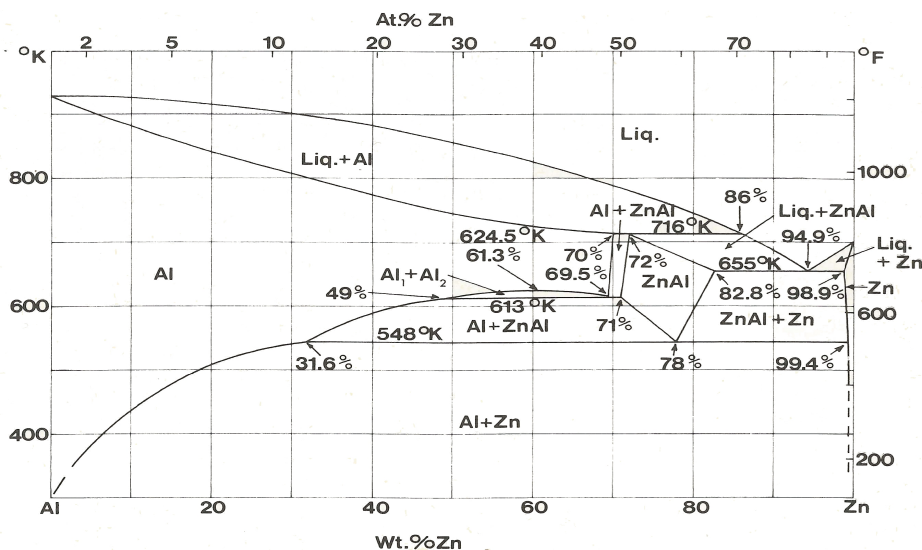
Zirkonium: je legován v množství 0,1–0,3 % pro svou schopnost blokovat zotavení a rekrytalizaci. U slitin Al–Zn–Mg je legován pro získání jemnozrnné struktury. U slitin typu Al–Zn–Mg slouží ke zvýšení rekrytalizační teploty a ke kontrole struktury zrna u slitin určených ke tváření. Vyšší množství se používá u superplastických slitin pro udržení jejich struktury během zvýšených teplot.[3,7,15]

5. Tepelné zpracování slitin hliníku

Základním tepelným zpracováním slitin hliníku je žihání nebo vytvrzování. Vytvrzování jsou dva procesy, které následují po sobě a to rozpouštěcí žihání a precipitační vytvrzování. Tepelné zpracování u slitin hliníku bývá často kompromisem mezi mechanickými a korozními vlastnostmi.[3]

Žihání ke snížení pnutí: Teplota žihání pod teplotou rekrystalizace, používá se rozmezí 300–400 °C, přičemž ke snížení pnutí může dojít již za nižších teplot. Používáme jej pro součásti po svařování, pro tvarově složitě za tepla tvářené odlitky nebo u odlitků do kovových forem.[3]

Rozpouštěcí žihání: Skládá se ze tří částí a to ohřev na teplotu, výdrž na teplotě a následuje ochlazení nadkritickou rychlostí. Při tomto procesu dojde k přesycení tuhého roztoku, kdy jde o to, aby se v něm rozpustila alespoň jedna intermetalická fáze. Teplota ohřevu se u vysokopevných slitin Al–Zn pohybuje v rozmezí 440–500 °C. Nadkritická rychlost je taková rychlost, při které je zamezeno rozpadu přesyceného tuhého roztoku. To znamená, že pro různé materiály bude různá rychlost. Jako chladicího média je zde nejčastěji využívána voda. Po tomto procesu následuje precipitační vytvrzování. U některých slitin k tomuto procesu dochází samovolně již za pokojových teplot. Potom se jedná o přirozené stárnutí. Jelikož tento proces nenastává u všech materiálů, je u některých potřeba použít umělého stárnutí za zvýšené teploty.[3]

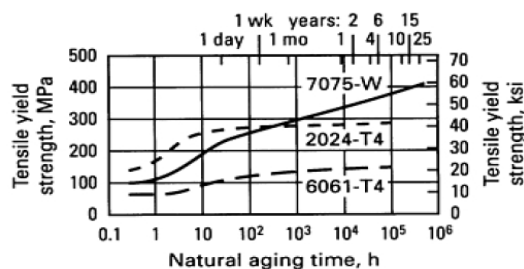


Obrázek 5.1: Binární diagram pro slitiny Al–Zn.[14]

Precipitační vytvrzování: K precipitačnímu vytvrzování může docházet u materiálů s výraznou změnou rozpustnosti v tuhém stavu. Precipitačním vytvrzováním se zlepšují mechanické vlastnosti materiálu, protože dochází ke změnám v jeho struktuře. Konkrétně se zvyšují pevnostní charakteristiky materiálu, na druhé straně se snižuje třeba tažnost a kontrakce.[3,6]

1. **Umělé:** Umělé precipitační vytvrzování probíhá za zvýšené teploty po delší časový úsek. Přesný čas a teplota, kdy dojde k přeměně je závislí zejména na chemickém složení dané slitiny a můžeme ji získat ze znalosti kinetiky rozpadu.[3]

2. **Přirozené:** Přirozené precipitační vytvrzování probíhá již od pokojových teplot. V některých případech tento děj může probíhat i při záporných teplotách. To, zda bude k přirozenému precipitačnímu vytvrzování docházet, závisí na chemickém složení materiálu.[6]



Obrázek 5.2: *Přirozené precipitační vytvrzování vybraných hliníkových slitin, na horizontální ose čas v hodinách a na svislé ose mez kluzu v MPa a ksi.* [15]

Žíhání naměkko: U slitin neželezných kovů se využívá vyjimečně a to k získání rovnovážného stavu po vytvrzení. Postup je podobný jako u rozpouštěcího žíhání, akorát se na konci neochlazuje nadkritickou rychlostí, ale součást se nechá volně vychladnout na vzduchu. Teploty jsou pro žíhání naměkko v rozmezí 350–450 °C.[6]

6. Koroze hliníku a jeho slitin

6.1. Definice koroze

Korozi lze definovat jako chemický nebo chemicko – fyzikální (elektrochemický) problém. Při tomto působení se do materiálu dostávají z prostředí škodlivé látky, které způsobují v materiálu korozi a tím mění jeho především mechanické a další vlastnosti.[1,4]

Koroze působí téměř na všechny používané materiály a má za následek velké finanční ztráty po celém světě. Finanční ztráty vznikají buď korozní degradací použitého materiálu a jeho následnou obnovou, případně použitou ochranou proti korozi materiálu, která může být například jen ve formě nějaké nátěrové hmoty, případně legováním materiálu, aby byl schopen odolávat koroznímu prostředí po delší dobu. Její řešení není jednoduché, protože existuje několik druhů korozního napadení a prostředí. Proto její řešení vždy vyžaduje komplexní přístup k danému problému. Koroze je degradace materiálu, která způsobuje změnu mechanických vlastností. Máme několik druhů korozních prostředí, která se liší v mechanismu a intenzitě působení na daný materiál. Existuje několik druhů korozního poškozování. Jedním z nich je úbytek materiálu, který oslabuje součást a tím pádem může mít za následek vážnou havárii strojních či jiných zařízení. Dalším druhem napadení může být tzv. strukturní koroze, u té nedochází ke značnému úbytku materiálu, nicméně taková koroze je nebezpečná v tom smyslu, že není vidět při běžném pohledu na takto poškozenou součást.[1,4]

U koroze je velmi nebezpečné pokud dochází k působení více faktorů současně. Například dochází k působení chemických a fyzikálních faktorů současně. V tomto případě se koroze šíří mnohem rychleji než kdyby na ni působily oba faktory odděleně.[1,4]

6.2. Vliv chemického složení na odolnost proti korozi

Hliník jako prvek má výbornou korozní odolnost v atmosferických podmínkách, ve sladké a slané vodě, v některých chemikáliích a dalších prostředích. Nevýhoda čistého hliníku je však v jeho špatných mechanických vlastnostech. Z toho důvodu se jako konstrukčního materiálu používají hliníkové slitiny. U těch sice stoupají mechanické vlastnosti, ale ty jsou často vyváženy nižší odolností vůči korozi. Vynikající vlastnosti čistého hliníku jsou dány díky jeho schopnosti pasivace a tvorbě ochranných oxidů na povrchu. Korozní vlastnosti slitin jsou dány množstvím legujících prvků a jejich elektrochemickým charakterem. Nejzásadnější vliv na korozní odolnost má ve slitinách hliníku měď. Další vliv na odolnost proti korozi může mít třeba způsob a kvalita lití, kde vznikají v materiálu nejružnější vady, které dále degradují odolnost proti korozi hliníkové slitiny.[2,3,7,8]

- **Slitiny hliníku bez obsahu mědi:** Tyto slitiny se svojí korozní odolností téměř vyrovnají korozní odolnosti čistého hliníku, avšak jejich mechanické vlastnosti jsou několikanásobně větší. Z toho důvodu jsou často využívány jako konstrukční materiál.[2]
- **Slitiny hliníku s obsahem mědi:** Tyto slitiny mají nejnižší odolnost vůči korozi. U plechů z těchto slitin je používáno přepletování slitinou hliníku bez mědi, aby nedocházelo ke korozi na povrchu součásti vystavené atmosferickým podmínkám. U

odlitků je situace jiná, zde je potřeba rozhodnout, zda je stěna odlitku v dostatečné tloušťce.[2,3,7,8]

6.2.1. Koroze čistého hliníku

Čistý hliník má nejvyšší korozní odolnost. V tomto směru se mu nevyrovná žádná ze slitin hliníku. Aby docházelo ke korozi hliníku musí na něj působit podmínky, při kterých bude buď mechanicky nebo chemicky obrušována vrchní oxidická vrstva. K jeho napadení korozí dochází ve vysoce kyselých a alkalických roztocích. Pokud však bude pH v rozmezí 4–9 hliník bude trpět pouze skvrny na povrchu a lokálním pittingem. Čistý hliník nepodléhá takovým typům koroze jako je mezikrystalická koroze, korozní praskání pod napětím nebo odlupování.[7,8]

6.2.2. Vliv jednotlivých prvků na odolnost proti korozi

Vliv mědi: Má výbornou rozpustnost ve slitinách hliníku a dává jim vysokou pevnost, které je možno dosáhnout díky stárnutí slitiny. Mnoho slitin obsahuje měď jako hlavní přísadu, některé jako přídavný prvek v koncentracích 1–10 %. Měď zhoršuje korozní vlastnosti slitiny hliníku ze dvou důvodů. Prvním důvodem je, že mění elektrochemický potenciál slitiny. To znamená, že čím větší množství mědi bude slitina obsahovat, tím horší budou její korozní vlastnosti. Druhým a zásadnějším důvodem zhoršení korozních vlastností je, že se na povrchu usadí částice nebo se vytvoří vrstvička mědi, která se vytvoří na povrchu jako důsledek koroze. Ty vytvoří mezi povrchem a jádrem materiálu bránu, kterou bude možné pronikání korozních produktů.[7,8]

Vliv manganu: Slitiny s obsahem manganu mají vysokou odolnost vůči korozi. Mangan má stejný potenciál jako má čistý hliník, proto s jeho přítomností nedochází k výraznému zhoršení korozních vlastností. Stejně jako čistý hliník nejsou slitiny s obsahem manganu náchylné na mezikrystalické praskání, korozi pod napětím nebo odlupování.[7,8]

Vliv křemíku: Křemík je katodický vůči hliníku jen o asi 100 milivoltů. Vliv křemíku na korozi je tedy nízký, protože částice křemíku jsou vysoce polarizované.[7,8]

Vliv hořčíku: Slitiny obsahující hořčík mají téměř stejnou korozní odolnost jako čistý hliník. U těchto slitin je také větší odolnost proti slané vodě a některým alkalickým roztokům. U slitin ke tváření obsahující nad 3 % hořčíku se může vyskytnout náchylnost k odlupování nebo ke koroznímu praskání pod napětím.[7,8]

Vliv zinku: Způsobuje ve slitině katodickou reakci a také zvyšuje náchylnost slitiny ke koroznímu praskání pod napětím.[7,8]

Vliv železa: Ve slitině mírně zhoršuje korozní odolnost, proto by slitiny pracující v korozním prostředí měli mít nízký obsah železa.[7,8]

6.3. Vliv deformace na korozní chování hliníkových slitin

Deformace ovlivňuje morfologii zrna a rozložení částic v materiálu. Oba tyto faktory mohou mít vliv na typ a množství lokální koroze. Většina tvářených hliníkových slitin

mají směrovou a anizotropní strukturu, která u vysocepevných materiálů zajišťuje dobrou odolnost proti koroznímu praskání za napětí a odlupování.[7]

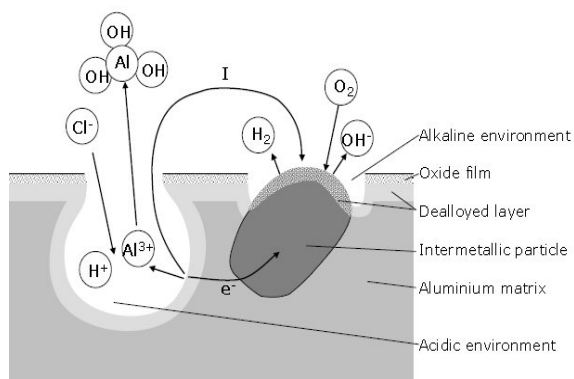
6.4. Druhy korozního napadení

Základní rozdělení koroze:

- **Chemická koroze:** probíhá za normální i zvýšené teploty v elektricky nevodivém prostředí.
- **Elektrochemická koroze:** tato koroze probíhá za normálních teplot a ve vodivém prostředí, kde je součást zapojena jako elektrolyt.
- **Fotooxidace:** tento druh se uplatňuje zejména u plastů a nátěrových hmot.
- **Biologická:** příkladem můžou být kloubní náhrady v těle pacienta.

Bodová koroze: Bodová koroze souvisí s místním napadením oxidační vrstvy, kdy dojde k dosažení potecniálu průrazu. Spouštěcím mechanismem této koroze jsou anionty halogenidů Cl^- , Br^- a I^- , které pronikají přes vrchní vrstvu v místě defektů a dále porušují její elektrochemickou homogenitu. V těchto místech vzniknou mikroanody a vysoká intenzita reakce s katodami obklopenými v zapasivovaném kovu vyvolá korozní děje v materiálu.[3]

Pro odolnost proti bodové korozi je důležitý potenciál stabilního růstu pittingu, který je schopný redukovat průchod Cl^- do povrchu kovu a také potenciál repasivace povrchu. Čím nižší je rozdíl potenciálů mezi průrazem pasivní vrstvy a repasivace, tím vyšší odolnost vůči bodové korozi materiál vykazuje. Stanovení potenciálu hraje významnou roli v určení ochrany před bodovým napadením, kdy snížíme jeho hodnotu pod hodnotu potenciálu repasivace.[3]



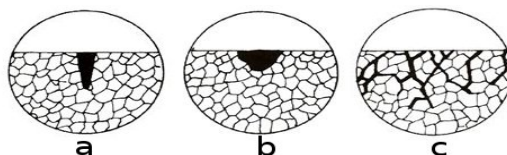
Obrázek 6.1: Schematické znázornění bodové koroze u hliníkových slitin.[21]

Důlková koroze: Platí zde stejný mechanismus jako u bodové koroze, rozdíl je v hloubce proniknutí. Při této korozi platí, že hloubka napadení je téměř stejná jako šířka.[16]

Mezikrystalická koroze: Mezikrystalická koroze může být iniciována z bodové koroze a u hliníkových slitin se uplaňuje zejména pro rekrystalizované struktury. U nerekrystalizovaných, případně částečně rekrystalizovaných struktur probíhá koroze v mezikrystalické oblasti s vysokou koncentrací dislokací.[3]

U této koroze je značná souvislost se strukturou. Při vylučování katodických fází bude

docházet k rozpouštění anodických fází v oblasti hranice zrn bez ohledu na souvislé nebo nesouvislé uspořádání. Při vylučování anodických fází bude nejvyšší koroze dosaženo při souvislém vylučování anodické sekundární fáze. Mezikrystalická koroze může za určitých podmínek způsobit korozi i čistého hliníku a to sice ve vodě při teplotách nad 160 °C.[3]



Obrázek 6.2: a–bodová koroze, b–důlková koroze, c–mezikrystalická koroze[19]

Koroze po vrstvách: Tato koroze je typická pro skupinu součástí vyráběných metodou výkovku nebo vývalku a probíhá rovnoběžně s deformací materiálu za současného rozvrstvení a vzniku trhlin v tomto směru. Tato koroze může probíhat po hranicích zrn, po deformovaných hranicích dendritů nebo transkrystalicky. Koroze po vrstvách je typická pro slitiny, které obsahují mnoho legur a jejich uspořádání je značně nerovnoměrné. Platí pro ni téměř konstantní rychlost šíření a vede k totální degradaci materiálu z hlediska pevnostních vlastností.[3]

Náchylnost ke korozi po vrstvách je závislá na chemickém složení a na tepelném zpracování, kde značný vliv na korozi mají prvky Cr, Fe a Mn. Proto je tato koroze nebezpečná zejména u vysocepevných hliníkových slitin. U vystárnutých slitin se riziko koroze snižuje díky přecházení materiálu do rovnovážného stavu.[3]

Korozní praskání: Vzniká působením několika různých faktorů a to sice metalurgickým, mechanickým a chemickým. Výsledkem tohoto působení je, že dojde ke vzniku trhlin, které se rozloží kolmo vůči působení tahových sil. Trhliny mohou mít charakter interkrystalický, transkrystalický nebo smíšený. Tepelným zpracováním těchto slitin dochází ke zvýšení citlivosti ke koroznímu praskání. Technicky čistý hliník je odolný vůči koroznímu praskání. U jeho slitin způsobuje praskání legující hořčík, obzvláště je –li jeho obsah nad 4,5 % .[3]

Kontaktní koroze: Díky velkému elektronegativnímu potenciálu je koroze hliníku v elektrolytu při kontaktu s jinými ušlechtilými kovy umocňována. Měď je schopna u hliníku vyvolat korozi i bez přímého kontaktu v elektrolytu, stejně tak i za působení atmosféry. Intenzita kontaktní koroze je umocňována především vlivem atmosféry, čím agresivnější bude, tím větší bude výsledná koroze.[3]

6.5. Vliv prostředí

6.5.1. Atmosféra

Při atmosférické korozi za mírného působení atmosféry se tvoří na povrchu pasivační vrstva, která zabraňuje korozi. To má za následek výbornou korozní odolnost hliníku a jeho slitin, výjimkou jsou slitiny s Cu, Zn nebo Ni. U agresivnějších prostředí to může vést až k důlkové korozi. Nejčastějším projevem atmosférické koroze je změna vzhledu povrchu materiálu. Rychlost koroze ovlivňuje zejména chemické složení hliníkové slitiny, přičemž nejhorší vlastnosti bude mít slitina s obsahem Cu. Vliv legur je největší při korozi v čistých atmosférách, protože ty zapříchují snížení pasivity hliníku. V agresivních prostředích bude docházet u slitin se zinkem ke koroznímu praskání nebo korozi po vrstvách.[2,3,7,8]

1. **Venkovská:** Je to nejméně korozivní prostředí, které neobsahuje chemické znečišťující látky, ale obsahuje organické a anorganické částice. Hlavními příčinami koroze zde jsou: vlhkost, kyslík a oxid uhličitý.[7]
2. **Městská:** Je podobná jako venkovská, jen zde navíc působí nečistoty z průmyslu, jako jsou prvky SO_x a NO_x . [7]
 - (a) *Vliv teploty:* V případě atmosferické koroze vede zvýšená teplota k udržení nebo urychlení jejího vysušeného stavu, tím pádem se s vyšší teplotou koroze nezhoršuje.[7,8]
 - (b) *Vliv vlhkosti:* Hliník má vůči vodě dobrou odolnost, to však neplatí pokud je voda na povrchu hliníku přítomna při atmosferických podmínkách. Voda totiž v kontaktu se vzduchem rozpouští kyslík, který musí být na povrchu hliníku přítomný, aby mohl vytvořit ochrannou oxidickou vrstvu.[7,8]
 - (c) *Doba působení:* S časem se korozní napadení hliníku snižuje, což je dáno účinkem pasivace povrchové vrstvy. Tato pasivace korozi po čase buď zastaví nebo ji alespoň značně zpomalí, a to bez ohledu na složení slitiny i typu prostředí kde koroze probíhá.[7,8]
3. **Přímořská:** Je to jedno z nejhorších prostředí pro korozi hliníku. Tato atmosféra obsahuje drobné částičky mořské soli, které jsou rozptylovány pomocí větru a pomocí něj se usazují na materiálu. Intenzita napadení je zde závislá na vzdálenosti od moře, dále na směru a rychlosti působení větru a na salinitě. Salinita je parametr, který udává množství mořských aerosolů obsažených v přímořské atmosféře. Produkty obsažené v této atmosféře, jako jsou chloridy urychlují korozi. Z toho plyne, že čím vyšší salinitu bude atmosféra mít, tím agresivněji působí na korozi kovů. Pokud se chloridy objeví na materiálu v podobě rosy, dojde k nárustu vodivosti na povrchu materiálu a tím se může zničit vytvořená pasivační ochranná vrstva materiálu.[7,8,20]
4. **Průmyslová:** Tato atmosféra je charakteristická pro místa s výskytem těžkého průmyslu. Může být znečištěna koncentracemi oxidem siřičitým, chlorem, fosforem, oxidy dusíku a dalšími průmyslovými emisemi. Tyto emise v kombinaci s precipitací nebo mlhou tvoří silná korozní prostředí.[7,8]

6.5.2. Voda

Hliník má ve vodě dobré korozní vlastnosti zejména do teplot kolem $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kdy se na povrchu tvoří odolná ochranná vrstva, která povrch chrání lépe než vrstva vytvořená za atmosferických podmínek. Nad teplotu varu už se na povrchu tvoří vrstva korozních produktů a současně dochází k mezikrystalovému napadení, které může vést až k praskání. Čím je hliník čistější, tím větší teplota bude potřeba k jeho degradaci. Hliník má celkově dobré korozní chování v mořské vodě na rozdíl od ostatních konstrukčních materiálů. Jeho odolnost se však opět odvíjí od jeho čistoty, kde platí, že čím čistější, tím větší odolnosti bude dosahovat. Nejhorší budou slitiny s obsahem Cu.[2,3,7,8]

Na korozi hliníku ve vodách má značný význam kyselost, tedy pH vody. Platí, že v

neutrálních hodnotách (5,5–8,5 pH) nedochází k velkému úbytku materiálu vlivem koroze. Obecně nelze stanovit, jaké lze předpokládat korozní chování při použití ve vodě, protože to závisí na složení vody, ve které bude materiál používán. Přesto ale platí, že v kyselých a zásaditých vodách probíhá koroze intenzivněji a rovnoměrně. Proces koroze je ovlivňován i dalšími faktory, jako jsou třeba teplota, která ovlivňuje například rozpouštění plynů nebo proudění vody. To zajišťuje zejména rovnoměrnou korozi a tím zabraňuje korozi důlkové.[2,3,7,8]

6.5.3. Půda

Jelikož chemické složení půdy je velice různorodé a v různých lokalitách bude jiné, platí zde podobná závislost jako u koroze ve vodním prostředí. Koroze je zde tedy opět závislá především na pH konkrétní půdy. K aktivaci koroze dochází v půdách s nízkým pH, jako jsou třeba rašeliniště nebo vápenité půdy a také v půdách s vysokým pH. To mohou být například půdy znečištěné od stavebních materiálů.[2,3,7,8]

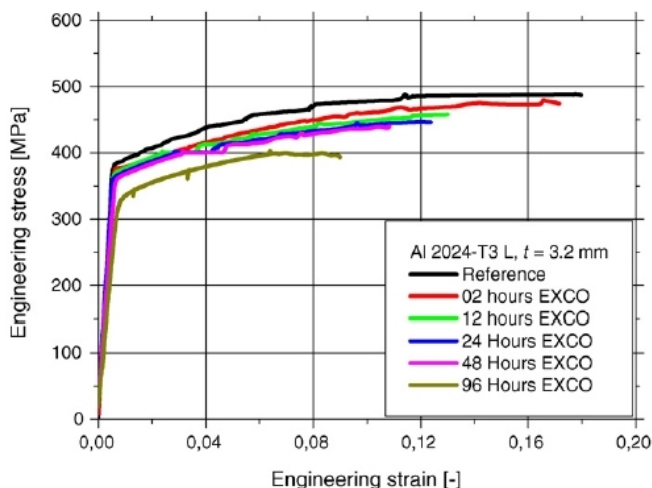
V půdách je často obsaženo velké množství iontů Cl^- , které způsobují bodovou korozi. Vzhledem k rovnoměrným podmínkám a provzdušnění v písčitých půdách, probíhá i zde koroze rovnoměrně. Naopak u hlinitých a jílovitých půd je větší nebezpečí bodové koroze z důvodu nerovnoměrných podmínek.[2,3,7,8]

6.5.4. Roztoky solí

Koroze v roztocích solí je závislá na pH a na charakteru aniontů a kationtů. Z důvodu malých rozměrů jsou u aniontů nejagresivnější chloridy. Jelikož tyto prvky dobře pronikají póry na povrchu materiálu, je jejich schopnost napadat materiál závislá právě na jejich množství. Kationty na korozi hliníku nemají takový vliv. Celkově je odolnost hliníku ke korozi v roztocích solí na dobré úrovni. Jeho odolnost lze ještě zvýšit zesílením ochranných vrstev a to chemickým nebo elektrochemickým způsobem.[2,3,7,8]

6.6. Vliv koroze na mechanické vlastnosti

Při korozi dochází v materiálu ke zhoršení jeho mechanických vlastností. Dochází k adsorpci látek z prostředí, které kromě změny chemického složení mění také hlavně mechanické vlastnosti materiálu. K adsorpci škodlivých látek z okolního prostředí dochází přes vady v jeho povrchu. Z toho plyne, že změna mechanických vlastností bude závislá na korozním napadání materiálu. Celková změna mechanických vlastností je vyvolána zejména působením aktivních látek na povrchu a snížením jejich povrchového napětí, kdy dochází ke vzniku plastických kluzů a růstu strukturních defektů. Takto vzniklé defekty, ať už povrchové nebo vnitřní způsobují snížení pevnosti, usnadňují deformaci a zrychlují rozrušení kovu a tím mění jejich mechanické vlastnosti k horším. Tyto defekty si můžeme představit jako mikroskopické trhlinky, které se při zatížení materiálu zvětšují. Současně s jejich zvětšováním se v materiálu vytvářejí další vady, které mohou být povrchové i podpovrchové. Největší riziko v tomto směru představují povrchové vady, které na povrchu umožňují průnik dalších nežádoucích prvků z okolí.[1]



Obrázek 6.3: Příklad vlivu působení koroze na mechanické vlastnosti slitiny Al–Cu po rozpouštěcím žihání, tváření za studena a stárnutí. Všechny křivky představují diagram tahové zkoušky a jednotlivé křivky vyjadřují dobu působení korozního prostředí. Na vodorovné ose je vynesena deformace a na svislé ose je napětí. [18]

6.7. Protikorozní ochrana

6.7.1. Ochrana povrchovou vrstvou hliníku a jeho slitin

Hliníkové výrobky jsou někdy pokryty na povrchu tenkou vrstvou čistého hliníku nebo hliníkové slitiny. Jestliže je tato vrstvička anodická vůči jádru slitiny hliníku, nazýváme ji alclad. Takový povlak elektrochemicky brání jádro proti napadení korozi na otevřených hranách a na obroušených nebo již zkorodovaných plochách. Jestliže je koroze v kontaktu s produktem z původně anodické povrchové vrstvy proudí do katodického jádra, kde se rozpouští a tím chrání materiál proti korozi. Účinnost této ochrany je závislá na schopnosti dosáhnout optimální hodnoty toku, který je závislý na rozdílu potenciálů povrchové vrstvy a jádra. Korozní potenciál mezi povrchovou vrstvou a jádrem je důležitý pro určení vhodného povlaku. S mědí se snižuje anodický potenciál, proto je u těchto slitin využíváno čistého hliníku jako povlaku pro ochranu těchto slitin proti korozi. Zinek anodický potenciál zvyšuje. Jelikož ho zvyšuje více než Mg, používá se proto jako povrchová vrstva pro slitiny obsahující hořčík. Tato metoda se využívá zejména u hliníkových plátů, ale také trubek, drátů, atd.[7]

6.7.2. Anodická ochrana

Je to elektrochemická metoda, kdy se na povrchu vytvoří vrstva Al_2O_3 . Touto metodou lze povrchově chránit proti korozi pouze hliník, titan nebo hořčík a pouze u hliníku se tato metoda používá v průmyslu. Máme tři základní druhy anodické ochrany:

- chromové
- sulfidické
- tvrdé

Tato ochranná vrstva dosahuje běžně hloubky od 5 do 18 μm v extrémních případech může dosahovat až okolo tloušťky 50 μm . Princip této metody spočívá ve vytvoření pórů

v ochranné vrstvě, které obsahují kyslík a tvoří bariéru mezi povrchem a jádrem materiálu. Dále je potřeba tyto póry zatěsnit, což lze provést pomocí mírně okyselené horké vody, deionizovanou vodou, horkým dichromátovým roztokem nebo nikl acetátovým roztokem. Anodické ochranné povlaky mají výbornou odolnost proti atmosferické a vodní korozi. Studie naznačují, že korozní odolnost u této metody lze ještě dále zvýšit pomocí impregnace teflonem (PTFE).[7]

6.7.3. Konverzní povlaky

Jsou to přilnavé povrchové vrstvy z nízkorozpustných oxidů, fosfátů nebo chromátových směsí produkovaných jako reakce vhodných činidel s povrchem kovu. Od anodických povlaků se liší ve způsobu nanášení, kde konverzní povlaky jsou nanášeny oxidačně – redukční metodou. Používají se třeba pro opravu bodových poruch anodických povlaků. Pro jejich nízkou pevnost nejsou vhodné pro součásti, které budou mechanicky obrušovány na povrchu.[7]

6.7.4. Organické nátěry

Čistý a předem připravený hliník je výborný podklad pro organické nátěry. Nátěry je možné používat u součástí pro vnitřní i vnější použití, ať už jako funkční nátěr nebo dekorativní nátěr. Pro vnitřní použití lze nanášet nátěr přímo na perfektně očištěný povrch hliníku, je vhodné použít smyvatelný podkladový nátěr nebo zinečnato – chromičitý podklad, což zlepšuje vlastnosti povrchového nátěru.[7]

Pro venkovní použití je vhodné ošetřit podkladový nátěr anodickou ochranou nebo chemickým povlakem a na povrch použít nátěr typu pryskyřice nebo polyurethanu. Novinkou v této oblasti je VOC (volatile – organic compound), což je vysoce kvalitní základ. Maximální ochrana závisí na neporušeném a stejnoměrném nátěru. Pokud není nátěr dokonalý, je potřeba jej opravit, má totiž zásadní dopad na aplikaci a životnost.[7]

Z barev lze na hliník použít jen neznečišťující barvy vyrobené z řas a dalších mořských organismů. Barvy určené pro ocel zde nelze použít, protože obsahují těžké kovy, které by mohly na hliníku způsobit bodovou korozi.[7]

6.7.5. Smaltování

Porcelánové smaltování je skelná povrchová úprava určená pro zlepšení vzhledu a ochrany povrchu součástí. Tato povrchová úprava vyniká mezi ostatními keramickými povrchovými úpravami zejména pro svou skelnou povahu a také pro účel jejího použití. Produkty z hliníku jako jsou nádrže, plavidla, značky a další mohou díky porcelánovému smaltování získat lepší chemickou odolnost nebo odolnost proti povětrnostním podmínkám. Špičkové porcelánové smaltování pro hliník má vysoký lesk, dobrou kyselost, mechanické vlastnosti a odolnost proti povětrnostním podmínkám.[7]

6.7.6. Plátování

1. **Galvanické pokovování:** Galvanické pokovování se používá u hliníkových slitin k získání kovového vzhledu, zvýšení odolnosti proti vodě, abrazi nebo erozi. Dále

zvyšuje elektrickou vodivost a zlepšuje schopnost pájení a také třecí vlastnosti materiálu. Hlavním důvodem pro použití galvanického pokovování je však odolnost proti korozi, neposkytují však tak dobrou ochranu v atmosferických podmínkách, jako třeba anodická ochrana. Proto není jejich použití tolik rozšířené. Galvanické pokovování hliníkových slitin je obtížné z důvodu vysoké afinity hliníkových slitin ke kyslíku, který ihned vytvoří na povrchu oxidickou vrstvu. Jelikož jsou používané materiály pro tuto technologii často katodické vůči hliníku, postrádá povlak schopnost odvést lokální galvanickou korozi.[7]

2. **Chemické pokovování:** Pro velkou škálu použití v leteckém a elektrotechnickém průmyslu není dobré použít nickel pro jeho elektrické vlastnosti. Tato technologie je však příliš drahá a používá se jen v případě, kde není možné použít galvanické pokovování.[7]

6.7.7. Inhibice korozních procesů

Inhibice může být použita ke kontrole koroze hliníkové slitiny. Jako inhibitorů se běžně používá chrom, křemík, rozpustné oleje a další. Chromová inhibice je efektivní při dostatečně vysokých koncentracích, jestliže je koncentrace nedostatečná, může naopak zapříčinit korozní napadení slitiny.[7]

7. Hodnocení výsledků korozních zkoušek

Korozní chování materiálů je závislé na prostředí kterému se vystavují, na době po kterou se v daných podmínkách nacházejí a také na stavu materiálu samotném. Nejspolehlivějším ukazatelem chování materiálu je jeho sledování při provozu přímo v konkrétních podmínkách. Před zkoušením korozního chování materiálu je potřeba rozhodnout, zda je potřeba provést zkoušku v přesně daných podmínkách nebo je pro zkoušku lepší použít horší podmínky, než kterým bude materiál vystaven.[17]

Máme dva druhy testování. Prvním je testování součásti za provozu a druhou možností je testování v laboratorních podmínkách. Rozhodujícími faktory pro volbu správné zkoušky je bezpečnost, praktičnost a ekonomičnost zkoušky. Laboratorní testování se většinou provádí na malých vzorcích při simulovaném nebo skutečném prostředí provozované součásti. Výhodou laboratorního testování je možnost kontroly zkoušky a zamezení jejímu narušení.[17]

Testování za provozu vyžadují, aby byl testovaný vzorek testován v provozních podmínkách za provozu. Při tomto testu je vzorek bezpečně připevněn a musí být izolován tak, aby nedošlo ke galvanickému zapojení s jiným objektem. [17]

7.1. Změny hmotnosti

Hmotnostní změny vycházejí z měření hmotnosti zkoušeného vzorku před a po zkoušce. Pro účel tohoto měření je vzorek upraven do patřičných rozměrů. Před samotným vyhodnocením zkoušky je potřeba vzorek patřičně očistit od korozních produktů, kterým byl vystaven a to ihned po vyjmutí. Pro měření hmotnosti se zde používají přesné váhy s přesností 1 mg. Dále je možné zjistit korozní změnu hmotnosti v poměru na plochu, kde rozdíl ve váze před a po zkoušce podělíme celkovou plochou testovaného vzorku. Tímto způsobem měření lze zjistit časovou závislost koroze na úbytku materiálu.[10]

7.2. Změny rozměrů

U této zkoušky hodnotíme korozní úbytek stěny, který měříme klasickými mechanickými metodami, metodami určenými pro defektoskopii nebo je možné použít například odporového měření. Takové měření je vhodné pokud dochází k rovnoměrné korozi na povrchu vzorku. V případě, kdy dochází k nerovnoměrné, například důlkové korozi je vhodné měřit hloubku napadení. Změna rozměrů je také hodnocena metalograficky, kde se hodnotí druh koroze, hloubka a rozsah napadení.[11]

7.3. Změny mechanických vlastností

Používají se zde běžně používané mechanické zkoušky, kde jediný rozdíl je, že vzorky byly před samotnou zkouškou vystaveny koroznímu napadání.[11]

7.4. Změny vzhledu

V tomto honocení se povrch hodnotí vizuálně a to jak s korozními produkty, tak i po jejich odstranění. Vizuální zkouška je zde provedena přímo bez jakéhokoliv nástroje nebo za pomoci lupy nebo při malém zvětšení mikroskopu. Je to subjektivní zkouška, která je založena na srovnání pozorovaného vzorku s etanolem. Nejprve zjišťujeme, zda ke korozi došlo a pokud ano, hodnotíme vzorek dále. Výsledky hodnocení následně zapíšeme do protokolu. Nejčastěji se hodnotí o jaký druh korozního poškození se jednalo. Pro přesnější měření, je zde možno použít i obrazovou analýzu, která udává přesnější informace o korozi napadené ploše na vzorku.[10]

8. Cíle práce

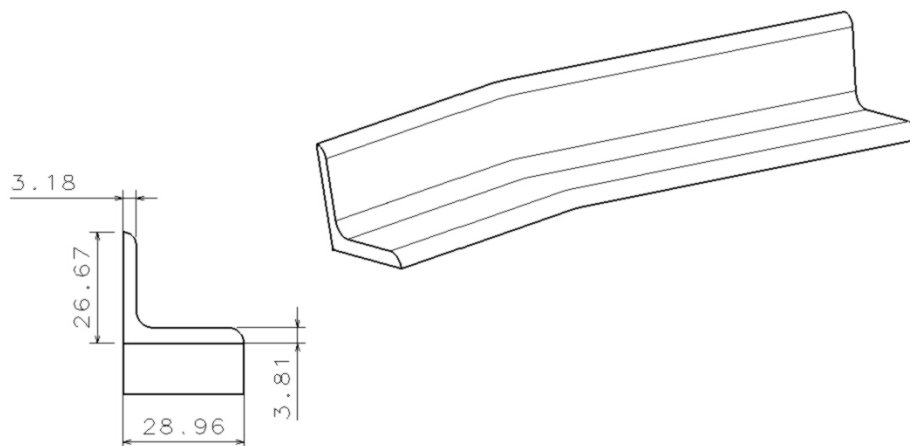
1. posouzení struktury testovaného materiálu v nedeformovaném stavu
2. vystavit dodané vzorky koroznímu působení solné mlhy po dobu 1000h
3. zhodnocení korozního napadení vzorků v závislosti na plastické deformaci, pomocí mikroskopu a obrazové analýzy
4. vyhodnocení naměřených hodnot

9. Experimentální část

9.1. Materiál použitý pro experiment

Pro sledování vlivu plastické deformace na korozi byla použita výztuž panelu letadla z hliníkové slitiny. Jako experimentální materiál je použit úhelník ve tvaru L z materiálu 7175(AlZnMgCu1,5) po tepelném zpracování T 73511. Kde T 73511 znamená, že materiál byl dodán po rozpouštěcím žíhání, uvolněním vnitřního pnutí řízenou deformací a umělém přestárnutí, kdy se připouští po uvolnění vnitřního pnutí mírná deformace za účelem dosažení požadovaných rozměrů. Tím se docílí snížení náchylnosti ke koroznímu praskání pod napětím.[3] Materiál byl dodán s různým typem plastické deformace, aby bylo možné posoudit její vliv na korozi v oblasti tahových deformací. Dodaný profil měl vnější rozměry 28,96 x 26,67 mm, viz. schéma na obr. 9.1 a plastická deformace byla v rozmezí 0–7°. Na dodaných vzorcích nebyla na povrchu aplikována žádná povrchová ochrana.

Podle literatury [3] dochází u slitin Al–Zn k precipitaci intermetalické fáze, která je závislá na poměru zinku k hořčíku. Pro případ experimentálního materiálu je intermetalická fáze vyloučena ve formě $MgZn_2$, jak je zobrazeno na obrázku 9.2.

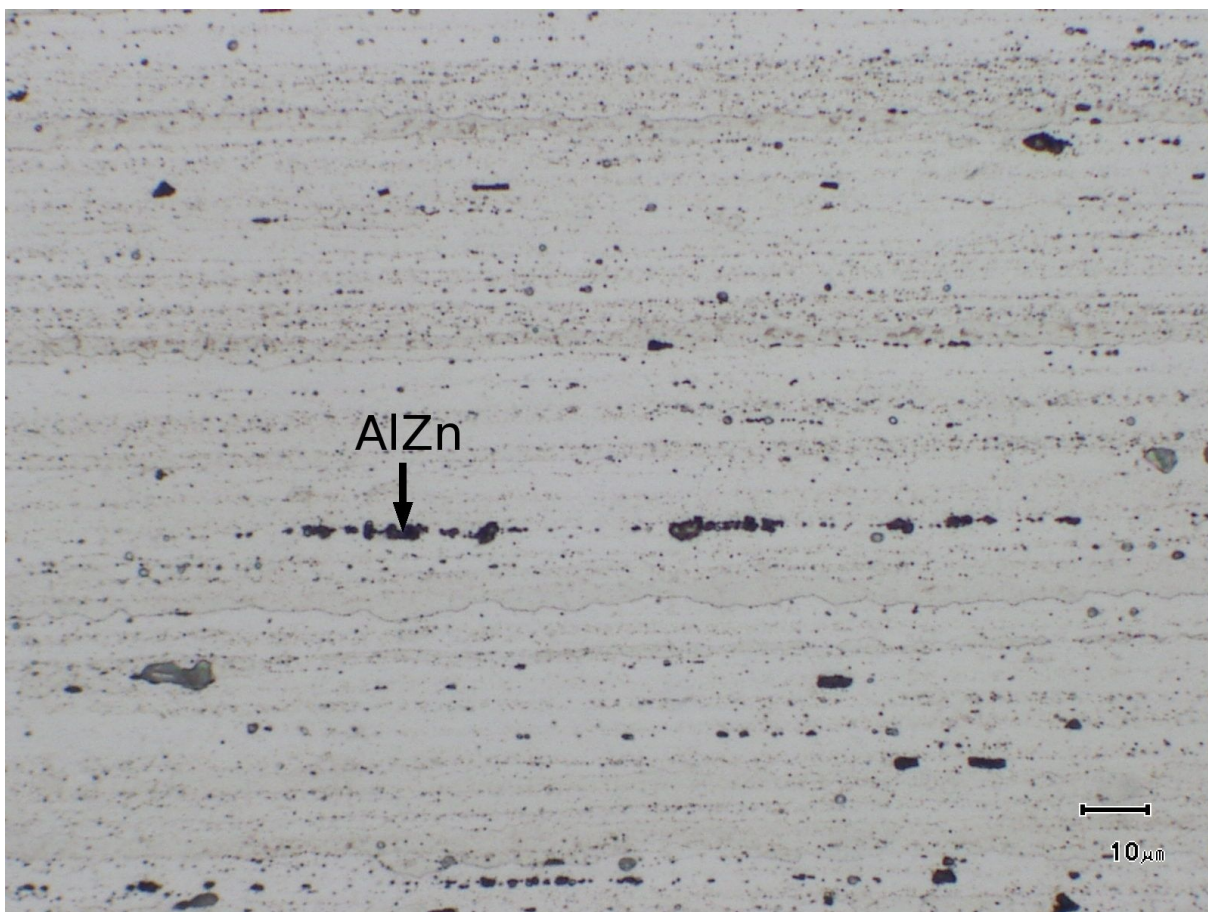


Obrázek 9.1: Schematické zobrazení výztuže panelu letadla.

9.2. Korozní znehodnocení

Experimentální materiál byl uměle znehodnocen v umělé atmosféře pomocí zařízení zvaného korozní komora. Všechny vzorky byly v tomto zařízení vystaveny po dobu 1000h působení roztoku chloridu sodného. Toto znehodnocení je popsáno normou ČSN EN ISO 9227 Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou [22].

Tato norma udává následující parametry pro zkoušku: 5% roztok NaCl, při teplotě $35 \pm 2^\circ\text{C}$, pH je stanoveno v rozmezí 6,5–7,2. Pro tuto konkrétní expozici bylo použito zařízení DCTC 600P od firmy Angelantoni Industrie S.p.a. viz. obr. 9.3. Během expozice byly vzorky každý den monitorovány a do zařízení byly pravidelně doplňovány náplně potřebné pro vznik umělé atmosféry.



Obrázek 9.2: *Struktura experimentálního materiálu 7175 bez plastické deformace.*



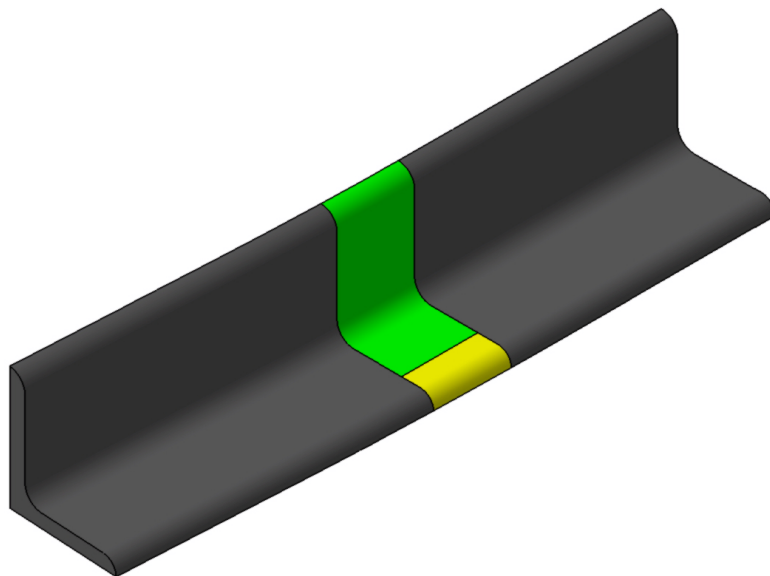
Obrázek 9.3: *Korozní komora DCTC 600P.[23]*

9.3. Metodika hodnocení

9.3.1. Příprava metalografických vzorků

Ze vzorků exponovaných v solné mlze byly odřezány vzorky z oblasti, kde byla vykonána plastická deformace. Šířka vzorku byla 18mm a každý vzorek byl odřezán ve vzdálenosti 8mm od vnější hrany. Vzorky byly rozřezány metalografickou pilou od firmy Struers a z každého vzorku byl zpracován jeden metalografický výbrus. Dohromady tedy bylo 12 metalografických výbrusů. Dále byl při přípravě výbrusů použit lis od firmy Struers. Na tomto lisu byly vzorky zalisovány při teplotě 180 °C a síle 10 kN po dobu 9 minut s dochlazením 3 minuty. Jako lisovací hmota byla použita směs Clarofast. Ihned po vytuhnutí byly do vzorku vygravírovány popisy, aby nedošlo k záměně vzorku. Vzorky byly dále broušeny na automatických bruskách se zrnitostmi brusných papírů 600, 1200 a 4000, doba broušení byla 3 minuty, po každém broušení byly vzorky důkladně opláchnuty vodou. Leštění se provádělo s diamantovou pastou zrnitosti 3 μm po dobu 4 minut. Poslední operací přípravy metalografických vzorků bylo chemicko-mechanické leštění po dobu 1 minuty a poté smáčení vodou po dobu 2 minut. U vzorku s nulovou plastickou deformací byl jeden vzorek navíc naleptán pro účel pozorování struktury materiálu.

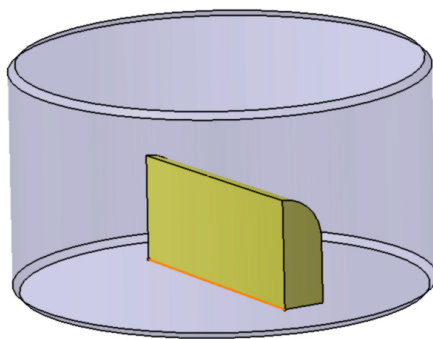
Systém značení vzorků je následující def - x - vz - y, kde x udává stupeň plastické deformace a y udává pořadové číslo vzorku s příslušnou plastickou deformací.



Obrázek 9.4: 3D zobrazení výztuže panelu letadla, žlutě je znázorněn vzorek pro metalografický výbrus

9.3.2. Pozorování metalografických vzorků

Metalografické vzorky byly pozorovány na světelném mikroskopu propojeném s obrazovou analýzou, to vše od firmy Olympus. Tyto vzorky byly pozorovány při různých zvětšeních, které jsou na tomto mikroskopu k dispozici, a to 50x, 100x, 200x, 500x a 1000x. Na vzorku byla vždy pozorována vnější hrana, na které působila tahová deformace obr. 9.5. Tato hrana byla sledována po celé své délce. Pro tento materiál jsou typické tři druhy koroze a



Obrázek 9.5: 3D zobrazení metalografického výbrusu – pozorovaná hrana je označena červeně

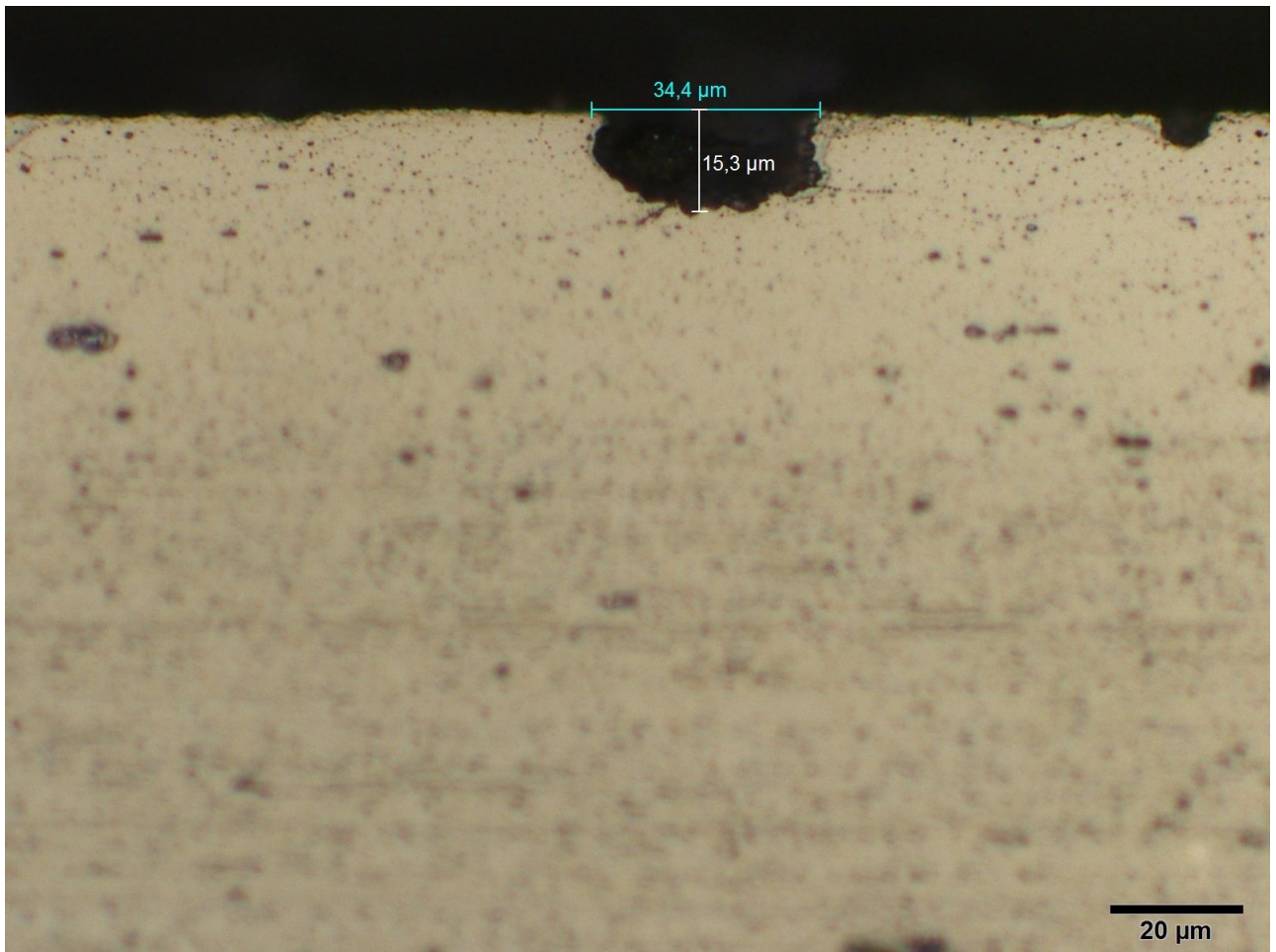
to rovnoměrná, důlková a bodová. Pro rovnoměrnou korozi byly využívány menší zvětšení, naopak pro důlkovou a bodovou korozi byly používány spíše větší zvětšení.

9.3.3. Vyhodnocení metalografických vzorků

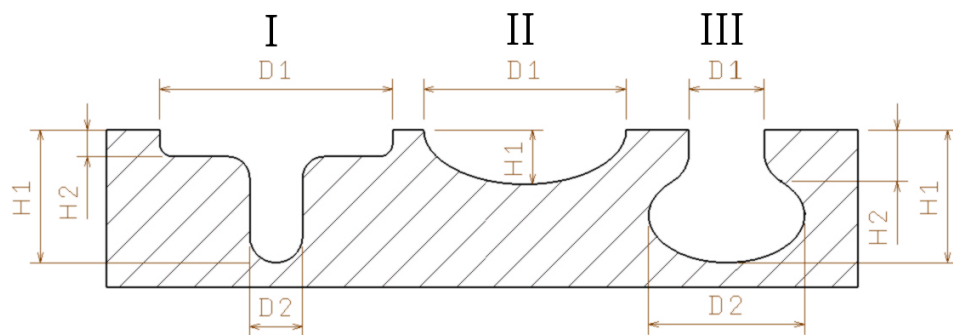
Každá pozorovaná koroze byla nafocena, pečlivě zaznamenána a následně vyhodnocena. U každého vzorku se měřila hloubka a šířka proniknutí korozního napadení viz. obr. 9.6 a také druh koroze. Zaznamenány byly všechny druhy koroze s šířkou větší než $10\mu\text{m}$. U důlkové koroze se dále rozlišují tři typy korozního napadení, podle schématu zobrazeného na obrázku 9.7. Typ I a III se objevovaly zřídka, někde vůbec, proto byly hodnoty D2 a H2 jen zaznamenány.

9.4. Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulek viz. tabulka 13.1 až tabulka 13.12. V tabulce je uvedeno vždy množství nalezené koroze, šířka a hloubka korozního napadení a číslo fotky z které byly hodnoty získány pro možnou pozdější kontrolu. Dále je v tabulce zaznamenáno o jaký druh koroze se jedná. Pro důlkovou korozi je zde rozlišen ještě typ koroze. Pod tabulkou se nachází výpočty, se kterými je dále pracováno v souhrnné tabulce 13.13.



Obrázek 9.6: Ukázka vyhodnocení metalografických vzorků



Obrázek 9.7: Schematické znázornění typů důlkové koroze

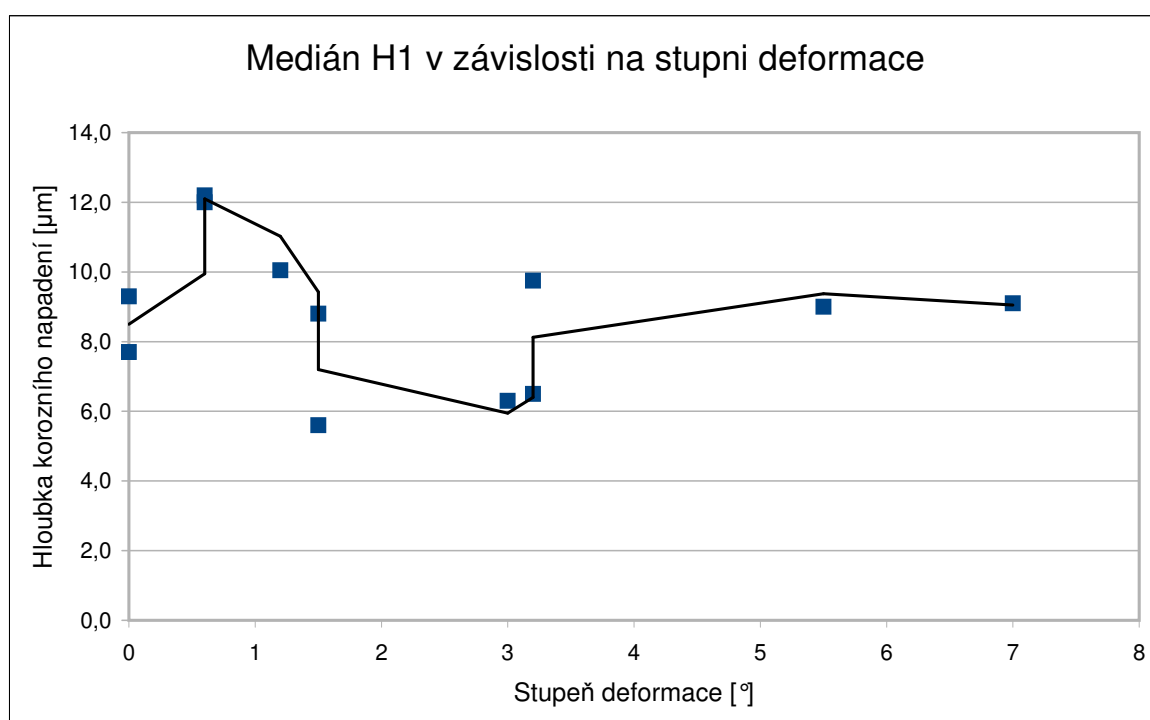
9.5. Výsledky experimentu

Z tabulek, které jsou v příloze byla sestavena jedna souhrnná tabulka 9.13. V té jsou výsledky ze všech měření. Jsou zde zaznamenány aritmetický průměr, medián, maxima, minima, směrodatné odchylky, intervalové odhady se spolehlivostí 95% a také procentuální vyjádření druhu koroze. Veškeré hodnoty v tabulce jsou uvedeny v μm jen druh koroze je vyjádřen v %. U aritmetického průměru a medianu jsou uvedeny také hodnoty

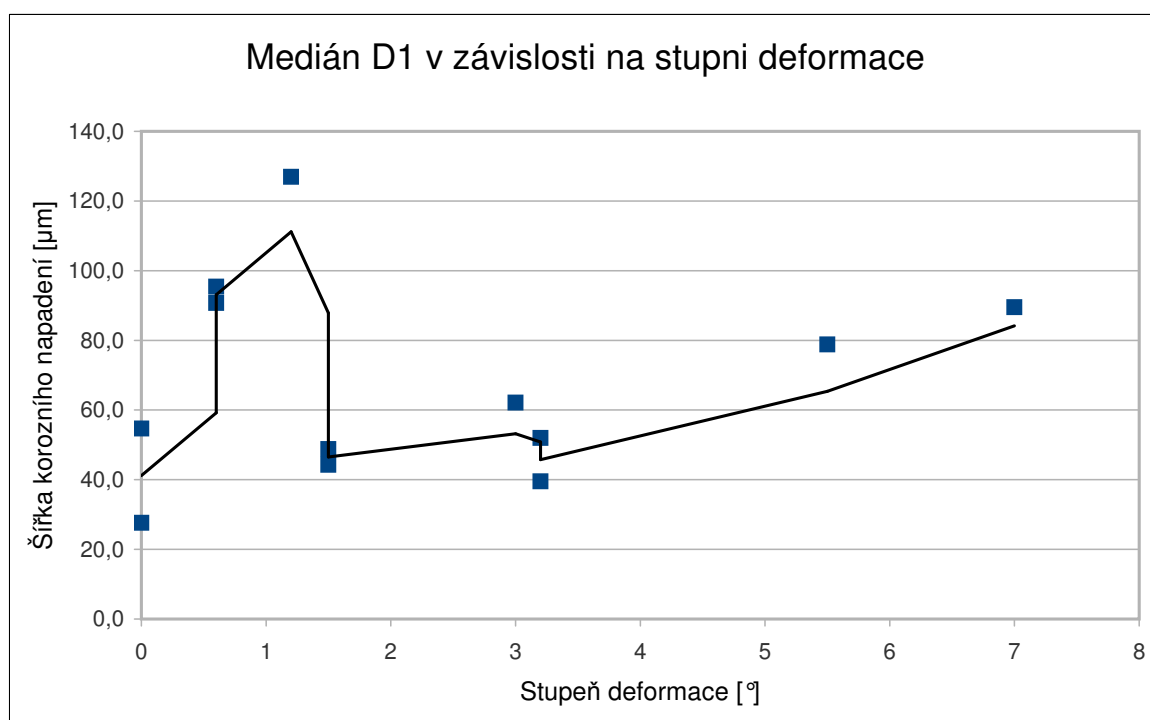
D2 a H2, které tam jsou uvedeny z důvodu rozdělení důlkové koroze, viz. obr. 9.7.

Pro lepší přehlednost byly hodnoty aritmetického průměru a mediánu vyneseny do grafů. V grafech jsou vyneseny podstatné hodnoty šířky a hloubky korozního napadení. Pro účel pozorování byly použity grafy bodové a histogramy. Do histogramu byla současně vložena směrodatná odchylka, obr. 14.9.

Pro zobrazení závislosti plastické deformace na korozním napadení bylo potřeba, aby na jedné ose byl stupeň deformace a na druhé hloubka korozního napadení. Proto jsou u některých deformací dvě hodnoty. Tyto hodnoty byly propojeny spojnici trendů s klouzavým průměrem, viz. obrázky 9.8 a 9.9. Grafy znázorňují hodnoty mediánu pro hloubku a šířku korozního napadení.



Obrázek 9.8: Medián hloubky korozního napadení seřazený podle stupně deformace s klouzavou spojnici trendů.



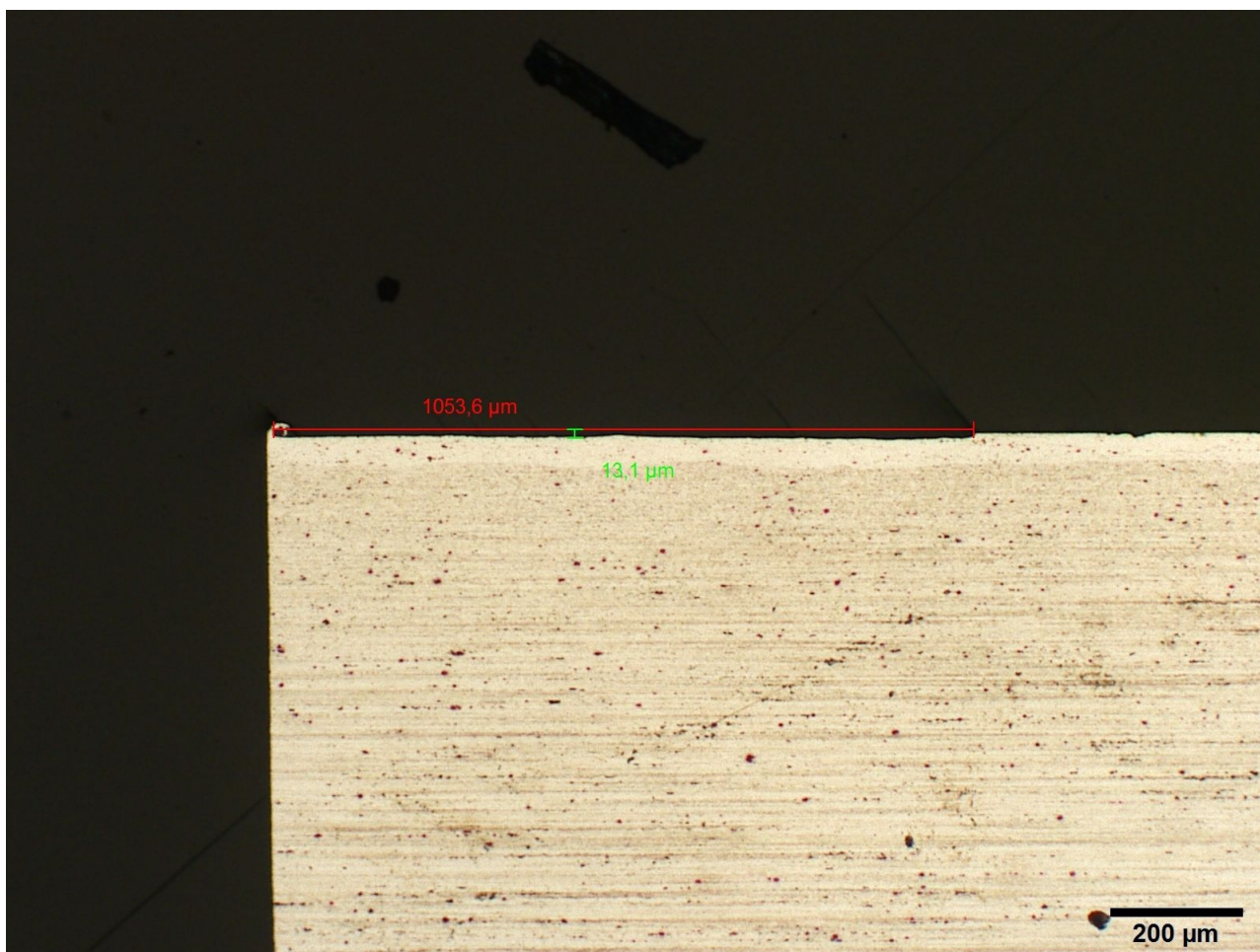
Obrázek 9.9: Medián šířky korozního napadení seřazený podle stupně deformace s klouzavou spojnicí trendů.

10. Diskuze výsledků

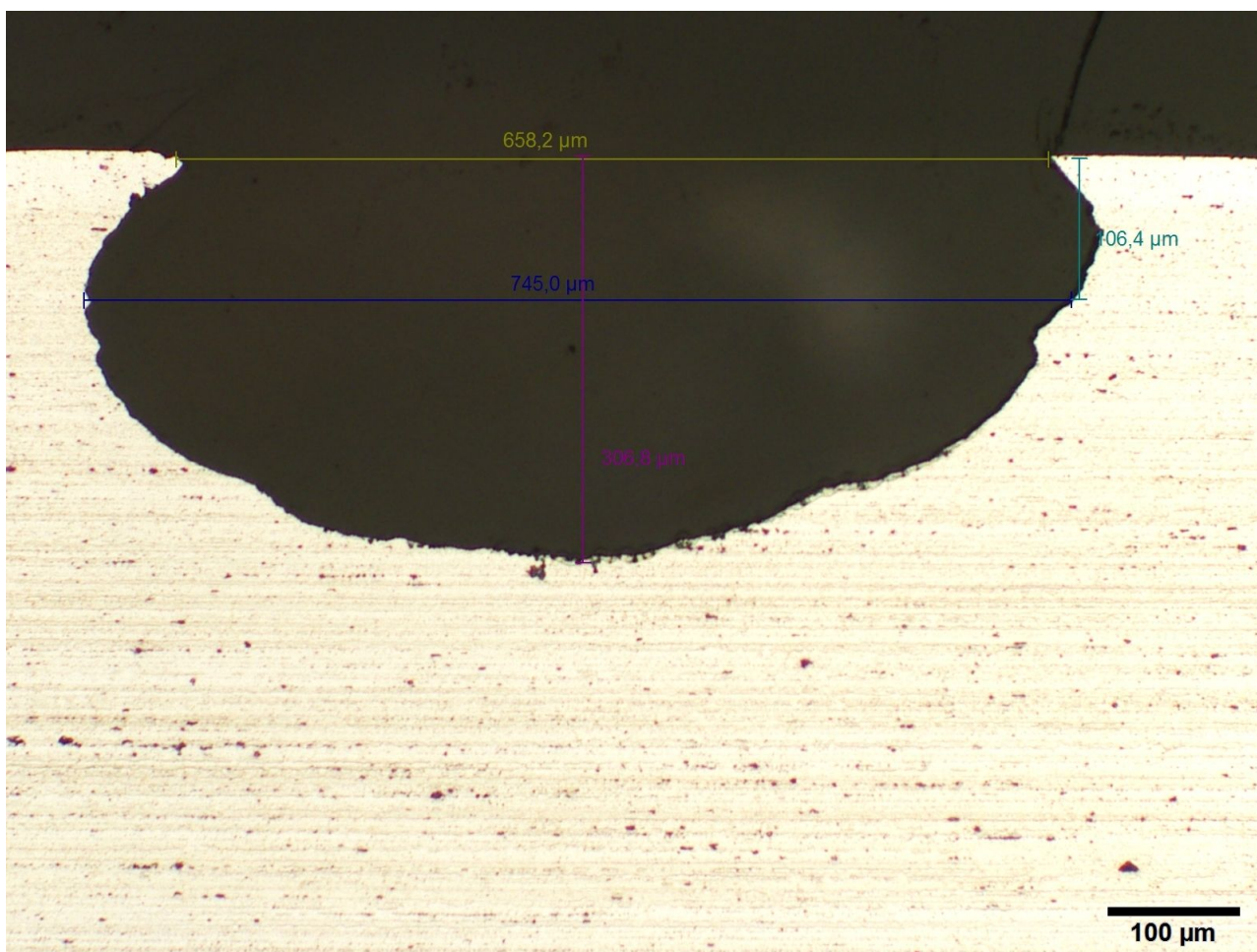
V následujícím textu je interpretace experimentálně zjištěných hodnot. Text je věnován zejména tabulkovému vyhodnocení s důrazem na hloubku a šířku korozního napadení materiálu.

10.1. Hodnoty maximálního korozního napadení

K maximálním hodnotám napadení dochází nejvíce v oblasti s nulovou nebo velice malou deformací do $0,6^\circ$. V oblasti s deformací $1,5-3^\circ$ dojde k dočasnému poklesu a od deformace $3,2^\circ$ dochází opět k nárustu maxim korozního napadení. Tento trend je totožný jak pro šířku, tak i pro hloubku korozního napadení, viz. obr. 13.5 a obr. 13.6. Jak lze předpokládat, největší šířky napadení dosahuje rovnoměrná koroze a největší hloubky korozního napadení je dosaženo u důlkové koroze, jak dokládají obr. 10.1 a obr. 10.2.



Obrázek 10.1: Vzorek s maximální pozorovanou šířkou korozního napadení – deformace $0,6^\circ$.



Obrázek 10.2: Vzorek s maximální pozorovanou hloubkou korozního napadení – deformace 0° .

10.2. Hodnoty minimálního korozního napadení

U minimálního korozního napadení je situace složitější. Pro šířku vychází nejnižší hodnoty pro deformace 0° , $1,5^\circ$ a $3,2^\circ$. U hloubky jsou rozdíly tak malé, že by se dalo říct, že od hodnoty $1,5^\circ$ deformace, jsou hodnoty nejmenší a téměř konstantní. Průběhy jsou zobrazeny na obr. 13.7 a 13.8.

10.3. Vypočítané hodnoty průměrného korozního napadení

Experimentem bylo prokázáno, že k největšímu nárůstu korozního napadení dochází při malých deformacích. U hloubky byly průměrné hodnoty nejvyšší v oblasti plastické deformace $0,6^\circ$. Poté docházelo v oblasti $1,2-3^\circ$ deformace k poklesu a následnému opětovnému nárůstu průměrných hodnot korozního napadení, viz. obr. 9.8.

Pro šířku dle experimentu platí téměř stejná závislost, odchylku zde vykazuje deformace $1,2^\circ$, viz. obr. 9.9. Pro tuto deformaci byl k dispozici pouze jeden vzorek, přičemž pozorovaná koroze na něm byla z 60,5% koroze rovnoměrná a také proto zde vyšla poměrně velká směrodatná odchylka. Proto by bylo potřeba provést více měření, aby vzrůstající

tendence byla pro tento stupeň deformace potvrzena nebo vyvrácena.

Celkově by bylo potřeba provést více měření, protože téměř u všech pozorovaných vzorků vychází velká směrodatná odchylka. Dalším důvodem pro větší počet pozorování je pokus o nalezení matematické funkce, která by vyjadřovala vztah deformace vůči koroznímu napadení. Při současném počtu naměřených hodnot vychází koeficient korelace velice malý, tím pádem je pokoušet se o sestavení matematické funkce bezpředmětné.

10.4. Vyhodnocení druhu korozního napadení

Jako poslední údaj v tab. 9.14 je druh korozního napadení. Z toho je patrné, že převažující koroze je téměř u všech pozorovaných vzorků důlková. Výjimku tvoří vzorek s deformací $1,2^\circ$. Na druhé straně bodová koroze se vyskytla pouze u dvou vzorků, oba s deformací $1,5^\circ$.

11. Závěry

Po celkovém provedení experimentu, kdy byl pozorovaný vzorek z hliníkové slitiny vystaven koroznímu prostředí v solné mlze a následně na něm byla pozorována koroze, lze vyvodit následující závěry:

1. K největšímu koroznímu napadení hloubky dochází právě při velmi malých deformacích, v tomto konkrétním případě to bylo $0,6^\circ$. U větších deformací, konkrétně $1,2-3^\circ$ nebyl zaznamenán nárůst, naopak došlo k poklesu korozního napadení. Od deformace $3,2^\circ$ dochází opět k mírnému nárůstu, avšak rychlost nárůstu není tak dramatická, jako je rychlost nárůstu korozního napadení při nulových a velmi malých hodnotách deformace.
2. K největšímu koroznímu napadení šířky dochází také při malých deformacích a to u deformace $1,2^\circ$. Od této hodnoty následuje prudký propad a dále je pozorován mírný nárůst až po deformaci 7° .
3. Nejčastější pozorovanou korozi na vzorcích byla koroze důlková, která byla dominantní téměř u všech pozorovaných vzorků, jen v jednom případě byl vzorek napaden více rovnoměrnou korozi a to v případě vzorku s deformací $1,2^\circ$ a v jednom případě vyšel poměr 1:1. Tyto dva typy koroze byly naprosto dominantní, bodová koroze byla zaznamenána jen u vzorku s deformací $1,5^\circ$ a to u obou v zanedbatelné míře 2%.
4. Zkoumáním maximálního napadení bylo zjištěno, že k největšímu napadení co do hloubky i šířky materiálu dochází také při malých hodnotách plastických deformací. Konkrétně u hloubky to bylo u vzorku s nulovou deformací a při pozorování maximální šířky korozního napadení to byl vzorek s deformací $0,6^\circ$.
5. Celkově by bylo potřeba provést více měření, aby se zvýšila přesnost měření a zmenšila se směrodatná odchylka, která byla zejména u šířky korozního napadení vysoká.
6. Jako poslední bod této práce jsem se pokoušel sestavit matematickou funkci pro hloubku korozního napadení. Nejlepší výsledky přinášel polynom čtvrtého stupně, ale i tak hodnota korelace byla nízká, kolem hodnoty 0,6. Navíc touto funkcí nebyly zachyceny podstatné hodnoty zvýšeného korozního napadení v oblasti malých deformací. Proto jsem zde tuto matematickou funkci neuváděl.

12. Literatura

- [1] BARTONÍČEK, R. a kol. *Koroze a protikorozi ochrana kovů*. 1. vyd. Praha: Academia, 1966. 720 s.
- [2] ČERNÝ, Miroslav et al. *Korozní vlastnosti kovových konstrukčních materiálů*. Vyd. 1. Praha: SNTL –Nakladatelství technické literatury, 1984, 264 s
- [3] MICHNA, Štefan et al. *Encyklopedie hliníku*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80–89041–88–4.
- [4] HRUBÝ, V.; TULKA, J. *Koroze a ochrana materiálů*. Brno: Vojenská akademie Brno, 1997. 140 s.
- [5] COMMITTEE, Prepared under the direction of the ASM International Handbook a Timothy L GALL. *Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*. 10th ed. Materials Park, OH: ASM International, 1990. ISBN 08–717–0378–5.
- [6] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80–7204–248–32.
- [7] *Corrosion of aluminum and aluminum alloys*. Editor J Davis. Materials Park,; ASM International, 1999, 313 s. ISBN 08–717–0629–6.
- [8] ROBERGE, Pierre R. *Handbook of corrosion engineering*. New York: McGraw–Hill, 2000, 1139 s. ISBN 00–707–6516–2.
- [9] ČSN EN ISO 9227 (03 8132): Korozní zkoušky v umělých atmosférách–Zkoušky solnou mlhou. Praha, Český normalizační institut, 2007. 24 s.
- [10] NĚMCOVÁ, Aneta a Bohumil PACAL. *Korozní zkoušení kovových materiálů*. [online]. 2010 [cit. 2012–05–14]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/k4.html>
- [11] Korozní inženýrství. In: *Zkoušení a monitoring koroze* [online]. [cit. 2012–05–14]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/o_monit.htm
- [12] LI, Jin–feng, Zhuo–wei PENG, Chao–xing LI, Zhi–qiang JIA, Wen–jing CHEN a Zi–qiao ZHENG. Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [online]. 2008, roč. 18, č. 4, s. 755–762 [cit. 2012–05–14]. ISSN 10036326. DOI: 10.1016/S1003–6326(08)60130–2. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1003632608601302>
- [13] FRAZIER, William E. *High–strength, corrosion–resistant aerospace aluminum alloys* [online]. [cit. 2012–05–14]. ISSN 10.1007/s11837–003–0193–9. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s11837–003–0193–9>
- [14] MONDOLFO, L. *Aluminum alloys: structure and properties*. Boston: Butterworths, 1976, 971 s. ISBN 04–087–0680–5.
- [15] COMMITTEE, Prepared under the direction of the ASM International Handbook. *Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials*. 10th ed. Materials Park, OH: ASM International, 1990, 971 s. ISBN 08–717–0378–5.

- [16] NĚMCOVÁ, Aneta a Bohumil PACAL. *Korozní zkoušení kovových materiálů*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/k2.html5>
- [17] *ASM handbook: CORROSION: FUNDAMENTALS, TESTING, AND PROTECTION*. 10th ed. Materials Park, OH: ASM International, c1990–c2011. ISBN 978161503001922.
- [18] ALEXOPOULOS, N. D. a P. PAPANIKOS. Experimental and theoretical studies of corrosion-induced mechanical properties degradation of aircraft 2024 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2008, volume 498, issue 1–2 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/>
- [19] NĚMCOVÁ, Aneta a Bohumil PACAL. *Korozní zkoušení kovových materiálů*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/k2.html2>
- [20] MORCILLO, M, B CHICO, L MARIACA a E OTERO. Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site. *Corrosion Science* [online]. 2000, roč. 42, č. 1, s. 91–104 [cit. 2012-05-06]. ISSN 0010938x. DOI: 10.1016/S0010-938X(99)00048-7. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010938X99000487>
- [21] Davis, J. R. et. al, editor, *Metals Handbook*, volume 13, pages 104–122 and 583–609. ninth edition, ASM International, Ohio, 1987.
- [22] ČSN EN ISO 9227 (03 8132): Korozní zkoušky v umělých atmosférách – Zkoušky solnou mlhou. Praha, Český normalizační institut, 2007. 24 s.
- [23] CHEN, Dehuang, Xiaowei WANG a Jing ZHAO. *Aircraft Maintenance Decision System Based on Real-time Condition Monitoring*. Procedia Engineering [online]. 2012, roč. 29, s. 765–769 [cit. 2012-05-21]. ISSN 18777058. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.01.038. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705812000483>
- [24] http://www.angelantoni.it/acs/en/prodotti_serie/prodotti_serie_acs.asp?idfamiglia=33

13. Seznam použitých zkratek

FCC	kubická plošně středěná mřížka
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Český překlad evropské normy
ppm	jedna miliontina z celku
ksi	stará jednotka tlaku
PTFE	polytetrafluoretylen

14. Přílohy

Pofadi	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	27,5		3,9		0273	Důlková	II
2	20,2		4,4			Důlková	II
3	11,9		2,6			Důlková	II
4	18,1		3,7		0274	Důlková	II
5	15,5		7,0			Důlková	II
6	70,9		3,9		0275	Důlková	II
7	26,1		4,3		0276	Rovnoměrná	-
8	27,8		6,4		0277	Důlková	II
9	14,3		1,8			Důlková	II
10	34,0		4,6		0278	Důlková	II
11	26,3		5,4		0279	Důlková	II
12	11,2		3,6			Důlková	II
13	18,0		5,0		0280	Důlková	II
14	53,2		4,2		0281	Důlková	II
15	124,7		9,3		0282	Rovnoměrná	-
16	177,1		11,1		0283	Rovnoměrná	-
17	81,3		6,1		0284	Rovnoměrná	-
18	78,4		5,4		0285	Rovnoměrná	-
19	22,8		8,8			Rovnoměrná	-
20	31,5		9,0		0286	Důlková	II
21	92,3		5,1		0287	Důlková	II
22	23,1		6,5			Rovnoměrná	-
23	36,2		14,9		0288	Důlková	II
24	80,2		7,0		0289	Důlková	II
25	20,1		12,1		0290	Rovnoměrná	-
26	59,5		11,8			Důlková	II
27	71,2		29,1		0291	Důlková	II
28	22,1		13,2			Důlková	II
29	14,2		8,3		0292	Důlková	II
30	269,9		7,4		0293	Důlková	II
31	218,2		10,1		0294	Rovnoměrná	-
32	93,1		10,2		0295	Rovnoměrná	-
33	94,6		70,5		0296	Důlková	II
34	43,4		31,5			Důlková	II
35	685,6		17,8		0297	Rovnoměrná	-
36	131,9		12,8		0298	Rovnoměrná	-
37	17,2		5,9		0299	Rovnoměrná	-
38	25,1		9,4		0300	Důlková	II
39	33,9		4,2			Důlková	II
40	71,2		11,7		0301	Důlková	II
41	24,9		10,9			Důlková	II
42	28,5		16,9		0302	Důlková	II
43	139,7		15,6		0303	Důlková	II
44	74,1		6,1		0304	Důlková	II
45	306,2		6,5		0306	Rovnoměrná	-
46	324,4		19,9		0307	Rovnoměrná	-
47	304,1		17,5		0308	Rovnoměrná	-
48	591,6	665,4	181,4	38,6	0309	Rovnoměrná	-
49	119,6		12,4		0310	Důlková	III
50	46,4		5,8		0311	Důlková	II
51	99,8		11,5			Důlková	II
52	128,4		10,2		0312	Rovnoměrná	-
53	101,7		13,6		0313	Důlková	II
54	297,3		16,1		0314	Důlková	II
55	658,2	745,0	306,8	106,4	0316	Rovnoměrná	-
56	54,7		12,2		0317	Důlková	III
57	26,4		15,1			Důlková	II
58	190,0		9,5		0318	Rovnoměrná	-
59	12,4		9,3		0319	Důlková	II

110,5	705,2	18,8	72,5		Aritmetický průměr
54,7	705,2	9,3	72,5		Median
148,3	39,8	44,8	33,9		Smerodatna odchylka
685,6	745,0	306,8	106,4		max
11,2	665,4	1,8	38,6		min

Tabulka 14.1: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_0_ vz_1.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	46,1		7,7		0209	Důlková	II
2	67,2		24,1		0210	Důlková	II
3	27,6		3,7		0211	Důlková	II
4	427,5	509,6	71,4	242,6	0213	Důlková	III
5	39,7		11,7		0214	Důlková	II
6	22,9		10,5		0215	Důlková	II
7	24,3		16,2		0216	Důlková	II
8	20,6	10,9	12,2	3,9	0217	Důlková	I
9	28,5		5,9		0218	Důlková	II
10	12,5		9,0		0219	Důlková	II
11	19,1		9,0		0220	Důlková	II
12	96,6		10,3		0221	Důlková	II
13	57,3		11,5		0222	Důlková	II
14	36,5		3,0		0223	Rovnoměrná	-
15	38,4		4,2		0224	Důlková	II
16	12,4		6,7		0225	Důlková	II
17	63,0		14,9		0226	Důlková	II
18	131,0		14,9		0227	Důlková	II
19	18,7		3,2		0228	Důlková	II
20	23,3		5,6		0229	Důlková	II
21	49,9		6,6		0230	Důlková	II
22	23,2	6,4	8,0	4,0	0231	Důlková	I
23	19,9		4,5			Důlková	II
24	10,0	15,3	7,7	3,4	0232	Důlková	III
25	41,7		10,4		0233	Důlková	II
26	20,1	7,7	8,8	5,1	0234	Důlková	I
27	14,2		4,0		0235	Důlková	II
28	17,1		3,6		0236	Důlková	II
29	77,5		6,5		0237	Rovnoměrná	-
30	20,2		4,4		0238	Důlková	II
31	32,1		4,4			Důlková	II
32	13,9		3,0			Důlková	II
33	17,1		14,3		0239	Důlková	II
34	58,9		15,7		0240	Důlková	II
35	23,0		4,0		0241	Důlková	II
36	36,2		5,6		0243	Důlková	II
37	23,0		11,3		0244	Důlková	II
38	26,5		3,6		0245	Důlková	II
39	28,4		4,4		0246	Důlková	II
40	25,3		5,9		0247	Důlková	II
41	79,1		13,9		0248	Důlková	II
42	21,8		4,0		0249	Důlková	II
43	72,1		21,5		0250	Důlková	II
44	56,0		18,4		0251	Důlková	II
45	360,7		20,2		0255	Rovnoměrná	-

52,9	110,0	10,5	51,8	Aritmetický průměr
27,6	10,9	7,7	4,0	Median
78,0	199,8	10,6	95,4	směrodatná odchylka
427,5	509,6	71,4	242,6	max
10,0	6,4	3,0	3,4	min

Tabulka 14.2: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_0_ vz_2.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	67,2		12,7		0321	Důlková	II
2	33,3		4,6		0322	Důlková	II
3	20,0		11,3		0323	Důlková	II
4	27,6		13,3		0324	Důlková	II
5	56,1		23,0		0325	Důlková	II
6	89,9		6,3		0326	Rovnoměrná	-
7	35,3		16,9		0327	Důlková	II
8	34,4		15,3		0328	Důlková	II
9	46,6		23,1		0329	Důlková	II
10	267,0		8,6		0330	Rovnoměrná	-
11	183,4		20,2		0331	Důlková	II
12	91,6		6,8			Rovnoměrná	-
13	115,6		14,3		0332	Důlková	II
14	785,5		8,9		0333	Rovnoměrná	-
15	715,3		12,5		0334	Rovnoměrná	-
16	104,4		13,6		0335	Důlková	II
17	441,8		37,5		0336	Rovnoměrná	-
18	33,4		1,9		0337	Rovnoměrná	-
19	20,7		5,4			Důlková	II
20	57,1	91,7	22,6	10,7	0338	Důlková	III
21	73,7		4,4		0339	Rovnoměrná	-
22	159,4		3,7		0340	Rovnoměrná	-
23	494,1		7,2		0341	Rovnoměrná	-
24	77,1		7,7		0342	Rovnoměrná	-
25	203,9		18,1		0343	Rovnoměrná	-
26	322,3		11,9		0344	Rovnoměrná	-
27	157,3		11,9		0345	Rovnoměrná	-
28	391,5	437,3	170,6	48,8	0346	Důlková	III
29	20,8		19,3		0347	Důlková	II
30	706,4		5,4		0348	Rovnoměrná	-

194,4	264,5	18,0	29,8		Aritmetický průměr
90,8	264,5	12,2	29,8		Median
220,5	172,8	29,3	19,1		směrodatná odchylka
785,5	437,3	170,6	48,8		max
20,0	91,7	1,9	10,7		min

Tabulka 14.3: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_0,6_vz_1.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	1053,6		13,1		0349	Rovnoměrná	-
2	59,5		7,0		0350	Důlková	II
3	16,2		12,7		0351	Důlková	II
4	58,3		15,2			Důlková	II
5	70,8		6,9		0352	Rovnoměrná	-
6	19,7		4,9		0353	Důlková	II
7	631,5		14,9		0354	Rovnoměrná	-
8	80,9		5,8		0355	Rovnoměrná	-
9	21,9		10,7		0356	Důlková	II
10	96,2		9,8		0357	Důlková	II
11	112,9		17,5		0358	Důlková	II
12	95,4		17,4		0359	Důlková	II
13	79,1		34,1		0360	Důlková	II
14	239,6		5,1		0361	Rovnoměrná	-
15	133,0		3,5		0362	Rovnoměrná	-
16	165,3		17,0		0363	Důlková	II
17	428,1	465,0	191,5	49,9	0364	Důlková	III
18	20,0		7,8		0365	Důlková	II
19	15,9		12,2		0366	Důlková	II
20	57,2		5,8		0367	Důlková	II
21	117,4		18,2		0368	Důlková	II
22	65,7		13,1		0369	Důlková	II
23	302,1		58,0			Důlková	II
24	140,9		39,6		0370	Důlková	II
25	27,2		9,8		0371	Důlková	II
26	25,2		8,2		0372	Důlková	II
27	109,0		4,3		0373	Rovnoměrná	-
28	609,5	723,0	249,7	79,1	0374	Důlková	III
29	62,2		14,5		0375	Důlková	II
30	72,8		12,0		0376	Důlková	II
31	70,2		5,4		0377	Rovnoměrná	-
32	257,2		27,1		0378	Důlková	II
33	55,7		9,4		0379	Důlková	II
34	95,1		6,5		0380	Rovnoměrná	-
35	155,7		15,2		0381	Rovnoměrná	-
36	111,5		5,2		0382	Rovnoměrná	-
37	126,9		8,2		0383	Rovnoměrná	-
38	23,9		6,3		0384	Důlková	II
39	97,9		10,5		0385	Důlková	II
40	170,9		24,7		0386	Důlková	II
41	151,1		22,7		0387	Důlková	II

153,7	594,0	23,9	64,5		Aritmetický průměr
95,4	594,0	12,0	64,5		Median
198,0	129,0	46,2	14,6		směrodatná odchylka
1053,6	723,0	249,7	79,1		max
15,9	465,0	3,5	49,9		min

Tabulka 14.4: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_0,6_vz_2.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	50,6		4,8		0388	Rovnoměrná	-
2	100,5		3,1		0389	Rovnoměrná	-
3	35,4		5,8		0390	Důlková	II
4	188,8		9,5		0391	Rovnoměrná	-
5	196,2		36,0		0392	Důlková	II
6	226,8		8,6		0393	Rovnoměrná	-
7	126,1		10,2		0394	Rovnoměrná	-
8	722,4		13,1		0395	Rovnoměrná	-
9	127,8		8,6		0396	Rovnoměrná	-
10	85,3		9,8			Důlková	II
11	283,9		10,1		0397	Rovnoměrná	-
12	90,3		13,6		0398	Důlková	II
13	27,8		20,3		0399	Důlková	II
14	385,6		7,4		0400	Rovnoměrná	-
15	334,2	406,7	113,9	43,4	0401	Důlková	III
16	130,2		5,1		0402	Rovnoměrná	-
17	140,7		3,4		0403	Rovnoměrná	-
18	111,3		6,1		0404	Rovnoměrná	-
19	144,6		5,2		0405	Rovnoměrná	-
20	44,0		6,4		0406	Důlková	II
21	110,6		10,7		0407	Rovnoměrná	-
22	348,5		11,9			Rovnoměrná	-
23	87,1		10,0		0408	Důlková	II
24	652,9		160,5		0409	Důlková	II
25	240,5		12,8		0410	Rovnoměrná	-
26	55,3		11,5		0411	Důlková	II
27	233,1		11,0		0412	Rovnoměrná	-
28	30,0		6,5			Důlková	II
29	55,3		8,3		0413	Důlková	II
30	125,2		23,0		0414	Důlková	II
31	62,1		3,5		0415	Rovnoměrná	-
32	667,1		221,8		0416	Důlková	II
33	138,8		13,8		0417	Rovnoměrná	-
34	512,6		16,6		0418	Rovnoměrná	-
35	225,6		14,9		0419	Rovnoměrná	-
36	101,4		12,6		0420	Důlková	II
37	95,1		5,6		0421	Rovnoměrná	-
38	109,8		4,5		0422	Rovnoměrná	-

194,8	406,7	22,6	43,4		Aritmetický průměr
127,0	406,7	10,1	43,4		Median
177,4	0,0	44,0	0,0		směrodatná odchylka
722,4	406,7	221,8	43,4		max
27,8	406,7	3,1	43,4		min

Tabulka 14.5: *Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_ 1,2.*

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	29,1		6,2		0124	Důlková	II
2	18,1		2,2		0125	Důlková	II
3	14,7		5,1			Důlková	II
4	23,5		4,0		0126	Důlková	II
5	123,9		13,9		0127	Důlková	II
6	44,1		8,8		0128	Důlková	II
7	184,0		30,9		0129	Důlková	II
8	64,2		6,5			Důlková	II
9	48,8		7,4			Důlková	II
10	32,8		12,6		0130	Důlková	II
11	48,6	21,2	35,1	23,1	0131	Důlková	I
12	17,4		10,2		0132	Důlková	II
13	19,1		6,5		0133	Důlková	II
14	88,2		19,4		0134	Důlková	II
15	169,2		12,8		0135	Rovnoměrná	-
16	46,4		7,6		0136	Důlková	II
17	11,5		2,7		0137	Důlková	II
18	67,5		12,0		0139	Důlková	II
19	11,7		8,4			Důlková	II
20	26,0		4,7		0140	Důlková	II
21	179,6		19,0		0141	Důlková	II
22	16,2		9,3		0142	Důlková	II
23	330,0	362,7	153,4	64,8	0143	Důlková	III
24	130,2		66,6		0144	Důlková	II
25	237,2	273,2	182,5	85,6		Důlková	III
26	21,5		25,7		0145	Bodová	-
27	40,3	17,6	5,6	2,6	0146	Důlková	I
28	81,1		7,2		0147	Rovnoměrná	-
29	43,6		4,2		0148	Rovnoměrná	-
30	21,2		1,0			Rovnoměrná	-
31	64,8		1,7			Rovnoměrná	-
32	20,3		8,9		0149	Důlková	II
33	38,9		15,0		0150	Důlková	II
34	115,9		13,1		0151	Důlková	II
35	50,2		8,1			Důlková	II
36	149,2		6,8		0152	Rovnoměrná	-
37	162,6		23,1		0153	Důlková	II
38	269,6		14,6		0154	Rovnoměrná	-
39	59,7		37,3		0155	Důlková	II
40	68,0		47,4		0156	Důlková	II
41	20,6		7,7			Důlková	II
42	28,9		12,7		0157	Důlková	II
43	47,8		11,1			Důlková	II
44	64,2		8,1		0158	Důlková	II
45	21,2		5,6			Důlková	II
46	158,6		4,2			Rovnoměrná	-
47	165,1		4,6		0160	Rovnoměrná	-
48	299,7		11,3		0162	Rovnoměrná	-
49	63,5		6,1		0163	Rovnoměrná	-

82,8	168,7	19,2	44,0	Aritmetický průměr
48,8	147,2	8,8	44,0	Median
78,7	152,6	33,5	37,9	smerodatna odchylka
330,0	362,7	182,5	85,6	max
11,5	17,6	1,0	2,6	min

Tabulka 14.6: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def. 1,5. vz. 1.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	83,1		5,9		0166	Rovnoměrná	-
2	29,6		4,5		0167	Důlková	II
3	47,4		9,1		0168	Důlková	II
4	22,1		3,0		0169	Důlková	II
5	50,6		5,4		0170	Důlková	II
6	34,9		6,1		0171	Důlková	II
7	14,0		2,8		0172	Důlková	II
8	23,4		4,2		0173	Důlková	II
9	26,1		4,2		0174	Důlková	II
10	14,5		3,0		0175	Důlková	II
11	31,2		4,5			Důlková	II
12	73,8		14,6		0176	Důlková	II
13	124,5		15,9		0177	Důlková	II
14	110,2		8,8		0178	Rovnoměrná	-
15	98,3		9,0		0179	Rovnoměrná	-
16	14,9		3,3		0180	Důlková	II
17	47,0		3,7		0181	Rovnoměrná	-
18	40,9		4,9		0182	Důlková	II
19	39,4		9,4		0183	Důlková	II
20	44,7		5,6		0184	Důlková	II
21	46,7		5,5			Důlková	II
22	378,8		25,2		0186	Rovnoměrná	-
23	79,3		12,6		0187	Důlková	II
24	45,8		9,3		0188	Důlková	II
25	29,5		3,8		0189	Důlková	II
26	22,0		5,6		0190	Důlková	II
27	28,7		12,7		0191	Důlková	II
28	50,2		13,4		0192	Důlková	II
29	15,2		3,6		0193	Důlková	II
30	16,3		4,1			Důlková	II
31	85,9		12,8		0195	Důlková	II
32	48,6		3,6		0196	Rovnoměrná	-
33	16,4		2,3		0197	Důlková	II
34	14,2		5,4		0198	Důlková	II
35	50,1		13,8		0199	Důlková	II
36	14,0		3,2		0200	Důlková	II
37	52,4		8,7		0201	Důlková	II
38	157,1		13,9		0202	Rovnoměrná	-
39	81,8		11,9		0203	Důlková	II
40	51,4	74,7	60,4	27,7	0204	Bodová	-
41	21,9		5,6		0205	Důlková	II
42	19,3		4,2		0206	Důlková	II
43	43,8		11,5		0207	Důlková	II
44	11,1		4,2			Důlková	II
45	104,4		5,6		0208	Rovnoměrná	-
46	54,3		4,8		0209	Rovnoměrná	-
47	19,3		4,0			Důlková	II
48	133,8		7,3		0210	Rovnoměrná	-
49	51,1		5,9		0211	Důlková	II

55,5	74,7	8,5	27,7	Aritmetický průměr
44,3	74,7	5,6	27,7	Median
58,4	0,0	8,8	0,0	smerodatna odchylka
378,8	74,7	60,4	27,7	max
11,1	74,7	2,3	27,7	min

Tabulka 14.7: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_1,5_ vz_2.

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	104,3		2,5		0459	Rovnoměrná	-
2	156,8		4,4		0460	Rovnoměrná	-
3	111,6		2,9		0461	Rovnoměrná	-
4	71,0		5,0		0462	Rovnoměrná	-
5	209,9		6,5		0463	Rovnoměrná	-
6	90,7		4,8			Rovnoměrná	-
7	264,1		3,9		0464	Rovnoměrná	-
8	134,6		3,1		0465	Rovnoměrná	-
9	72,9		3,4		0466	Rovnoměrná	-
10	56,6		3,0		0467	Rovnoměrná	-
11	55,1		2,9			Rovnoměrná	-
12	40,9		3,1		0468	Rovnoměrná	-
13	142,9		8,6		0469	Rovnoměrná	-
14	57,2		13,9		0470	Důlková	II
15	112,1		13,4		0471	Důlková	II
16	30,7		6,9		0472	Důlková	II
17	20,6		8,5		0473	Důlková	II
18	17,6		1,9		0474	Důlková	II
19	25,9		6,3		0475	Důlková	II
20	35,3		8,0			Důlková	II
21	20,7		5,2		0476	Důlková	II
22	23,3		4,0		0477	Důlková	II
23	92,2		10,5		0478	Důlková	II
24	34,9		5,6		0479	Důlková	II
25	28,8		4,5		0480	Důlková	II
26	26,2		2,6		0481	Rovnoměrná	-
27	91,1		10,7		0482	Důlková	II
28	55,5		19,7			Důlková	II
29	33,2		3,1		0483	Rovnoměrná	-
30	31,4		2,9			Rovnoměrná	-
31	62,1		15,1		0484	Důlková	II
32	67,0		11,5		0485	Důlková	II
33	306,6		15,5		0486	Rovnoměrná	-
34	67,2		8,2		0487	Důlková	II
35	82,2		10,6		0488	Důlková	II
36	46,6		18,8		0489	Důlková	II
37	58,2		5,5		0490	Rovnoměrná	-
38	112,5		4,0		0491	Rovnoměrná	-
39	84,6		7,3		0492	Rovnoměrná	-
40	67,9		8,1		0493	Důlková	II
41	48,1		7,6			Důlková	II
42	136,3		7,4		0494	Rovnoměrná	-
43	38,9		6,4		0495	Důlková	II

79,7	0,0	7,2	0,0	Aritmetický průměr
62,1	0,0	6,3	0,0	Median
61,9	0,0	4,4	0,0	směrodatná odchylka
306,6	0,0	19,7	0,0	max
17,6	0,0	1,9	0,0	min

Tabulka 14.8: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_3.

Pofadi	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	76,9		4,8		0212	Rovnoměrná	-
2	49,1		4,5			Rovnoměrná	-
3	19,7		4,6		0213	Důlková	II
4	23,7		3,7		0214	Důlková	II
5	38,9		6,5		0215	Důlková	II
6	13,0		2,5			Důlková	II
7	63,0		4,3			Rovnoměrná	-
8	27,9		14,2		0216	Důlková	II
9	68,5		9,4		0217	Důlková	II
10	46,9		5,1		0218	Důlková	II
11	34,1		4,8		0219	Důlková	II
12	18,3		6,4			Důlková	II
13	15,5		4,8		0220	Důlková	II
14	30,8		7,8			Důlková	II
15	125,2		10,0		0221	Rovnoměrná	-
16	68,0		7,3		0222	Důlková	II
17	39,5		5,1		0223	Důlková	II
18	37,0		6,1			Důlková	II
19	65,2		5,8		0224	Rovnoměrná	-
20	23,3		19,0		0225	Důlková	II
21	25,2		5,7		0226	Důlková	II
22	42,2		6,5		0227	Důlková	II
23	601,1	706,4	179,6	72,5	0228	Důlková	III
24	24,5		4,6		0229	Důlková	II
25	201,0		9,2		0230	Rovnoměrná	-
26	76,4		8,3			Důlková	II
27	48,2		10,9		0231	Důlková	II
28	55,7		9,5		0232	Důlková	II
29	19,4		6,8			Důlková	II
30	35,1		4,3		0233	Důlková	II
31	38,4		14,5		0234	Důlková	II
32	901,4		13,7		0236	Rovnoměrná	-
33	198,0		8,9		0237	Rovnoměrná	-

95,5	706,4	12,7	72,5	Aritmetický průměr
39,5	706,4	6,5	72,5	Median
176,1	0,0	29,7	0,0	smerodatna odchylka
901,4	706,4	179,6	72,5	max
13,0	706,4	2,5	72,5	min

Tabulka 14.9: *Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_3,2_ vz_1.*

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	111,2		34,5		0238	Důlková	II
2	47,8		11,1		0239	Důlková	II
3	18,0		2,3		0240	Důlková	II
4	30,2		3,6		0241	Důlková	II
5	11,7		5,4		0242	Důlková	II
6	644,5	705,8	265,8	77,3	0243	Důlková	III
7	40,4		13,2		0244	Důlková	II
8	101,6		12,5		0245	Důlková	II
9	24,3		3,4		0246	Důlková	II
10	108,8		9,7		0247	Rovnoměrná	-
11	52,4		6,6			Důlková	II
12	94,8		11,8		0248	Důlková	II
13	105,6		9,8		0249	Rovnoměrná	-
14	90,1		12,6		0250	Důlková	II
15	44,6		4,2		0251	Rovnoměrná	-
16	152,1		6,1			Rovnoměrná	-
17	35,0		5,0		0252	Důlková	II
18	101,8		6,3			Rovnoměrná	-
19	72,5		9,5		0253	Důlková	II
20	99,7		18,3		0254	Důlková	II
21	35,9		23,7		0255	Důlková	II
22	39,1		10,7			Důlková	II
23	90,7		11,8		0256	Důlková	II
24	20,5		12,0		0257	Důlková	II
25	15,1		9,3		0258	Důlková	II
26	37,4		11,7		0259	Důlková	II
27	103,1		10,5		0260	Důlková	II
28	30,2		11,1		0261	Důlková	II
29	81,8		62,7		0262	Důlková	II
30	26,8		5,1		0263	Důlková	II
31	69,3		7,3		0264	Důlková	II
32	20,5		6,5		0265	Důlková	II
33	19,1		2,9		0266	Důlková	II
34	45,4		2,6			Rovnoměrná	-
35	54,5		13,2		0267	Důlková	II
36	51,5		5,6		0268	Důlková	II
37	121,4		20,7		0269	Důlková	II
38	58,7		6,5		0270	Důlková	II
39	25,9		5,2		0271	Důlková	II
40	316,3		15,5		0272	Rovnoměrná	-

81,3	705,8	17,7	77,3		Aritmetický průměr
52,0	705,8	9,8	77,3		Median
104,7	0,0	41,0	0,0		smerodatna odchylka
644,5	705,8	265,8	77,3		max
11,7	705,8	2,3	77,3		min

Tabulka 14.10: *Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_3,2_ vz_2.*

Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	82,4		9,4		0505	Důlková	II
2	33,8		4,0			Důlková	II
3	102,9		10,2		0506	Rovnoměrná	-
4	391,0		9,2		0507	Rovnoměrná	-
5	34,8		3,8		0508	Důlková	II
6	64,0		7,5			Důlková	II
7	78,8		5,6		0509	Rovnoměrná	-
8	40,1		3,0		0510	Rovnoměrná	-
9	30,6		4,2		0511	Důlková	II
10	97,6		3,9		0512	Rovnoměrná	-
11	132,1		15,8		0513	Důlková	II
12	67,1		2,6		0514	Rovnoměrná	-
13	98,8		5,7		0515	Rovnoměrná	-
14	18,1		4,4		0516	Důlková	II
15	79,1		17,6		0517	Důlková	II
16	401,1		6,3		0518	Rovnoměrná	-
17	33,9		22,7		0519	Důlková	II
18	225,7		17,2		0520	Rovnoměrná	-
19	85,7		4,9		0521	Rovnoměrná	-
20	80,9		9,2		0522	Důlková	II
21	77,9		1,9		0523	Rovnoměrná	-
22	45,5		5,5		0524	Důlková	II
23	59,2	71,0	41,4	14,2	0525	Důlková	III
24	88,0		17,0		0526	Důlková	II
25	24,5		4,4		0527	Důlková	II
26	525,6		13,7		0528	Rovnoměrná	-
27	93,4		11,9		0529	Důlková	II
28	46,4		9,4		0530	Důlková	II
29	43,9		8,1		0531	Důlková	II
30	86,3		8,4		0532	Rovnoměrná	-
31	119,9		6,9		0533	Rovnoměrná	-
32	241,7		3,6		0534	Rovnoměrná	-
33	60,8		10,5		0535	Důlková	II
34	48,6		5,0		0536	Důlková	II
35	45,4		7,0		0537	Důlková	II
36	73,6		9,3		0538	Důlková	II
37	79,8		6,8		0539	Rovnoměrná	-
38	110,4		4,3		0540	Rovnoměrná	-
39	110,7		9,4		0541	Rovnoměrná	-
40	77,1		15,2		0542	Důlková	II
41	70,2		8,0		0543	Důlková	II
42	668,9		11,3		0544	Rovnoměrná	-
43	125,5		11,4		0545	Rovnoměrná	-
44	100,1		17,8		0546	Důlková	II
45	62,3		21,0		0547	Důlková	II
46	53,8		9,2		0548	Důlková	II
47	57,2		12,4		0549	Důlková	II
48	46,7		8,0		0550	Důlková	II
49	83,1		9,0		0551	Důlková	II
50	42,6		9,4		0552	Důlková	II
51	167,7		8,3		0553	Rovnoměrná	-
52	276,8		18,7		0554	Rovnoměrná	-
53	204,8		12,5		0555	Rovnoměrná	-
54	38,1		7,7			Důlková	II
55	43,7		10,4			Důlková	II

114,2	71,0	9,9	14,2	Aritmetický průměr
78,8	71,0	9,0	14,2	Median
123,0	0,0	6,5	0,0	smerodatna odchylka
668,9		41,4	14,2	max
18,1	71,0	1,9	14,2	min

Tabulka 14.11: *Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def_ 5,5.*

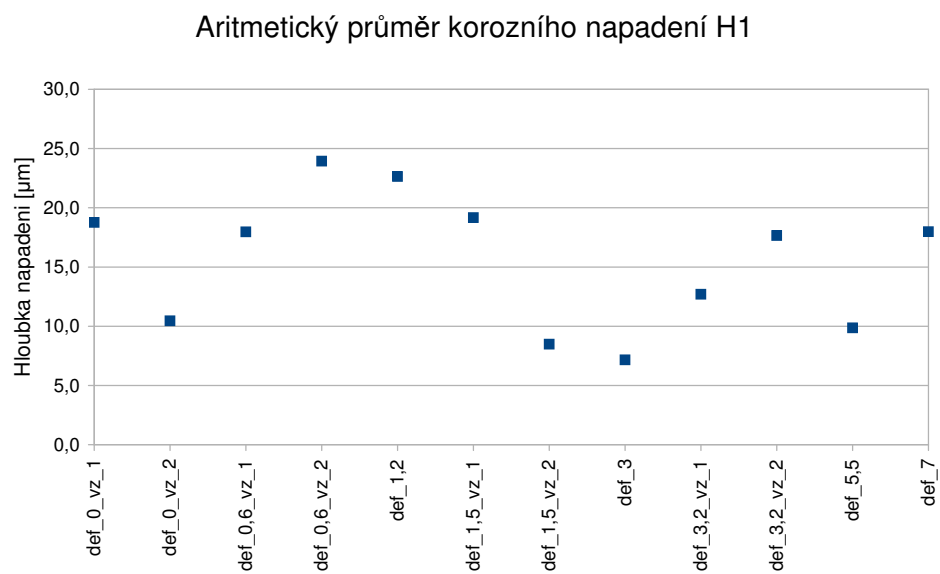
Pořadí	D1	D2	H1	H2	Snímek	Druh koroze	Typ
1	91,1		4,9		0556	Rovnoměrná	-
2	27,6		20,7		0557	Důlková	II
3	377,0		4,5		0559	Rovnoměrná	-
4	310,4		8,0		0560	Rovnoměrná	-
5	53,9		33,8		0561	Důlková	II
6	91,1		7,1		0562	Rovnoměrná	-
7	114,9		5,9		0563	Rovnoměrná	-
8	45,0		4,9			Důlková	II
9	33,9		6,3		0564	Důlková	II
10	14,6		2,7			Důlková	II
11	53,4		5,5			Důlková	II
12	36,3		4,3		0565	Důlková	II
13	38,2		5,0		0566	Důlková	II
14	91,9		5,1		0567	Rovnoměrná	-
15	29,6		5,2			Důlková	II
16	42,1		2,7		0568	Rovnoměrná	-
17	132,5		7,7		0569	Rovnoměrná	-
18	140,6	308,9	115,6	44,3	0570	Důlková	III
19	95,3		38,5		0571	Důlková	II
20	87,9		9,0		0572	Důlková	II
21	116,2		7,3		0573	Rovnoměrná	-
22	650,0		12,5		0574	Rovnoměrná	-
23	444,8		10,7		0575	Rovnoměrná	-
24	457,8		17,2		0576	Rovnoměrná	-
25	184,6		10,1		0577	Rovnoměrná	-
26	163,8		13,7		0578	Rovnoměrná	-
27	72,8		13,6		0579	Důlková	II
28	53,4		14,5		0580	Důlková	II
29	318,4		9,2		0581	Rovnoměrná	-
30	74,8		9,2		0582	Důlková	II
31	15,0		6,4		0583	Důlková	II
32	56,0		24,7			Důlková	II
33	332,7		11,6		0584	Rovnoměrná	-
34	51,7		8,0		0585	Důlková	II
35	317,8		35,4		0586	Důlková	II
36	139,1		12,8		0587	Rovnoměrná	-
37	345,2	438,6	191,8	58,0	0588	Důlková	III
38	45,0		8,6		0589	Důlková	II
39	30,2		10,3		0590	Důlková	II
40	66,7		14,9		0591	Důlková	II
41	139,4		9,4		0592	Rovnoměrná	-
42	23,2		5,6		0593	Důlková	II

143,0	373,8	18,0	51,2		Aritmetický průměr
89,5	373,8	9,1	51,2		Median
145,6	64,9	32,5	6,9		smerodatna odchylka
650,0	438,6	191,8	58,0		max
14,6	308,9	2,7	44,3		min

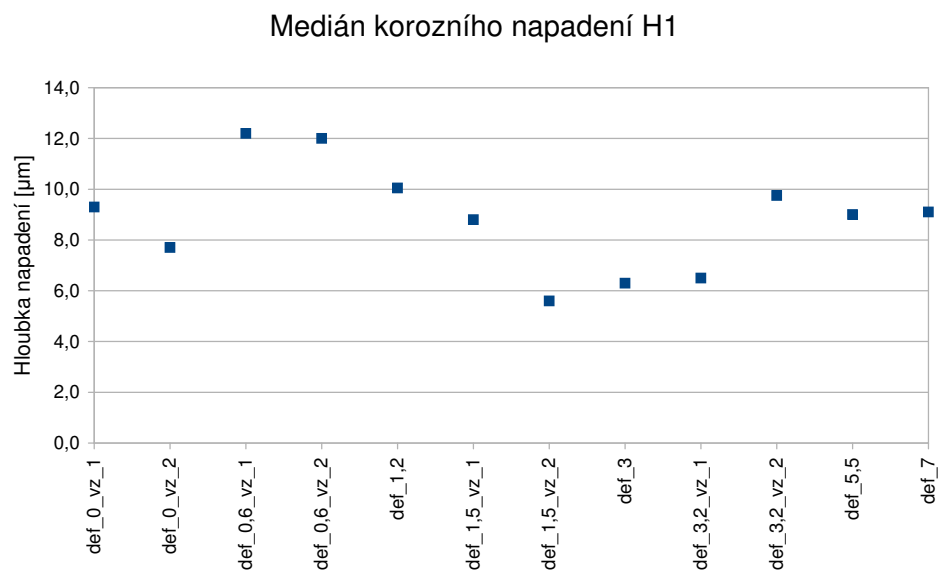
Tabulka 14.12: Tabulka naměřených hodnot pro vzorek def. 7.

	Aritmetický průměr				Median				Max		Min		Směrodatná odchylka		Intervalový odhad H1		Druh koroze v %		
	D1	D2	H1	H2	D1	D2	H1	H2	D1	D2	H1	H2	D1	D2	H1	H2	Důlková	Rovnoměrná	Bodová
def_0_vz_1	110,5	705,2	18,8	72,5	54,7	705,2	9,3	72,5	685,6	306,8	11,2	1,8	148,3	44,8	8,93	28,60	67,8	32,2	0,0
def_0_vz_2	52,9	110,0	10,5	51,8	27,6	10,9	7,7	4,0	427,5	71,4	10,0	3,0	78,0	10,6	7,85	13,05	93,3	6,7	0,0
def_0,6_vz_1	194,4	264,5	18,0	29,8	90,8	264,5	12,2	29,8	785,5	170,6	20,0	1,9	220,5	29,3	8,73	27,21	50,0	50,0	0,0
def_0,6_vz_2	153,7	594,0	23,9	64,5	95,4	594,0	12,0	64,5	1053,6	249,7	15,9	3,5	198,0	46,2	11,64	36,24	70,7	29,3	0,0
def_1,2	194,8	406,7	22,6	43,4	127,0	406,7	10,1	43,4	722,4	221,8	27,8	3,1	177,4	44,0	10,46	34,83	39,5	60,5	0,0
def_1,5_vz_1	82,8	168,7	19,2	44,0	48,8	147,2	8,8	44,0	330,0	182,5	11,5	1,0	78,7	33,5	11,05	27,27	75,5	22,4	2,0
def_1,5_vz_2	55,5	74,7	8,5	27,7	44,3	74,7	5,6	27,7	378,8	60,4	11,1	2,3	58,4	8,8	6,35	10,61	77,6	20,4	2,0
def_3	79,7	0,0	7,2	0,0	62,1	0,0	6,3	0,0	306,6	19,7	17,6	1,9	61,9	4,4	6,01	8,31	51,2	48,8	0,0
def_3,2_vz_1	95,5	706,4	12,7	72,5	39,5	706,4	6,5	72,5	901,4	179,6	13,0	2,5	176,1	29,7	3,82	21,58	75,8	24,2	0,0
def_3,2_vz_2	81,3	705,8	17,7	77,3	52,0	705,8	9,8	77,3	644,5	285,8	11,7	2,3	104,7	41,0	6,44	28,87	82,5	17,5	0,0
def_5,5	114,2	71,0	9,9	14,2	78,8	71,0	9,0	14,2	668,9	41,4	18,1	1,9	123,0	6,5	8,38	11,33	58,2	41,8	0,0
def_7	143,0	373,8	18,0	51,2	89,5	373,8	9,1	51,2	650,0	191,8	14,6	2,7	145,6	32,5	9,42	26,53	57,1	42,9	0,0

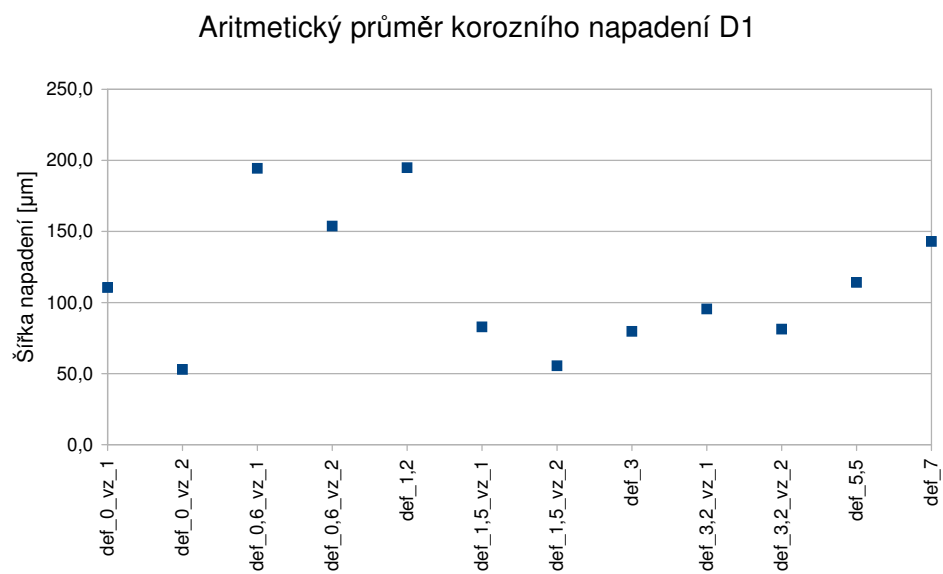
Tabulka 14.13: Souhrnná tabulka s vypočítanými hodnotami.



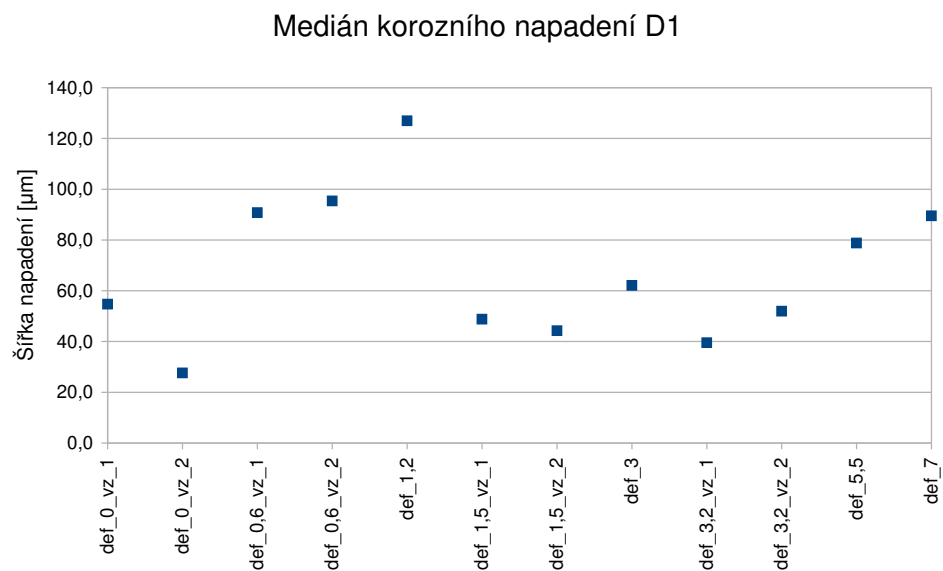
Obrázek 14.1: *Aritmetický průměr korozního napadení hloubky materiálu.*



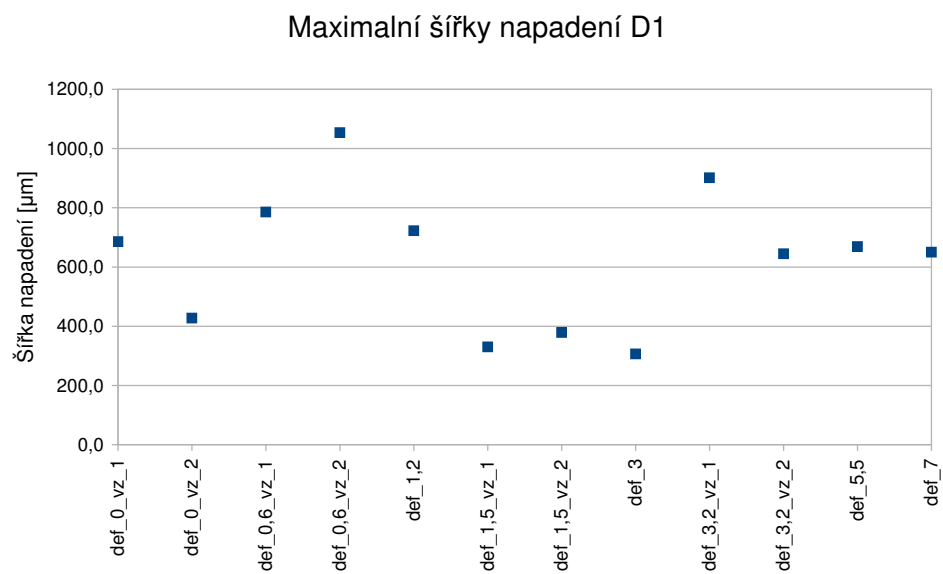
Obrázek 14.2: *Medián korozního napadení hloubky materiálu.*



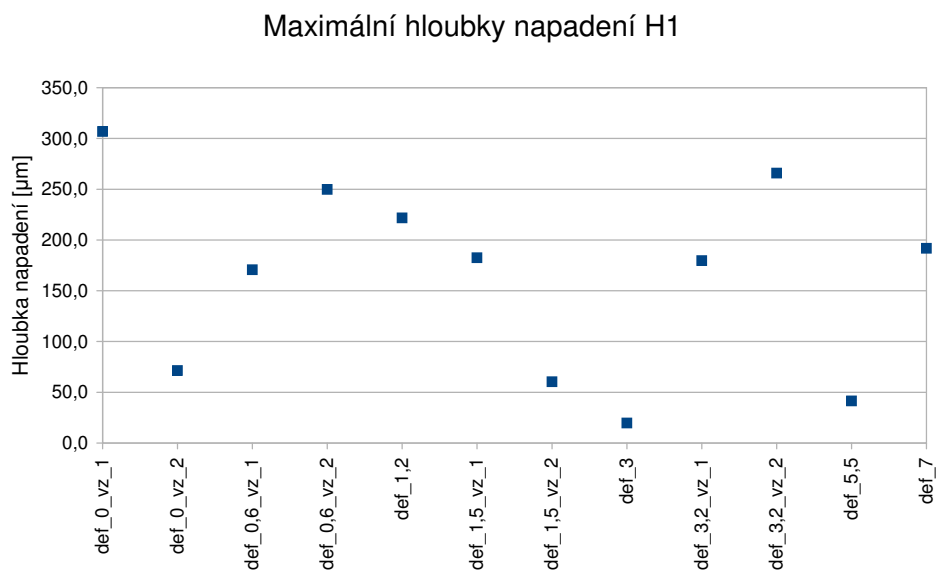
Obrázek 14.3: *Aritmetický průměr šířky korozního napadení materiálu.*



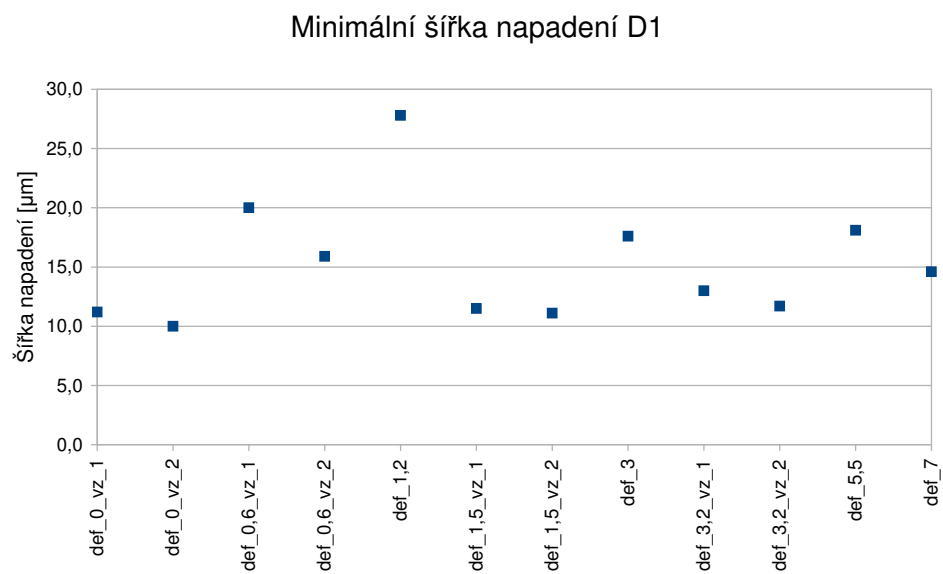
Obrázek 14.4: *Medián šířky korozního napadení materiálu.*



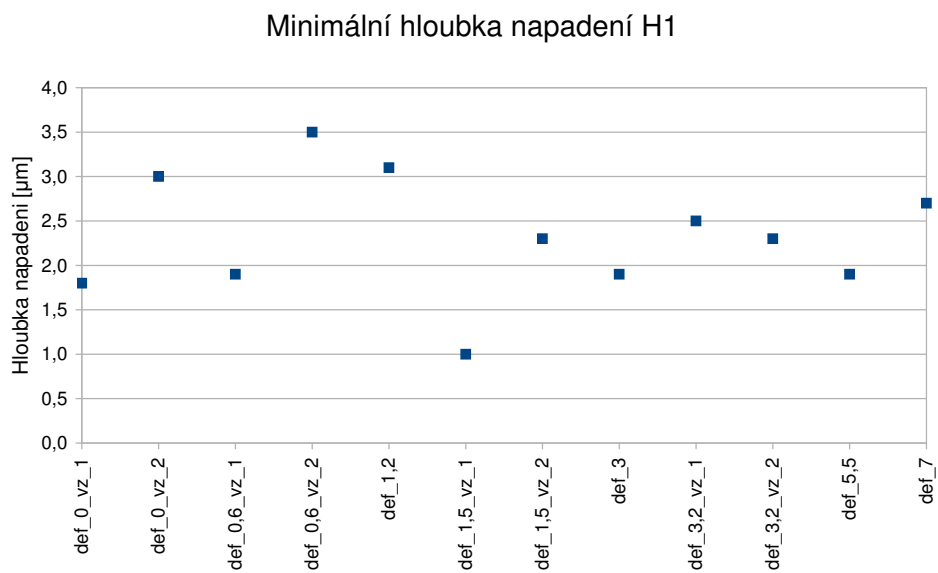
Obrázek 14.5: *Maximální korozní napadení šířky materiálu.*



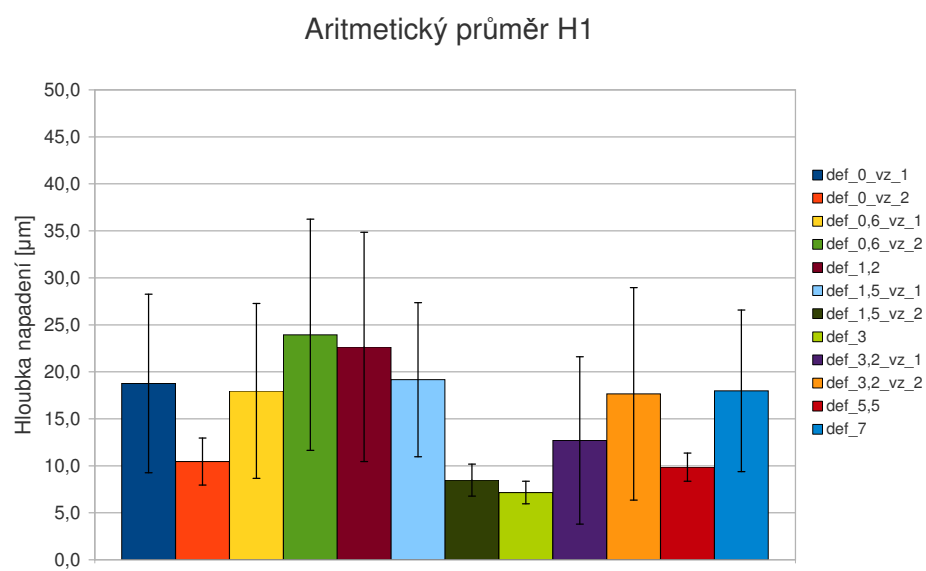
Obrázek 14.6: *Maximální korozní napadení hloubky materiálu.*



Obrázek 14.7: *Minimální korozní napadení šířky materiálu.*



Obrázek 14.8: *Minimální korozní napadení hloubky materiálu.*



Obrázek 14.9: *Histogram aritmetických hodnot H1 se směrodatnou odchylkou.*