

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Obor: Strojírenská technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

Katedra materiálů

Porovnání vhodnosti k eloxování hliníkových slitin Comparison of suitability to anodic oxidation by aluminium - base alloys

KMT - 217

PETR BAMBUŠEK

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Štefan Michna, Ph.D.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 52

Počet tabulek: 10

Počet obrázků: 18

Počet příloh: 7

TECHNICKÁ UNIVERZITA

Katedra materiálu FS

Hálkova 6, 461 17 Liberec

ANOTACE

FAKULTA: Strojní

ŠKOLNÍ ROK: 2005/2006

KATEDRA MATERIÁLU

OBOR: 2303 T 002 Strojírenská technologie

ZAMĚŘENÍ: Materiálové inženýrství

AUTOR DP: Bc. Petr Bambušek

TÉMA: Porovnání vhodnosti k eloxování hliníkových slitin

ČÍSLO DP: KMT-217

VEDOUCÍ DP: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc, TU Liberec

KONZULTANT: Ing. Štefan Michna, Ph.D., Alcan Děčín Extrusions s.r.o.

Tato diplomová práce je zaměřena na experimentálním porovnání vhodnosti k eloxování vybraných hliníkových slitin. Vhodnost k eloxování byla zjišťována měřením tloušťky eloxované vrstvy (kvantitativní hodnocení), pozorováním a hodnocením metalografické struktury, zrna a vzhledu povrchu vrstvy (kvalitativní hodnocení).

Klíčová slova: Elokování, elektrolytická oxidace, hliníkové slitiny, vhodnost k eloxování;

TECHNICKÁ UNIVERZITA

Katedra materiálu FS

Hálkova 6, 461 17 Liberec

ANNOTATION

FACULTY OF MECHANICAL

SCHOOL YEAR: 2005/2006

DEPARTMENT OF MATERIAL SCIENCE

SPECIALIZATION: 2303 T 002 Engineering technology

FOCUSING: Material engineering

NAME: Bc. Petr Bambušek

THEME OF DSC WORK: Comparison of suitability to anodic oxidation by
aluminium - base alloys

NUMBER OF DSC WORK: KMT-217

LEADER OF DSC WORK: doc. Ing. Karel Daďourek, CSc, TU Liberec

CONSULTER: Ing. Štefan Michna, Ph.D., Alcan Děčín Extrusions s.r.o

The subject of this work is a comparison of suitability to anodic oxidation by aluminium-base alloys. The suitability was verified by cross depth measuring (quantity evaluation), surface, metallographic structure and grain visual studying and evaluating (quality evaluation).

Key words: Eloxal process, anodic oxidation, aluminium alloys, suitability to eloxal process;

Rád bych na tomto místě poděkoval Ing. Štefanu Michnovi, Ph.D.
a doc. Ing. Karlu Daďourkovi, CSc. za cenné rady a odborné vedení mé práce. Děkuji
firmě Alcan Děčín Extrusions s.r.o, Michalu Průchovi a dalším jejím zaměstnancům za
vstřícné jednání.

Obsah

1 ÚVOD.....	7
2 TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1 Al a jeho slitiny	9
2.1.1 Rozpustnost prvků v tavenině hliníku	12
2.1.2 Rozpustnost prvků v tuhém roztoku hliníku.....	13
2.1.3 Intermetalické binární fáze hliníku.....	13
2.1.4 Binární diagram hliník – hořčík.....	14
2.1.5 Binární diagram hliník – bismut.....	16
2.1.6 Binární diagram hliník – olovo.....	17
2.1.7 Binární diagram hliník – cín.....	18
2.1.8 Ternární diagram hliník – hořčík – křemík.....	19
2.2 Obrobitelné hliníkové slitiny	21
2.3 Eloxování	23
2.3.1 Podstata eloxování	23
2.3.2 Postup při anodické oxidaci (eloxování) a vybarvování oxidických vrstev u hliníkových polotovarů	25
2.3.3 Kvalita a vady eloxovaného povrchu	27
3. Experimentální část	32
3.1 Příprava vzorků pro eloxování.....	32
3.2 Značení vzorků	32
3.3 Chemické složení slitin.....	33
3.4 Eloxování	33
3.5 Příprava metalografických výbrusů	34
3.5.1 Řezání eloxovaných vzorků.....	34
3.5.2 Zalití eloxovaných vzorků	34
3.5.3 Broušení a leštění eloxovaných vzorků	35
3.5.4 Leptání eloxovaných vzorků.....	36
3.6 Měření tloušťek vrstev	36
3.7 Kvalitativní hodnocení eloxovaných povrchů	38
3.8 Pozorování metalografické struktury.....	38
3.9 Hodnocení zrna	42

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ.....	45
4.1 Měření tloušťek eloxovaných vrstev	45
4.2 Kvalitativní hodnocení.....	46
4.3 Pozorování metalografické struktury.....	46
4.4 Hodnocení zrna.....	47
5 ZÁVĚR.....	48
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....	50
7 PŘÍLOHY	51

1 ÚVOD

Ve světě se vyrábějí a všeobecně komerčně používají tři základní typy obrobitelných slitin hliníku: AlMgSiPb, AlCu4PbMg a AlCu6BiPb. Tyto slitiny jsou normalizovány v mezinárodních a evropských normách a v národních normách většiny vyspělých států světa. Dobrá obrobitelnost těchto slitin je podmíněna přítomností olova jako legujícího prvku. U těchto běžně používaných obrobitelných slitin se obsah olova pohybuje zpravidla od 0,5 do 2,5 hm. %. Olovo, které je v hliníku nerozpustné, tvoří ve struktuře slitin disperzní nízkotavitelné fáze. Tyto fáze se v důsledku zvýšení teploty v místě řezu při obrábění natavují, snižují tření mezi odcházející třískou a nástrojem, zabraňují tak tvorbě nárůstků na čele řezného nástroje, a tím zvyšují životnost nástroje a zlepšují jakost obrobeného povrchu. Významně snižují energetickou náročnost obrábění. Pro svou měkkost minimálně působí na abrazivní opotřebení nástroje. Fáze olova rovněž zvyšují lámavost třísky.

Bez olova mají slitiny hliníku malou lámavost a stáčivost třísky, takže v průběhu obrábění ji lze jen těžko odvést z řezného nože. Při obrábění se vytvářejí velké chuchvalce třísek nabalující se na nůž, obráběné součástky a ostatní části obráběcího zařízení. Dlouhá spojitá tříska působí těžkosti i při jejím skladování. Běžné slitiny hliníku tak prakticky nelze efektivně obrábět na obráběcích automatech.

Olovo je pro lidský organismus škodlivé. Negativně ovlivňuje hematologický a nervový systém, má nepříznivé účinky také na činnost ledvin a dalších orgánů. V současné době zároveň sílí ekologické tlaky na eliminaci slitin obsahujících olovo. Postupně se zpříšňují normy ošetřující množství olova ve vodě, potravinách a v celém životním prostředí. Současné legislativní předpisy Evropské unie silně omezují obsah olova v kovech a slitinách.

Omezením olova v obrobitelných slitinách by se snížil i obsah olova v odpadech, a tudíž by se zmenšilo riziko „kontaminace“ ostatních hliníkových slitin olovem.

V zásadě existují dva přístupy k řešení problému vyloučení olova v automatových slitinách hliníku. Jeden ze způsobů řešení je v použití vybraných tvářených slitin hliníku typu Al-Si bez legování nízkotavitelných kovů. Tyto slitiny obsahují tvrdé fáze s obsahem křemíku zvyšující lámavost třísky.

Druhý způsob tkví v náhradě olova jinými netoxickými nízkotavitelnými kovy podobných vlastností. Tyto kovy musí mít nízkou teplotu tání a po legování vytvářet ve

strukturu hliníkových slitin měkké nízkotavitelné fáze podobných vlastností jako olovnaté fáze ve stávajících obrobitelných slitinách.

Cílem této diplomové práce je seznámit se s problematikou náhrady hliníkových slitin s olovem hliníkovými slitinami s cínem a bismutem nebo pouze s bismutem. Dále provést experimenty pro následné hodnocení vhodnosti nových hliníkových slitin nahrazujících původní hliníkové slitiny s olovem k elektrolytické oxidaci (eloxování).

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Al a jeho slitiny

Rychlý růst výroby a spotřeby hliníku v posledním desetiletí nemá, a to až na titan a jeho slitiny, ve světě obdobu. Odpověď je třeba hledat především ve vlastnostech nejen hliníku a jeho slitin, ale také ve velmi výhodné kombinaci těchto vlastností:

- fyzikálních (např. tepelná a elektrická vodivost)
- mechanických (např. dostatečné pevnostní vlastnosti, únavové vlastnosti, výborné mechanické vlastnosti při záporných teplotách)
- chemických (např. odolnost proti korozi díky vzniku ochranné vrstvy Al_2O_3 o tloušťce 5-20 μm)
- technologických (např. dobrá schopnost k tváření za tepla i studena, dobrá obrobitelnost Al slitin s Pb, Bi, Sn, výborná slévateľnost a zabíhavost slitin s Si)

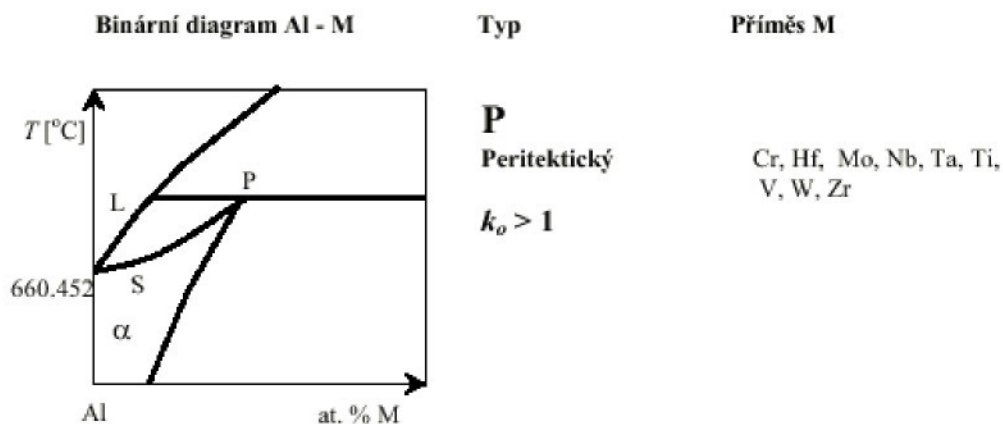
Nalegováním jednoho, či více prvků můžeme ještě zlepšit původní vlastnosti hliníku. Pevnostní vlastnosti lze zlepšit např. pomocí Cu a Mg (slitiny známé jako duraly). Legováním Ag se výrazně zlepšuje odolnost některých slitin vůči korozi za napětí. Například Si zlepšuje slévářenské vlastnosti (slitiny známé jako siluminy), Sc zlepšuje svařitelnost. Bor zlepšuje elektrickou vodivost technicky čistého Al.

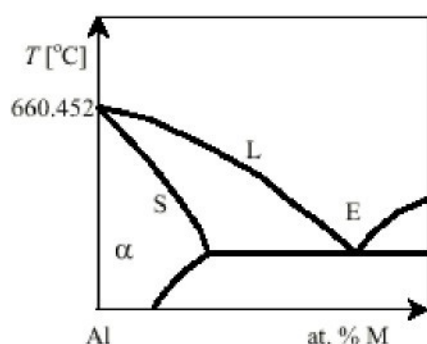
Fyzikální, chemické, mechanické i jiné vlastnosti hliníku a hliníkových slitin jsou tedy značně ovlivňovány čistotou vstupních materiálů, použitou technologií výroby, množstvím legujících prvků, tepelným zpracováním apod. Proto je nutno znát základní termodynamické charakteristiky hliníku. Pro metalurgické účely je to zejména teplota tání a molární entalpie tání hliníku (skupenské teplo tání).

Např. teplota tání hliníku byla během let postupně upřesňována až na dnešní hodnotu 660.452 °C, což úzce souvisí s čistotou hliníku. Tak např. hliník s obsahem 99.2 až 99.5 % Al má teplotu tání v rozmezí 657 až 658 °C. Čistší hliník s obsahem 99.6 % Al se taví při 658.7 °C a hliník o čistotě 99.97 % Al má teplotu tání 659.8 °C. Pozdější měření pro čistý hliník s obsahem 99.996 % Al udávají teplotu tání 660.24 °C, tj. 933.4 K. Nejnovější údaje [3,4] uvádějí pro super čistý hliník 99.9995 % Al teplotu tání 660.452 °C. [5]

Nejběžnější binární slitiny hliníku tvoří binární systémy, jako např. Al – Cu, Al – Mg, Al – Mn, Al – Si, Al – Zn. V těchto systémech tvoří hliník s příslušnými prvky substituční tuhý roztok, který má při dobré tvářitelnosti a houževnatosti lepší mechanické vlastnosti než čistý hliník. Maximální rozpustnost příměsí v tuhém roztoku Al je při eutektické teplotě. S klesající teplotou rozpustnost přísad klesá a při pokojové teplotě bývá malá, nebo i zanedbatelná. Rovnovážné binární diagramy jsou na straně hliníku vesměs jednoduchého eutektického nebo peritektického typu. Při vyšších koncentracích přísad jsou diagramy komplikovány tvorbou intermetalických fází (přísady Cu, Mg, Mn) nebo jsou to jednoduché diagramy s omezenou vzájemnou rozpustností obou komponent v tuhém stavu (systém Al – Si). Základní typy binárních diagramů Al – příměs na straně hliníku jsou na obrázku č.1. Diagramy jsou rozděleny do čtyř základních typů, a to podle charakteru průběhu křivek solidu a likvidu a podle rozpustnosti přísady v tuhém roztoku Al:

- **Typ P** – peritektický – příměs zvyšuje teplotu tání Al,
- **Typ E1** – eutektický – příměs snižuje teplotu tání hliníku a v tuhém roztoku Al je dobře rozpustná,
- **Typ E2** – eutektický s omezenou rozpustností příměsí v tuhém roztoku α hliníku,
- **Typ M** – monotektický - reakce probíhá při složení blízkém čistému Al (rozpustnost příměsí v likvidu je omezená a s poklesem teploty se výrazně zmenšuje na hodnoty pod 0,1 at.% příměsového prvku v blízkosti teploty tání Al).



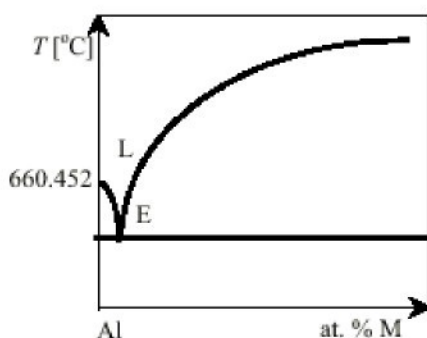


E1

Eutektický

Ag, Au, Be, Ca, Ga, Ge,
Hg, Li, Mg, Si, Sn, Th, Zn

$$k_0 < 1$$

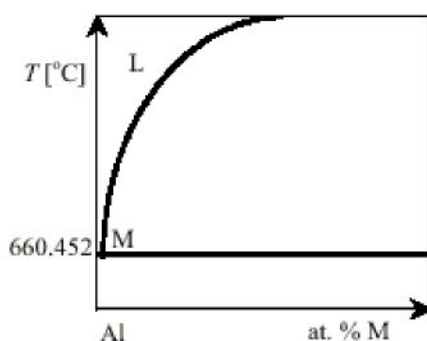


E2

Eutektický s velmi
malou rozpustností
v solidu

B, Ba, Bi, Cd, Ce, Co,
Dy, Er, Eu, Fe, Gd, H,
Ho, In, Ir, La, Lu, Mn,
Nd, Ni, Pb, Pd, Pm, Pr,
Pt, Pu, Ru, Rh, Sb, Sc,
Sm, Sr, Tb, Te, Tm, U,
Y, Yb

$$k_0 < 0.01$$



M

Monotektický

As, C, K, N, Na, P, S,
Se, Tl

Obrázek č. 1: Základní typy binárních
diagramů v systémech Al – příměs

Vycházejí z Mendělejevovy periodické tabulky prvků je možno zobecnit některé zákony týkající se chování prvků jednotlivých skupin vůči hliníku. Be, Zn, Hg, Ga, Si, Ge a Sn tvoří s hliníkem jednoduché systémy eutektického typu. Kromě beryllia se všechny tyto prvky nacházejí v podskupinách IIB, IIIA a IVA periodické soustavy prvků. Prvky Cd, In a Pb z těchto podskupin a Bi ze skupiny VA tvoří eutektické typy diagramů s nepatrnou rozpustností v tuhém roztoku hliníku. Na a K (a také pravděpodobně Rb a Cs) z podskupiny IA jsou v hliníku jen omezeně rozpustné

v širokém teplotním intervalu nad teplotou tání Al. Proto tvoří jednoduché „monotektické“ systémy a nedochází ke vzniku intermetalických sloučenin. Mezi skupinami E2 a M na obrázku č.1 je velmi obtížné určit hranici pro zařazení prvků do správné skupiny. V našem třídění je hranice pro zařazení do skupiny E2 určena polohou eutektického bodu na koncentrační ose. Pokud má bod E hodnotu koncentrace menší než 0.1 at. %, byl prvek zařazen do skupiny M.

Ostatní kovové příměsi ze skupiny tranzitních (přechodových) kovů včetně lantanoidů a aktinoidů jsou omezeně rozpustné v tavenině hliníku a tvoří složité binární systémy s jednou nebo několika intermetalickými fázemi. U těchto systémů obvykle dochází k eutektické reakci na straně hliníku za vzniku tuhého roztoku na bázi Al a intermetalické sloučeniny. Příměsi prvků Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta a W (prvky podskupin IVA, VA a VIA) vytvářejí v hliníku tuhé roztoky α s omezenou rozpustností prvku po peritektické reakci intermetalické sloučeniny s taveninou Al.

Existuje celá řada intermetalických sloučenin, které vznikají reakcí hliníku s různými kovovými prvky. Některé fáze krystalizují kongruentně přímo z taveniny, tj. bez změny chemického složení (např. fáze AlNi, Al₁₂Mg₁₇, ...), další intermetalické fáze vznikají postupnými reakcemi taveniny hliníku s dříve vzniklými sloučeninami Al (např. systémy Al–Co, Al–Cr, Al–Mn, Al–Mo, Al–Ni, Al–Pt, Al–Ti, Al–V). [5]

2.1.1 Rozpustnost prvků v tavenině hliníku

Většina kovových prvků je v tavenině hliníku úplně rozpustná. Hodnoty meze rozpustnosti c_L pro řadu prvků při teplotách eutektických, peritektických i monotektických reakcí na straně hliníku jsou vedeny v tabulkách. Z polovodičových a nekovových prvků je Si v kapalném hliníku úplně rozpustný; bor má malou mezní rozpustnost (~0,02 hm.%) při eutektické teplotě, která leží těsně pod teplotou tání hliníku (T_m). Rozpustnost boru v likvidu se s rostoucí teplotou značně zvětšuje. Uhlík je rozpustný v hliníku v nepatrných množstvích a jeho rozpustnost v likvidu je mnohem nižší než u boru. Fosfor a arsen jsou v tavenině Al téměř nerozpustné. Podle hypotetického diagramu tvoří síra v oblasti teplot nad 1060 °C dvě navzájem nemísitelné taveniny L₁(Al) a L₂(Al + ~50 at.% S). Selen a telur tvoří s hliníkem intermetalické sloučeniny Al₂Se₃ a Al₂Te₃, které mají podstatně vyšší teplotu tání než

hliník a rozpustnost obou prvků v likvidu na straně Al se zvětšuje až do 60 at.% Se, resp. 42 at.% Te. Přírodní plyny a halové prvky (F, Cl, Br, I) krom vodíku se v tekutém hliníku nerozpouštějí, ale snadno s ním tvoří sloučeniny. Rozpustnost H_2 v krystalickém Al při teplotě 650 °C je cca 0,03 ml H_2 /100 g Al, v tavenině hliníku při 700 °C se rozpustnost skokem zvýší na hodnotu 1 ml H_2 /100 g Al. [5]

2.1.2 Rozpustnost prvků v tuhém roztoku hliníku

Ani jeden ze známých prvků se nerozpouští v krystalickém hliníku úplně. Největší rozpustnost ze všech existujících prvků má zinek (mez rozpustnosti je 67 at.% Zn při 381 °C). Ag, Mg a Li se rozpouštějí v tuhém hliníku v množstvích převyšujících 10 at. %. Prvky Ga, Ge, Cu a Si mají maximální rozpustnost menší než 10 at.%, ale větší než 1 at.%. Všechny ostatní prvky jsou rozpustné v Al mnohem méně. Rozpustnost lithia v Al je podle různých autorů v rozmezí 13.9 až 15.8 at.% při eutektické teplotě, jejíž rozptyl je od 596 do 602 °C. Kromě jediné všeobecně známé příměsi cínu je dosaženo maximální rozpustnosti prvků v hliníku při eutektické, peritektické i monotektické reakci. Při snížení teploty mez rozpustnosti klesá. Tato změna rozpustnosti (z poměrně vysokých koncentrací příměsí při zvýšených teplotách na poměrně nepatrné hodnoty koncentrací při nízkých teplotách) je jedním ze základních faktorů, které umožňují podstatné zvýšení pevnostních charakteristik hliníkových slitin po jejich zakalení a následujícím stárnutí. [5]

2.1.3 Intermetalické binární fáze hliníku

Charakteristickým rysem slitin na bázi hliníku je mnohotvárnost intermetalických fází vznikajících díky tomu, že hliník je třívalentním prvkem (skupina IIIB) a má vysoký elektronegativní potenciál. Přehled o intermetalických fázích v hliníkových slitinách je uveden v pracích [6,7] aj. Stabilita těchto fází a šířka intervalu koncentrace pro koexistenci dané fáze jsou určeny rozměrovým faktorem a valencí obou základních prvků. V binárních systémech mohou mít některé fáze přesně stechiometrické složení (AlP , $AlAs$, Al_2Ca , $AlSb$...), v jiných případech může sloučenina existovat v úzkém intervalu koncentrací neodpovídající jeho chemickému vzorci ($CuAl_2$), což je způsobeno přítomností defektů v krystalické mřížce. Další fáze, např. Ag_2Al , mají mnohem širší interval koncentrace. Tranzitní kovy tvoří často řadu

sloučenin s chemickými vzorci odpovídajícími přesně stechiometrickému složení (Co_2Al_9 , $\text{Co}_4\text{Al}_{13}$, CoAl_3 , Co_2Al_5 , MnAl_6 , MnAl_4 , MnAl_3 ...). Přechodové kovy vykazují často také metastabilní stavy, kdy jedna fáze vznikající při rychlém tuhnutí přechází v druhou v pevném skupenství (např. $\text{FeAl}_6 \rightarrow \text{FeAl}_3$), nebo dochází k vyloučení metastabilních fází z přesyceného tuhého roztoku (MnAl_{12}).

Některé intermetalické fáze hliníkových sloučenin jsou podle Hume-Rotheryho třídění běžné valenční (iontové) sloučeniny. Vyznačují se vysokou teplotou tání, nízkou elektrickou vodivostí, stejně jako sloučeniny Al s prvky VA skupiny, např. AlSb . Pro takovéto sloučeniny je charakteristická uspořádanost chemické vazby a výměna elektronů. Vzdálenost mezi ionty v sloučeninách je menší než předpokládaná vzdálenost pro kovovou vazbu. Některé fáze patří mezi elektronové sloučeniny s poměrem počtu elektronů na počet atomů, např. 3:2 pro AlCu_3 . V těchto fázích nedochází k výměně elektronů a převládají rysy charakteristické pro kovovou vazbu. Takové sloučeniny jsou plastické.

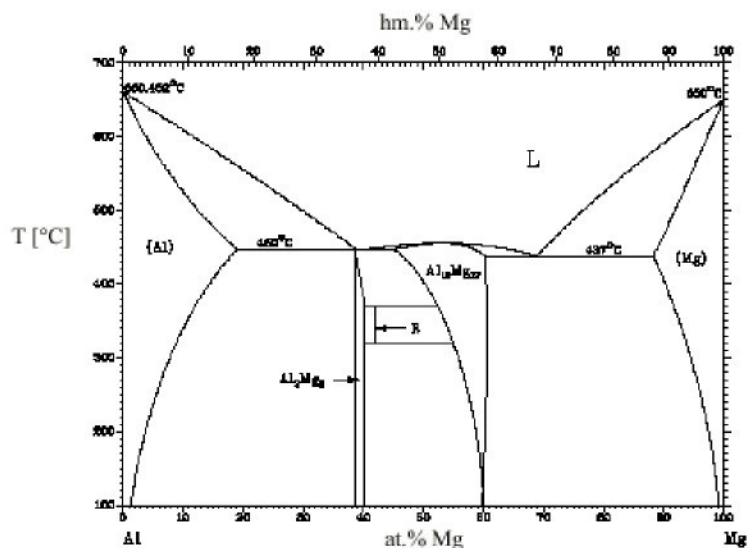
Podstata tvorby dalších sloučenin hliníku s přechodovými kovy a křemíkem není ještě dosud zcela objasněna a je předmětem zkoumání. Existují teorie, že se valenční elektrony absorbují d-orbity přechodových kovů a nahrazují se elektrony z elektronových vrstev hliníku. To vede ke zmenšení mřížkového parametru ve sloučeninách hliníku s tranzitními kovy, což je typické pro iontovou vazbu. Takovéto sloučeniny mají vysokou teplotu tání. Strukturu sloučenin si lze představit ve formě polyedrických rovin seskupení atom hliníku rozložených v 8, 9 a 10 vrstvách okolo atomů tranzitních kovů. [5]

2.1.4 Binární diagram hliník – hořčík

Binární slitiny Al – Mg jsou základem důležité skupiny tepelně nezpevňovaných slitin. I když se hořčík rozpouští ve značných množstvích v tuhém roztoku hliníku od cca 17,4 hm.% při teplotě 450 °C až do koncentrace 1,9 hm.% Mg při 200 °C, což vyvolává u všech technických slitin segregaci fáze β (Al_3Mg_2), neprojevuje se v binárních slitinách efekt disperzního zpevnění (stárnutí) při koncentracích méně než 7 hm.% Mg. Hořčík výrazně zlepšuje mechanické vlastnosti slitin hliníku. Pevnost s přísadou hořčíku postupně stoupá, tažnost zpočátku klesá a teprve od 3 hm.% Mg se mírně zvyšuje. Obsah hořčíku ve slitinách pro tváření nebývá však vyšší než 7 hm.%. Je to proto, že slitiny s vyšším obsahem Mg mají horší odolnost proti korozi a zejména

horší tvárnost. Sklon ke korozi vyvolává sloučenina Al_3Mg_2 , která se vylučuje na hranicích zrn. Slitiny s hořčíkem lze značně zpevnit tvářením za studena při zachování vysoké korozní odolnosti i v mořské vodě a dobré svařitelnosti.

Rovnovážný fázový diagram systému Al – Mg je uveden na obrázku č.2:



Obrázek č. 2: Rovnovážný fázový diagram systému Al – Mg

Rovnovážné tuhé fáze v systému Al -Mg jsou: KPC (Al) tuhý roztok s maximální rozpustností 18,9 at.% Mg v (Al) při eutektické teplotě 450 °C; HTU (Mg) tuhý roztok s maximální rozpustností 11,8 at.% Al v (Mg) při eutektické teplotě 437°C; sloučenina s přibližnou stechiometrií Al_3Mg_2 a se složitou KPC strukturou (za nízkých teplot dochází k martenzitické transformaci β na jinou strukturu, např. deformací β fáze, ale poměry rovnovážných fází nebyly dosud prozkoumány); sloučenina R (často označovaná ϵ) o složení odpovídajícímu 42 at.% Mg a sloučenina s Mn strukturou (při 450 °C má fáze χ maximální rozsah koexistence přibližně od 45 do 60,5 at.% Mg, avšak ideální krystalická struktura má stechiometrii $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ při 58,6 at.% Mg). Fáze β se jako stabilní vyskytuje při obsazích 38,6 – 40,4 at. % Mg. Fázové hranice v daném diagramu Al -Mg byly získány také pomocí termodynamických výpočtů mimo jednofázové β oblasti. Současný diagram je založený na recenzi řady prací. [5]

Rovnovážnou krystalizaci lze pozorovat pouze při rychlostech ochlazování menších než $5 \cdot 10^{-6}$ K/h. V podmínkách nerovnovážné krystalizace dochází k dendritické likvaci s tvorbou fáze Al_3Mg_2 i při malých obsazích hořčíku $4 \div 5$ hm.%. Tato fáze je velmi křehká při teplotách pod 350 °C, při vyšších teplotách se stává

plastickou. [5]

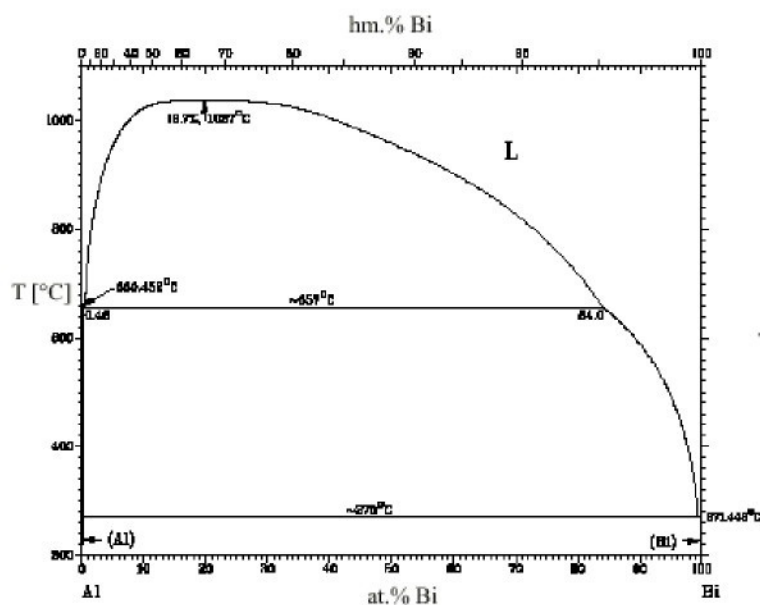
Přesycené (Al) tuhé roztoky lze získat poměrně snadno a jejich rozpad probíhá za tvorby sférických (kulovitých) GP zón. Byl navržen možný mechanismus spinodálního uspořádání pro transformaci: rozpad přesyceného roztoku nastane vznikem nerovnovážné fáze označené β' a tuhé roztoku s menším obsahem Mg, než odpovídá rovnováze, a pak následně dochází k tvorbě rovnovážné β fáze. [5]

Při aplikaci techniky rychlé solidifikace může být rozpustnost Mg v (Al) významně rozšířena nad maximum rovnovážné rozpustnosti v tuhém stavu. [5]

2.1.5 Binární diagram hliník – bismut

Al – Bi tvoří jednoduchý systém zahrnující dvě eutektické reakce a vyznačující se zvláštností – výskytem oblasti s koexistencí dvou tavenin. Hliník a bismut vykazují omezenou rozpustnost v kapalném stavu (tavenině). Oblast nemísitelnosti byla v minulých letech nejednou studována, avšak výsledky se navzájem poněkud liší. Na obr. č. 3 je znázorněn nejpravděpodobnější rovnovážný fázový diagram Al – Bi. Nad teplotou 1037 °C existuje tavenina s úplnou vzájemnou rozpustností obou prvků. Pod teplotou 1037°C a při složení 19,7 at. % Bi (resp. 68 hm. % Bi) dojde k přesycení homogenní taveniny Al – Bi a vznikne nemísitelná směs dvou tavenin, taveniny Al s omezenou rozpustností Bi a tavenina Bi s omezenou rozpustností Al. Tento stav trvá až do teploty cca 657 °C, přičemž rozpustnost druhého prvku v tavenině se postupně snižuje. Při teplotě 657 °C je mezní rozpustnost Bi v tavenině hliníku 0,45 at. % Bi (3,5 hm. % Bi) a rozpustnost Al v tavenině bismutu dosahuje 16 at. % Al (1,5 hm. % Al). Při této teplotě probíhá eutektická reakce za vzniku téměř čistého tuhé roztoku Al. Některé publikace hovoří o reakci monotektické, což lze přičíst způsobu znázornění binárního diagramu s koncentrační osou v at. %.

Rozpustnosti v tuhém roztoku (Al) i (Bi) jsou extrémně omezené, poněvadž (Al) má KPC mřížku a (Bi) romboedrickou (trigonální). Rozpustnost Bi v tuhém roztoku Al je menší než 0,03 at. % Bi (0,2 hm. % Bi) při eutektické teplotě 657 °C a s poklesem teploty se snižuje až na tisícinu at. % Bi.



Obrázek č. 3: Fázový diagram systému Al – Bi

Každé hmotnostní % Bi zvyšuje měrný elektrický odpor (rezistivitu) hliníku v tuhém stavu přibližně o $1,3 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, teplotní součinitel elektrického odporu (rezistance) se poněkud snižuje, avšak v tekutém stavu ke změnám nedochází. Povrchové napětí taveniny klesá tak, že při 5 – 6 hm. % Bi je dvakrát menší než u čistého hliníku, zabíhavost se však zvyšuje.

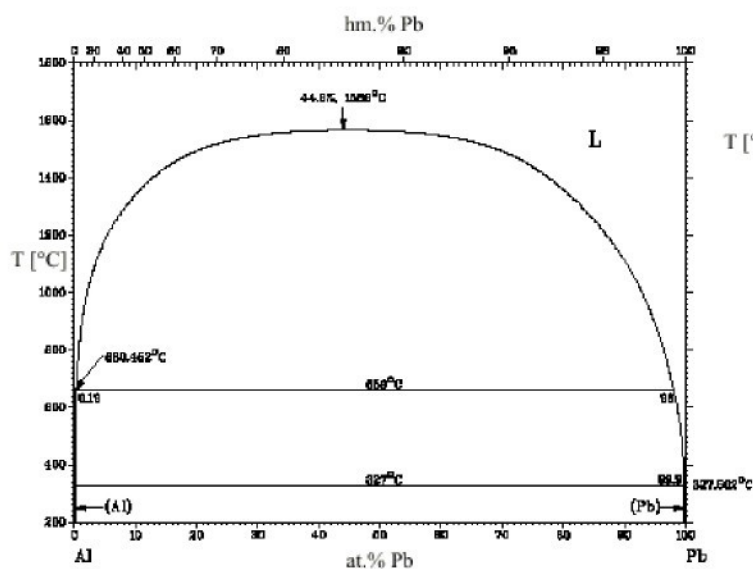
Mechanické vlastnosti Al při malém přídavku Bi ($<0,2$ hm. % Bi) se nepatrně zvyšují, při vysokém obsahu Bi naopak podstatně klesají. Slitiny s bismutem nelze vytvrdit stárnutím, avšak mají tendenci ke snížení pevnosti, korozní stálost se snižuje. Bismut se v podstatě přidává do hliníkových slitin za účelem zlepšení obrobiteľnosti řezáním. Příkladem takové slitiny je Al – Bi – Pb.[5]

2.1.6 Binární diagram hliník – olovo

Olovo je minoritní příměs v některých slitinách hliníku pro zlepšení jejich obrobiteľnosti. Je přidáváno zároveň s bismutem, protože směs obou kovů nemění objem taveniny, takže nedochází k praskání materiálu při tepelném zpracování.

Al-Pb je jednoduchý systém se třemi fázemi: likvidus, tuhý roztok KPC (Al) a tuhý roztok KPC (Pb). Oblast nemísitelnosti tavenin Al a Pb se vyskytuje pod kritickým bodem 44,8 at. % (86,2 hm. %) Pb při teplotě 1566°C . Vzájemné

rozpustnosti obou prvků v tuhém roztoku (Al) i (Pb) jsou extrémně malé. Rozpustnost Pb v (Al) při monotektické teplotě není větší než 0,025 at. % Pb. [5]



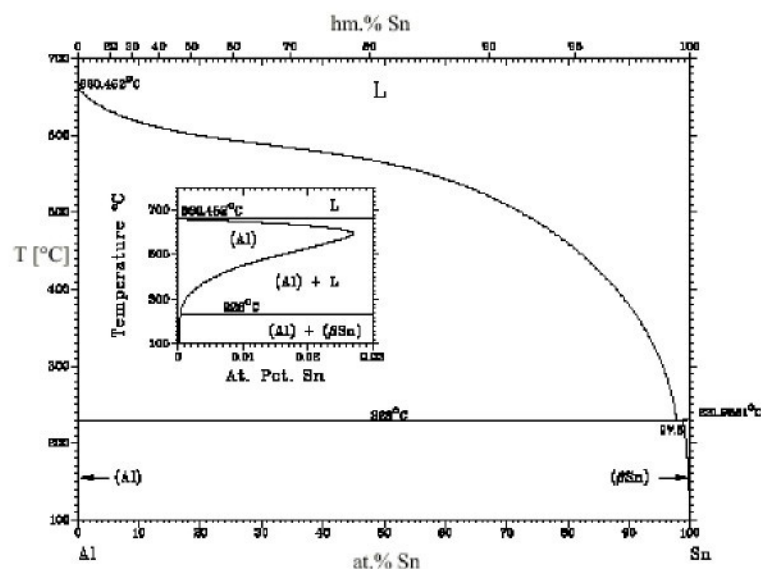
Obrázek č. 4: Fázový diagram systému Al – Pb

2.1.7 Binární diagram hliník – cín

Cín je v hliníkových slitinách méně významný legující prvek. Dříve byl přidáván pro zvýšení zatékavosti odlévaných slitin, dnes se přidává do slitin pro ložiska.

Na obr. č. 5 je prezentován rovnovážný binární diagram systému hliník – cín. Al-Sn je jednoduchý eutektický systém se značně omezenou rozpustností v oblastech tuhých roztoků KPC (Al) i tetragonálního (Sn). Čistý Sn transformuje z tetragonálního β Sn na diamantovou kubickou strukturu α Sn při nízké teplotě.

Rozpustnost Sn v tuhém roztoku (Al) má retrográdní charakter s maximem přibližně 0,026 at. % Sn při teplotě 625 ± 20 $^{\circ}\text{C}$ (viz detail v obr.č. 5). U slitiny Al s 0,05 hm. % rozpuštěného Sn při 530 $^{\circ}\text{C}$ byly po zakalení a následném stárnutí při 130, 190, 220, 300 a 400 $^{\circ}\text{C}$ pozorovány při rentgenové difrakční analýze rovnovážné precipitáty Sn pouze při teplotách nad 300 $^{\circ}\text{C}$. Při nižších teplotách stárnutí byl detekován precipitát, který by mohl být označený jako Sn s mírně roztaženou mřížkou.[5]



Obrázek č. 5: Fázový diagram systému Al – Sn

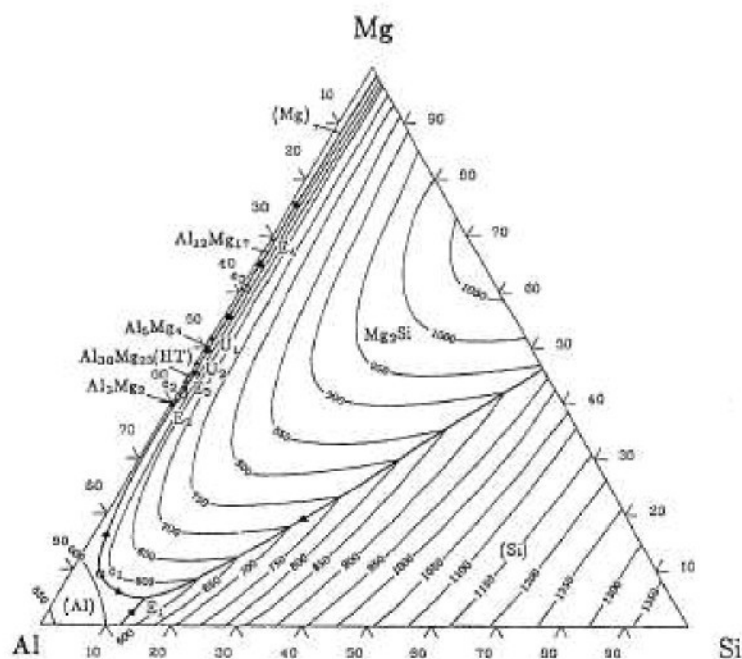
2.1.8 Ternární diagram hliník – hořčík – křemík

Ternární systém Al -Mg – Si patří mezi poměrně jednodušší typy diagramů. V rovnováze s tuhým roztokem (Al) se nachází sloučenina Mg_2Si . V systému Al -Mg -Si nebyly zjištěny žádné ternární fáze. Stabilní fáze jsou uvedeny v tabulce č.1. Křemík je v ternárních rovnováhách přítomen v elementární formě.

označení	β	ε	ζ		
fáze	Al_3Mg_2	$\text{Al}_{30}\text{Mg}_{23}$	$\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$	Al_5Mg_4	Mg_2Si
T [°C]	<450	450÷370	<460		<1085

Tabulka č. 1: Tuhé fáze vyskytující se v systému Al-Mg-Si

Atomy Mg a Si v (Al) mají snahu tvořit precipitáty fáze Mg_2Si . Rozpustnost Mg_2Si v tuhém roztoku (Al) se poněkud zmenšuje, jestliže obsah Si převyšuje poměr koncentrací $\text{Mg}:\text{Si} = 1,73$. Za nerovnovážných podmínek krystalizace (velká rychlost ochlazování) dochází k lokální likvací. Při tom se mohou atomy Si objevit v slitinách, kde má křemík zaujmout místo v sloučenině Mg_2Si . V důsledku likvace mohou fáze Mg_2Si nebo Al_3Mg_2 existovat v slitinách, které jsou za rovnovážných podmínek jednofázové.



Obrázek č. 6: Projekce povrchu likvidu u systému Al-Mg-Si
(koncentrace v at. %)

U slitin Al – Mg – Si (ČSN 42 4400) je obsah mědi velmi nízký. Takové slitiny s nízkým obsahem mědi mají dobrou korozní odolnost. Naopak v slitině AlMgSiCu (ČSN 42 4451) je měď přísadou, která výrazně zvyšuje pevnost těchto slitin. Železo v rozsahu 0,1 ÷ 0,5 hm.% je pokládáno v uvedených slitinách za příměs, která mírně zvětšuje pevnost, zjemňuje zrna a snižuje rekrytalizační teplotu. Chemické složení technických slitin se blíží kvazibinárnímu systému. Obvykle bývá ve slitině více křemíku, než odpovídá složení fáze Mg_2Si . Takové slitiny mají optimální mechanické vlastnosti, výbornou pevnost a tažnost. V struktuře volně chlazené slitiny jsou v tuhém roztoku uloženy krystaly fáze Mg_2Si , příp. Al_6Mn (při přítomnosti manganu) a krystaly Si.

Slitiny Al – Mg – Si se vyznačují značnou stabilitou tuhého roztoku, a proto po rozpouštěcím ohřevu při teplotě 500 až 540 °C nemusí být ochlazovány takovou rychlostí jako např. slitiny Al-Cu-Mg. Stabilita tuhého roztoku je tím větší, čím nižší je obsah křemíku oproti obsahu hořčíku, tedy čím více se obsah křemíku blíží stechiometrickému poměru ve sloučenině Mg_2Si . Takové slitiny lze ochlazovat i v proudu vzduchu. Při vyšším obsahu křemíku je však nutné ochlazování ve vodě.

Slitina Al – Si – Mg v nevytvrzeném stavu má ve struktuře výraznou fázi Mg_2Si odlišující se od ostatních fází svým tmavým zabarvením. Vzhledem ke změně

rozpuštěnosti se fáze Mg_2Si během ohřevu rozpouští v základním tuhém roztoku, který po rychlém ochlazení je oběma složkami přesycen. Během stárnutí vznikají příslušné precipitáty. Siluminy s přísadou hořčíku (ČSN 42 4331) mají po precipitačním vytvrzení velmi dobré mechanické vlastnosti.

Křemík působí příznivě na průběh umělého stárnutí. Obsah křemíku se do určité míry řídí obsahem hořčíku. Při vyšším obsahu hořčíku (např. 1,5 hm. %) je udržován obsah křemíku na nízké hodnotě (dle naší normy např. 0,5 hm. %), a to proto, že vyšší obsah křemíku působí na pokles pevnosti po přirozeném i umělém stárnutí. Naopak při nižším obsahu hořčíku lze obsah křemíku zvýšit (např. slitina $AlCu_4Mg$). Uvádí se, že je vzájemný poměr mezi hořčíkem a křemíkem pro vlastnosti slitin důležitější než skutečný obsah obou prvků. Oba prvky tvoří chemickou sloučeninu Mg_2Si při stechiometrickém poměru $Mg:Si = 1,73$. Při vzájemném poměru $Mg:Si > 1,73$ (hořčík je v přebytku) ovlivňují pevnost slitin vytvrzující fáze „S“ a Al_2Cu . Při poměru $Mg:Si = 1,73$ vzniká vytvrzující fáze Mg_2Si a Al_2Cu . Je-li poměr $Mg:Si < 1,73$ (křemík je v přebytku), vznikají vytvrzující fáze $Al_4CuMg_5Si_4$ a Al_2Cu . Vzájemný poměr hořčíku a křemíku ovlivňuje i způsob tepelného zpracování. Slitiny s poměrem $Mg:Si \geq 1,73$ jsou precipitačně vytvrzovány obvykle při normální teplotě. Slitiny s poměrem $Mg:Si < 1,73$ lze precipitačně vytvrzovat jen při zvýšené teplotě.

2.2 Obrobitelné hliníkové slitiny

Pod pojem obrobitelnost lze zahrnout řadu vlastností a parametrů. Vedle požadavku na přesnost rozměrů obrobku jsou to životnost nástroj, řezné síly, kvalita povrchu a požadovaný tvar třísky pro daný způsob obrábění. [5]

Obrobitelnost nezávisí jen na fyzikálních a mechanických vlastnostech a stavu obráběného materiálu, jako jsou například tvrdost, houževnatost a struktura. Není to veličina, která se dá popsat nějakým číslem, ale je to technologický pojem, který zahrnuje vedle fyzikálních, mechanických a chemických vlastností obráběného materiálu i stav techniky používané při obrábění. [5]

Obecně lze říci, že hliníkové slitiny patří ve srovnání s ostatními kovovými konstrukčními materiály mezi ty lépe obrobitelné. Například ve srovnání s ocelmi stejné pevnosti jsou řezné síly u hliníkových slitin výrazně menší. Zatímco obrobitelnost čistého hliníku je velmi špatná, obrobitelnost hliníkových slitin je velmi

dobrá. Výrazný rozdíl mezi obrobitelností čistého hliníku a slitinami hliníku spočívá ve struktuře. Vliv precipitátů, konstitučních fází, měkkých částic a v neposlední řadě i stupně deformačního zpevnění působí na obrobitelnost hliníkových slitin velmi příznivě. [5]

Jedním z nejdůležitějších parametrů při hodnocení obrobitelnosti je tvar třísky. Pro hodnocení obrobitelnosti na základě tvaru třísky se používá vizuálního hodnocení, kdy jsou třísky rozříděny podle tvaru do jednotlivých skupin. Velmi podobný způsob hodnocení obrobitelnosti hliníku a jeho slitin je založený na hodnocení slitin podle kvality obrobeného povrchu, životnosti nástrojů a popisu tvaru třísky s rozčleněním třísek do skupin. [5]

Slitiny hliníku lze z hlediska obrobitelnosti rozdělit do tří skupin. Na slitiny slévárenské, tvářené a slitiny speciálně určené pro obrábění, které se nazývají automatové. [5]

Automatové slitiny jsou legovány prvky s nízkou teplotou tání. Prvky jako Pb, Bi, Sb a Cd zlepšují podmínky pro vznik drobné lámavé třísky při obrábění. Příznivý účinek těchto prvků spočívá v tom, že se nerozpouštějí v základní hliníkové matici a tvoří měkké částice. Při rovnoměrném rozdělení těchto částic dochází při zvýšených teplotách na hraně řezného nástroje k jejich částečnému natavení, a tím k tvorbě drobných třísek. Z hlediska opotřebení nástrojů jsou automatové slitiny na úrovni tvářených slitin a i při vysokých řezných rychlostech kolem 1000 m/min. je opotřebení nástrojů poměrně malé. Řezné síly a kvalita povrchu odpovídají parametrům dosahovaných u tvářených vytvrzovatelných slitin. V současné době jsou jako automatové slitiny hliníku nejčastěji používány vytvrzovatelné slitiny řady 2xxx a 6xxx, do kterých se leguje Pb a Bi. [5]

Kovů s nízkým bodem tání a omezenou rozpustností v tuhém stavu hliníku existuje celá řada. Některé z nich pro svoji toxicitu je však nutné zcela vyloučit, u jiných je možnost uplatnění značně snížena vysokou cenou, případně dalšími nežádoucími vlastnostmi. Nejvhodnějším kovem požadovaných vlastností se ukázal cín. Podobně jako v případě olova lze snížit bod tavení cínových fází legováním bismutu, či dalších nízkotavitelných netoxických kovů. [5]

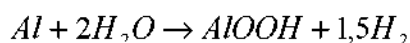
Vývoj obrobitelných slitin hliníku, ve kterých je olovo nahrazeno cínem, bismutem nebo indiem i kombinací těchto prvků, započal v polovině 90.let minulého století. V současné době je již vyvinuta a používá se celá řada bezolovnatých alternativ

všech tří základních typů olovnatých obrobitelných slitin hliníku typu Al-Cu-Bi-Pb, Al-Cu-Mg-Pb-(Bi) a Al-Mg-Si-Pb-(Bi). [5]

2.3 Eloxování

2.3.1 Podstata eloxování

Podstatou eloxování je umělé vytvoření oxidické vrstvy na povrchu hliníkového polotovaru anodickou oxidací – eloxováním. Je to elektrochemická metoda tvorby Al_2O_3 na povrchu materiálu. Přestože standardní elektrodový potenciál čistého hliníku má vysokou zápornou hodnotu, je korozní rychlost hliníku v čisté atmosféře poměrně nízká. Příčinou je reakce materiálu na povrchu se vzdušnou vlhkostí, která vytváří povrchovou vrstvu hydratovaného oxidu (böhmitu):



Tloušťka vzniklé vrstvy je malá, obvykle cca 0,02 mm, avšak má výrazný vliv na zvýšení odolnosti hliníku proti koroznímu napadení.

Tohoto jevu se využívá v praxi a vytvářejí se umělé vrstvy hydratovaného oxidu hlinitého anodickou oxidací.

Pro ochranu proti atmosférické korozi se vyžaduje minimální tloušťka oxidické vrstvy 20 μm .

Při anodické oxidaci hliníku se vytváří na jeho povrchu vrstva Al_2O_3 , která je buď amorfni nebo v podobě $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Vlastní vrstva se skládá ze dvou částí: vnější část vrstvy je tlustá a pórovitá, vnitřní část vrstvy je tenká (cca 2% celkové tloušťky vrstvy), neporézní a nazývá se též vrstvou bariérovou a má vlastnosti dielektrika. Tloušťka vytvořené oxidické vrstvy závisí na podmínkách anodické oxidace a na složení hliníku.

Povrch hliníku před anodickou oxidací musí být dokonale čistý a proto se provádí odmašťování, moření a event. elektrochemické leštění povrchu. Konečnou operací je utěšňování pórů. Vzniklá eloxovací vrstva se nechává v přirozeném zabarvení nebo ihned po eloxování následuje barvení vzniklé eloxované vrstvy.

Nejvíce se průmyslově aplikuje eloxování v prostředí kyseliny sírové. Parametry tohoto procesu jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Koncentrace H ₂ SO ₄	15%
Teplota	20 – 25 °C
Doba eloxování	20 až 60 min.
Napětí	15 – 22 V
Proudová hustota	1,5 – A/dm ²
Tloušťka eloxované vrstvy	7,0 – 25 μm

Tabulka č. 2: Parametry eloxování v prostředí kyseliny sírové

Eloxováním se získávají oxidické vrstvy dekorativní a vysoce tvrdé se zvýšenou odolností proti abrazi, únavě a atmosférické korozi. I když anodická oxidace může být aplikována u více kovů, včetně Ti a Mg, největší průmyslové uplatnění má u hliníku a jeho slitin. [1]

Jsou různé aspekty hodnocení anodické oxidace. Rozlišujeme dvě základní kritéria: kvalitativní a kvantitativní.

Z kvalitativního hlediska můžeme výsledky anodického oxidování hodnotit pomocí několika dalších kritérií jako je např. vzhled, barva, odrazivost, odolnost proti oděru, odolnost proti korozi apod. Norma ČSN EN 12373-1 uvádí následující třídy jakosti:

1. Architektonická a dekorativní jakost
2. Lesklá anodizační jakost
3. Obecná strojírenská jakost

Tyto třídy jsou uvedeny jako obecný návod a jsou založeny na konečném použití hliníku. Zhotovitel by si měl být vědom konečného použití a je třeba zdůraznit, že by z těchto důvodů měla být úzká spolupráce mezi dodavatelem hliníku, odběratelem a zhotovitelem anodického oxidového povlaku. [8]

Kvantitativním aspektem hodnocení je tloušťka vzniklé eloxované vrstvy. Hovoříme o „měkké anodické oxidaci“ s tloušťkou eloxované vrstvy do 15-20 μm a „tvrdé anodické oxidaci“ s tloušťkou eloxované vrstvy do 40-60 μm. Také podmínky tvrdého eloxování jsou rozdílné od měkkého eloxování.

Technologické podmínky tvrdého eloxování mohou být následující:

lázeň:	kyselina sírová	250 - 300 g/l
	kyselina šťavelová	4 - 6 g/l
	hliník	6 g/l
teplota lázně:		- 4 až - 6 °C
proudová hustota:		2,5 - 6 A/dm ²
doba eloxování:		15 - 45 min.

Tabulka č. 3: Technologické podmínky tvrdého eloxování

Nejlepší výsledky se dosahují při eloxování čistého hliníku. Za daných technologických podmínek se dosáhne největší tloušťky vrstvy, povrch je nejhladší, vrstva má největší tvrdost a zabarvení eloxované vrstvy je světle-stříbrné. Při eloxování slitin hliníku nejvíce vadí přísady křemíku a mědi. Oba tyto prvky ve slitinách hliníku zhoršují vlastnosti oxidické vrstvy a způsobují její tmavší barvu. Spolu s dalšími prvky jako Zn, Cr, je eloxovaná vrstva šedá, ocelově šedá, světle hnědá atp. [1]

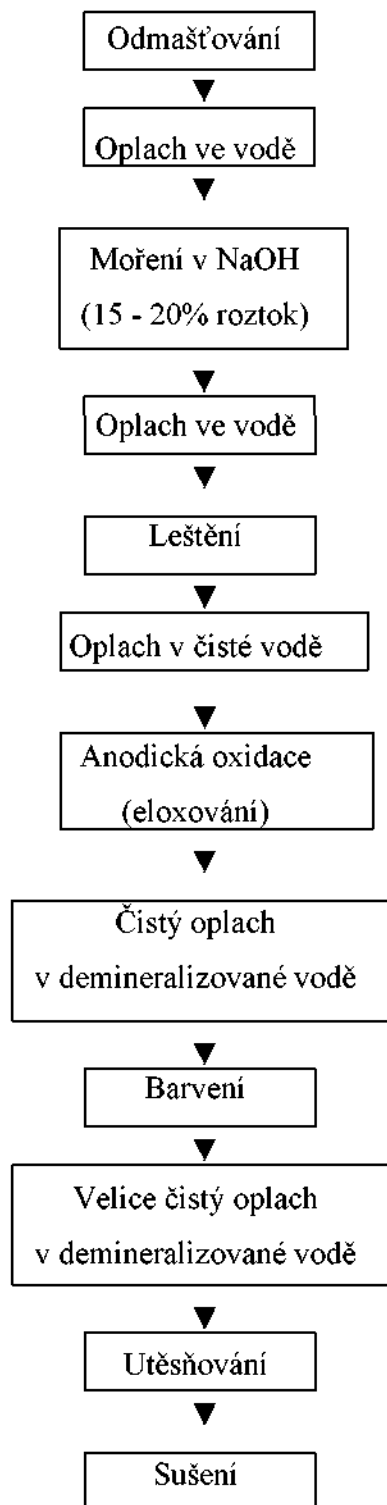
2.3.2 Postup při anodické oxidaci (eloxování) a vybarvování oxidických vrstev u hliníkových polotovarů

Existuje několik technologických postupů při eloxování a vybarvování hliníkových polotovarů:

- a) eloxování bez leštění a barvení,
- b) eloxování bez leštění s barvením,
- c) eloxování s leštěním bez barvení,
- d) eloxování s leštěním a barvením.

Výsledkem technologických postupů a), b) jsou matné eloxy, výsledkem c), d) jsou lesklé eloxy.

Příklad postupového diagramu celkového technologického schématu eloxování s leštěním a barvením hliníkových polotovarů a výrobků je uveden na obrázku č.7. [1]



Obrázek č.7: Postupový diagramu celkového technologického schématu eloxování s leštěním a barvením hliníkových polotovarů a výrobků

2.3.3 Kvalita a vady eloxovaného povrchu

Všeobecný přehled o vhodnosti jednotlivých typů hliníkových slitin k ochrannému, dekorativnímu a barevnému eloxování jako i k měkké a tvrdé anodické oxidaci udává následující tabulka č. 4.

Označení slitiny podle AA	Ochranné eloxování (Protective anodising)	Měkká anodizace (Bright anodising)	Eloxování a barvení (Anodising and dyeing)	Tvrdá anodizace (Hard anodising)	Elektrolytické pokovování (Electroplating)
1080 A	1	1	1	1	-
1050 A	1	2	2	1	2
1200	2	2	2	1	2
2007	4	5	4*	3	-
2011	3 -	5	3*-	3	-
2111 B (Stanal 37)	3	4	3	3	-
2014	4	5	4*	3	2
2017	4	5	4*	3	2
2024	4	5	4*	3	2
2030	4	5	4*	3	2
2031	4	5	4*	3	2
3103	3	4	3	3	3
3105	3	4	3	3	-
4043	3	5	4*	3	X
5005	1	3	2	1	-
5051	2	3	2	1	-
5052	2	3	2	1	-
5056 A	3	4	3	1	X
5083	3	4	3	3	X
5154 A	2	3	2	1	X
5251	2	3	2	1	X
5454	2	3	2	1	-
5754	2	3	2	1	-
6012	3	4	3*-	3	X
6023 (Stanal 32)	2	2	2	3	-
6060	2	3	2	1	X
6061	2	4	3	2	X

6062	2	3	3	2	-
6063	1	3	2	1	X
6082	3	4	3	3	X
6463	2	2	2	2	-

Klasifikace: 1-výborný, 2-velmi dobrý, 3-dobrá, 4-uspokojivý, 5-nevyhovující

*) - vhodná pouze pro tmavé barvy

X - nutnost speciálního leptání před elektrolytickým pokovováním
s možností výskytu problémů

Tabulka č. 4: Typy hliníkových slitin

Na výslednou kvalitu eloxovaného povrchu má vliv velké množství různých výrobně - technologických aspektů, které rozdělujeme do tří základních skupin.

I. skupina - aspekty související s chemickým složením a strukturou materiálu.

Chemické složení materiálu je jedním z nejdůležitějších faktorů, který má vliv na výslednou kvalitu eloxovaného povrchu. Jen několik skupin (druhů) hliníkových slitin vykazuje po eloxování jasnou, světlou, stříbrně zbarvenou elox. vrstvu a to slitiny typu Al-Mg-Si, Al-Mg (Mg max. 3 %) a čisté hliníky. Většina Al slitin vykazuje v důsledku různých legujících prvků (Cu, Mn, Mg, Si, Zn, Cr...) různé zbarvení povrchové eloxované vrstvy a to od žluté přes šedou, tmavě šedou až po hnědou. [1]

Z hlediska strukturálního je nejvíce vyskytující se vadou hrubozrnná povrchová vrstva. Po eloxování jsou patrná jednotlivá hrubá zrna na povrchu výrobku. Po barvení dojde k ještě většímu zviditelnění jednotlivých hrubých zrn na povrchu. Povrchová hrubozrnná vrstva po eloxování v příčném řezu (kolmo na směr lisování) se projevuje jako souvislý světlý pás. [1]

Dále může dojít při lisování k roztažení obohacených povrchových zón anebo licích heterogenit z litých čepů do souvislých povrchových a podpovrchových pásů u výlisků. Tyto obohacené strukturální pásy vytvoří po eloxování na povrchu jiné barevné odstíny. [1]

K dalším strukturálním vadám, které mají vliv na kvalitu eloxovaného povrchu patří shluky nebo hrubé intermetalické fáze, intermetalické fáze vyloučené v dlouhých

a souvislých řetězcích, vysoká porezita, atd. [1]

II. skupina - výrobně-technologické aspekty, související s výrobou, manipulací a skladováním Al - polotovarů vzhledem na povrchovou kvalitu vyrobeného polotovaru.

Kvalita povrchu vyrobeného Al - polotovaru je důležitým aspektem, který má vliv na konečnou kvalitu eloxovaného povrchu. V důsledku výskytu lokálních povrchových vad dochází k nerovnoměrné kvalitě eloxovaného povrchu nebo k jeho porušení. [1]

K nejrozšířenějším povrchovým vadám patří podélné rýhy, poškrábání, potlučení nebo záděry. Jedná se o vady vzniklé při lisování, tváření nebo manipulaci s Al-polotovary. [1]

K dalším povrchovým vadám patří zatažené nečistoty do povrchu materiálu (např. stopy po grafitu, stopy po teflonu). Velice nebezpečnou vadou pro získání nekvalitního eloxu je přítomnost korozního napadení a to hlavně proto, že v této oblasti nevznikne elox. vrstva a materiál je z dalšího hlediska nepoužitelný. [1]

III. skupina - aspekty při samotném procesu eloxování a barvení Al - polotovarů.

Samotný proces eloxování a barvení je složitý. Skládá se z několika samostatných operací: odmašťování, moření, leštění, eloxování, barvení, utěšňování a z celé řady mezioperací (jednotlivých oplachů). Je zde mnoho proměnných faktorů, které mají zásadní vliv na konečnou kvalitu eloxu. Jedná se o následující proměnné faktory při jednotlivých operacích: teplota, koncentrace, čas, proudová hustota, čistota a kvalita oplachu, atd. [1]

Celý tento složitý proces vlastně není jednoduché stále udržovat ve stejném a konstantním režimu a lze konstatovat, že nejvíc vad eloxu vzniká právě v procesu eloxování a barvení Al - polotovarů. [1]

Některé vady eloxu, které vznikají v procesu anodické oxidace a barvení a jejich možné příčiny vzniku, jsou uvedeny v tabulce č.5:

Vada	Možná příčina	Odstranění vady
Pomalé zesvětlování v hloubce během dní a týdnů	pokles koncentrací barviva následkem spotřeby	přidat barvivo
	nahromadění deaktivujících nečistot v barvicí lázni	výměna celé lázně, zvýšit koncentraci barviva, lepší kvalitnější oplach před barvením
	nesprávné pH lázně	upravit pH na předepsanou hodnotu
	chemický rozklad barviva	výměna lázně
rozdílné odstíny barvy	rozdílná absorpční kapacita barviva při anodickém nanášení kvůli nekonstantním anodickým podmínkám	udržovat konstantní anodizační podmínky (čas, teplotu, proudovou hustotu)
rozdílné odstíny barvy	přítomnost různých slitin	nastavit anodizační a barvicí parametry na používanou slitinu
	nerovnoměrná aktivace při ponoření do kyseliny	dodržení stejných aktivních časů
velice hrubé barvení	zvýšení anodizační teploty	nebarvit první anodizované kusy na začátku výrobního procesu
změna odstínu barvy	nestejné vyčerpání prvků při kombinaci barev	nastavit koncentraci prvků v barvě, použít homogenní barviva
	chemická nestabilita barviva v roztoku	optimalizovat podmínky barvení (teplotu, vhodnější pH, atd.) obnovovat častěji roztok barviva
rozdíly v barvě z kusu na kus	nerovnoměrný proud pro špatné kontakty na anodovém rámu	obnovit dobré kontakty, očistit kontaktní body
	přítomnost různých slitin	barvit jenom stejné slitiny v jedné várce
početné světlé bodové skvrny	plynové bublinky v pórech zabraňující průniku barviva	ponořit kusy ve vlhkém stavu, pohybovat kusy po ponoření, až žádné bublinky nevystupují na povrch

Světlé skvrny v dírách a jamkách	navázané plynové bublinky překážející anodizačnímu nebo barvicímu procesu	zintenzivnit pohyb kusů s cílem odstranit bublinky nebo zbytky roztoku
	usazeniny nebo výpotky, které brání barvení	upravit konstrukci a zavěšení, které vede k dobrému odkapání kyseliny, a dobrému opláchnutí hned po anodizování
tmavé skvrny	nerozpuštěné, zachycené částice barviva	nepřidávat suché práškové barvivo, zvýšit teplotu roztoku, vyčistit lázeň filtrací
eloxážní vrstva se nevytvořila	součástka byla bez proudu následkem špatného kontaktu	zkontrolovat a očistit všechny kontakty
duhový povlak	velmi krátká doba anodické oxidace (do 1 min.)	prodloužit dobu anodické oxidace
	špatný kontakt	očistit kontakty
	použití nevhodného materiálu	používat předepsané materiály

Tabulka č. 5: Některé vady eloxu, vznikající v procesu anodické oxidace
a barvení a jejich možné příčiny vzniku

Závěrem lze konstatovat, že výsledný kvalitní eloxovaný povrch je výsledkem nejenom kvalitního výchozího hliníkového materiálu, bez povrchových a strukturálních vad, ale také precizně vedeného procesu eloxování a barvení. Je také pravda, že některé drobné povrchové vady (jemné rysky od lisování) lze vhodně voleným procesem předúpravy před eloxováním odstranit nebo také ještě více zvýraznit. [1]

Hliníkové slitiny s touto povrchovou úpravou se aplikují hlavně v automobilovém, leteckém, strojírenském a optickém průmyslu. Eloxované polotovary mají široké uplatnění jako komponenty v moderní architektuře a používají se i v litografii. [1]

3. Experimentální část

V experimentální části práce jsme nejprve připravili vzorky pro eloxování ze čtyř různých slitin hliníku: AA 6082, AA 6262, AA 6023 a slitiny 6B3 (interní označení firmy Alcan Děčín Extrusions s.r.o.). Tyto vzorky jsme pro jasné odlišení jednotlivých materiálů označili a poté provedli proces eloxování za předem stanovených podmínek. Z naeloxovaných vzorků jsme připravili metalografické výbrusy a pomocí mikroskopu měřili tloušťky eloxovaných vrstev. Dále jsme hodnotili vzhledové vady a odlišnosti u bezbarvých eloxovaných vzorků z jednotlivých materiálů. Pod mikroskopem jsme také pozorovali metalografické struktury, velikosti a charaktery zrn pro následné vyhodnocení míry vhodnosti jednotlivých slitin k eloxování.

3.1 Příprava vzorků pro eloxování

Z každého ze čtyř materiálů bylo vyrobeno pět vzorků. Celkem tedy dvacet kusů.

Všechny vzorky pro následné eloxování byly připraveny soustružením z tyčových průřezů dle vnitřního předpisu firmy Alcan Děčín Extrusions s.r.o.

V ostatních případech je pro přípravu vzorků pro eloxování platná norma ČSN.

3.2 Značení vzorků

Připravené vzorky jsme si přehledně a systematicky označili dle tabulky č. 6. Každý ze čtyř různých materiálů je označen vlastní číslicí (1 - 4). Základní číselné značení bez doplňkového písmena značí vzorky pro bezbarvý elox. Pro barvení načerno je číslice doplněna ještě písmenem (A, B, C, D) dle doby eloxování.

materiál	bezb. elox	barvení- černá barva			
		15 min.	30 min.	45 min.	60 min.
AA 6082	1	1A	1B	1C	1D
AA 6262	2	2A	2B	2C	2D
AA 6023	3	3A	3B	3C	3D
6B3	4	4A	4B	4C	4D

Tabulka č. 6: Značení vzorků

3.3 Chemické složení slitin

Vzorky pro eloxování byly připraveny ze čtyř různých slitin hliníku: AA 6082, AA 6262, AA 6023 a slitiny 6B3. Kompletní chemické složení jednotlivých slitin, které bylo zjišťováno spektografickou metodou, je uvedeno v příloze č. 1.

3.4 Eloxování

Provedli jsme postupně eloxování všech vzorků. Od každého materiálu byl vždy jeden vzorek eloxován přírodně, ostatní byly eloxovány s barvením s rozdílnou dobou eloxování 15, 30, 45 a 60 min. Všechny naeloxované vzorky jsou pro názornost uvedeny v příloze č. 8–č. 10. Podmínky eloxování jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 7:

operace	přípravek/chemikálie	nasazené objemy	teplota	čas
odmašťování	Alficlean 136	150 l užitk. vody 9,6 kg Alficleanu	60 °C	10 min
oplach	užitková voda	150 l užitk. vody	80 °C	1 min
moření	20% roztok NaOH 5-10 g Steinexu 22	150 l užitk. vody 30 kg NaOH 2 kg Steinexu 22	60 °C	1 min
neutralizace	10 % roztok HNO ₃	32 kg HNO ₃ 65% nebo 24 l HNO ₃ 65% 150 l užitk. vody	t místnosti	1 min
oplach	užitková voda	150 l užitk. vody	80 °C	1 min
eloxování	roztok H ₂ SO ₄ (140g/l)+ +Rogal A + Rogal B	29 kg H ₂ SO ₄ 98% nebo 10 l H ₂ SO ₄ 98% 6 kg Rogal A 6 kg Rogal B 190 l demineralizované vody	17 °C	<u>přírodní:</u> t = 20 min <u>s barvením:</u> t _A = 15 min t _B = 30 min t _C = 45 min t _D = 60 min
oplach	demineralizovaná voda	160 l demineralizované vody	t místnosti	1 min
barvení	Sanodal (Tiefschwarz, fa Clariant)	10 g / l	54 °C	5 min
utěšňování	Anodal SH ₂ demineralizovaná voda	300 ml Anodalu SH ₂ 150 l demineralizované vody	91 °C	<u>přírodní:</u> t = 20 min

				<u>s barvením:</u> $t_A = 20 \text{ min}$ $t_B = 40 \text{ min}$ $t_C = 60 \text{ min}$ $t_D = 60 \text{ min}$
sušení			80 °C	$t = 10 \text{ min}$

Tabulka č. 7: Podmínky eloxování

3.5 Příprava metalografických výbrusů

Vzorek se připravuje, upevňuje, brousí, leští a leptá tak, aby:

- a)** rovina výbrusu byla kolmá k rovině povlaku;
- b)** povrch byl rovinný a celá šířka obrazu povlaku byla zaostřena současně (při zvětšení použitém pro měření;
- c)** veškerý materiál deformovaný při řezání či při zhotovení výbrusu byl odstraněn;
- d)** hranice povlaku na výbrusu byly jasně identifikovatelné viditelnou změnou kontrastu nebo úzkou ostrou čarou. [2]

3.5.1 Řezání eloxovaných vzorků

Řezání eloxů pro následnou přípravu metalografických vzorků jsme provedli na pile JEAN WIRTZ CUTO 20 s řezacím kotoučem firmy Buehler (A80 OB FS-95-82204-010, 250×1,8×32 mm).

Pro přesnější a objektivnější měření jsme zvolili dva různé řezy pro každý vzorek materiálu. Jeden řez byl proveden v podélném směru (rovnoběžně se směrem tváření), druhý byl proveden ve směru příčném (kolmo na směr tváření).

3.5.2 Zalití eloxovaných vzorků

Jednotlivé vzorky jsme zalili hmotou Technovit 4071 (cold curing resin for metallographic testing (plastic grinding mounts)). Pryskyřice v podobě prášku byla smíchána s tvrdidlem v tekutém stavu v poměru 2:1.

Do formičky jsme vkládali čisté a suché vzorky, abychom předešli bublinám a jiným nepříznivým jevům při a po zalití hmotou. Zalité vzorky jsme nechali řádně ztuhnout.

3.5.3 Broušení a leštění eloxovaných vzorků

a) Pro broušení vzorků jsme použili přístroj Phoenix 4000- sample preparation system. Při broušení jsme postupovali od nejhrubších kotoučů k nejjemnějším. Při výměně kotouče jsme vzorky vždy opláchli vodou. V následující tabulce jsou uvedeny drsnosti použitých kotoučů a parametry broušení při automatickém chodu přístroje.

kotouč	parametry
P 240	$p = 5,6 \text{ Pa}$ $n = 140 \text{ min}^{-1}$ $t = 60 \text{ s}$
P 500	
P 800	
P 1200	

Tabulka č. 8: Druhy kotoučů a parametry broušení

b) Pro leštění jsme použili přístroj JEAN WIRTZ Phoenix 200 a kotouč s billiardovým plátnem, na které jsme nanесли leštící roztok Buehler Aluminium oxide powder 5,0 micron v poměru: 5 g prášku + 100 ml destilované vody.

Leštění jsme prováděli ručně krouživými pohyby proti směru hodinových ručiček až do vyleštění.

c) Další operace leštění jsme provedli opět na přístroji Phoenix 4000. Použité kotouče a suspenze jsou uvedeny v tabulce č.9.

kotouč	suspenze	parametry
MD MOL	diamantová suspenze	$p = 5,6 \text{ Pa}$ $n = 140 \text{ min}^{-1}$
	DIA Pro	
MD Chem	Buehler mastermet 2	$t = 4 \text{ min}$

Tabulka č. 9: Druhy kotoučů, suspenze a parametry leštění

3.5.4 Leptání eloxovaných vzorků

Leptání je obvykle vhodné pro zvýšení kontrastu mezi vrstvami kovu, k odstranění stop přemazání a k vyvolání jemné čáry na hranici povlaku.[2] Vzorky jsme leptali ve výřivce s 10 % H_3PO_4 po dobu 5 minut. Po leptání a oplachu ve vodě jsme nechali vzorky uschnout na proudícím vzduchu.

3.6 Měření tloušťek vrstev

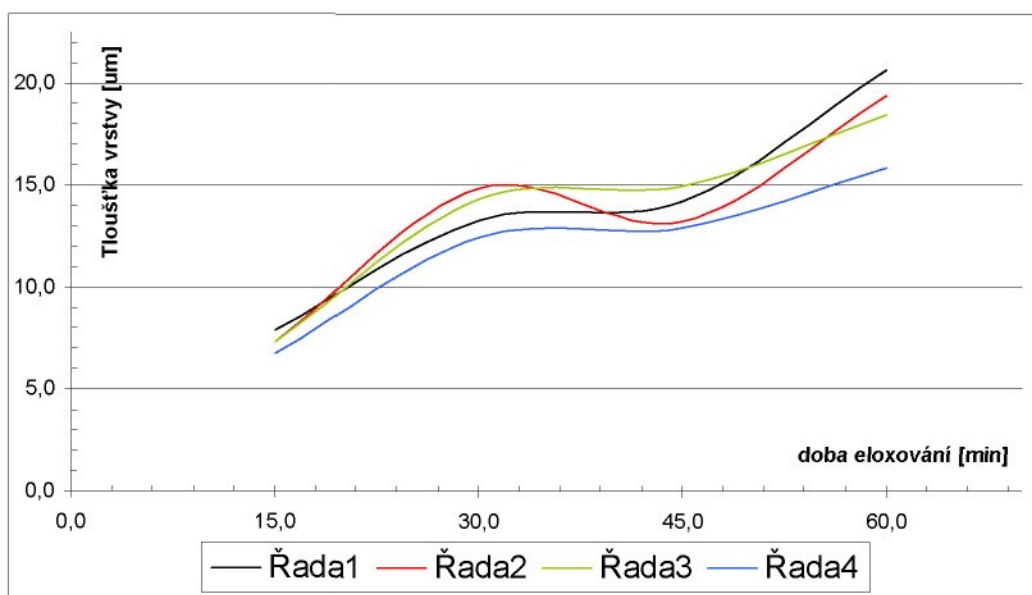
Měření tloušťek vrstev patří mezi kvantitativní metody hodnocení eloxovaných povrchů.

Pro měření tloušťek vrstev po eloxování byly připraveny dvě sady vzorků pro každý materiál. První sada byla zhotovena podélným, druhá příčným řezem. V podélném řezu (rovnoběžném se směrem tváření, kolmém na směr obrábění) jsou patrné stopy po obráběcích nástroji, povrch je „zvlněný“. V příčném řezu (kolmém na směr tváření, rovnoběžném se směrem obrábění) je vrstva přímá.

Provedli jsme vždy pět měření tloušťky vrstvy po eloxování u každého vzorku. To znamená, že jsme dostali vždy celkem deset hodnot tloušťky vrstvy pro určitou dobu eloxování u každého materiálu. K měření tloušťek vrstev po eloxování jsme použili mikroskop Nikon Epiphot 300 a software Buehler Omnimet Image Analysis system.

V příloze č. 4 – č. 7 je názorně vidět způsob měření a charakter vrstev u vzorků slitiny AA 6082.

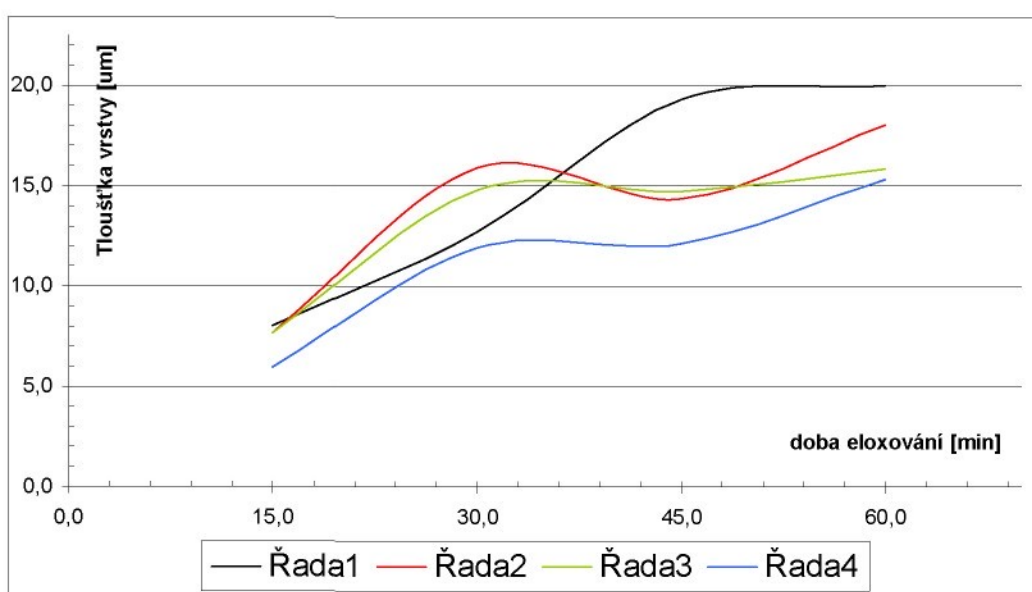
Všechny hodnoty naměřených tloušťek i s vypočtenými průměrnými hodnotami jsou uvedeny v příloze č.2 a č.3. Naměřené hodnoty byly následně zpracovány do grafů (graf č.1 a graf č.2):



řada 1: slitina AA 6082, **řada 2:** slitina AA 6262,

řada 3: slitina AA 6023, **řada 4:** slitina 6B3

Graf č.1: Závislost tloušťky eloxové vrstvy na čase eloxování
(měřeno v příčném řezu)



řada 1: slitina AA 6082, **řada 2:** slitina AA 6262,

řada 3: slitina AA 6023, **řada 4:** slitina 6B3

Graf č.2: Závislost tloušťky eloxové vrstvy na čase eloxování
(měřeno v podélném řezu)

3.7 Kvalitativní hodnocení eloxovaných povrchů

Na výslednou kvalitu eloxovaného povrchu má vliv spousta různých výrobně technologických faktorů (viz. kapitola: 2.3.3 Kvalita a vady eloxovaného povrchu).

U přírodně eloxovaných vzorků jsme se snažili pozorováním pouhým okem tyto vady odhalit, charakterizovat a určit příčinu, či důvod vzniku.

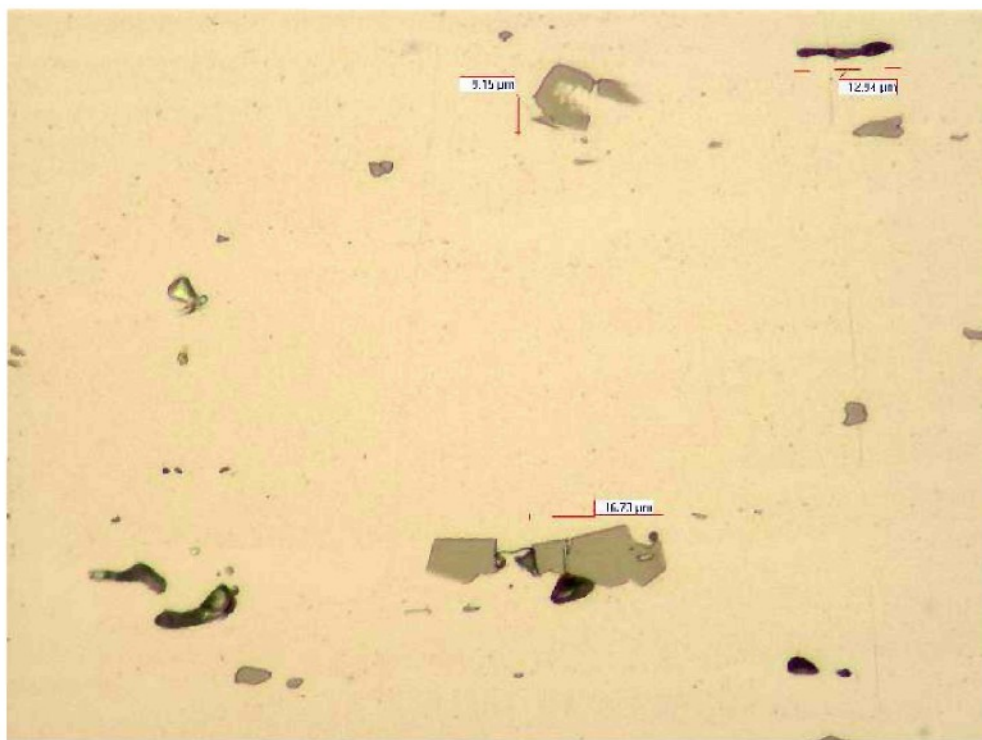
Všechny slitiny s přírodním eloxem jsme pro srovnání vyfotografovali a jsou přehledně uvedeny na obrázku č.8:



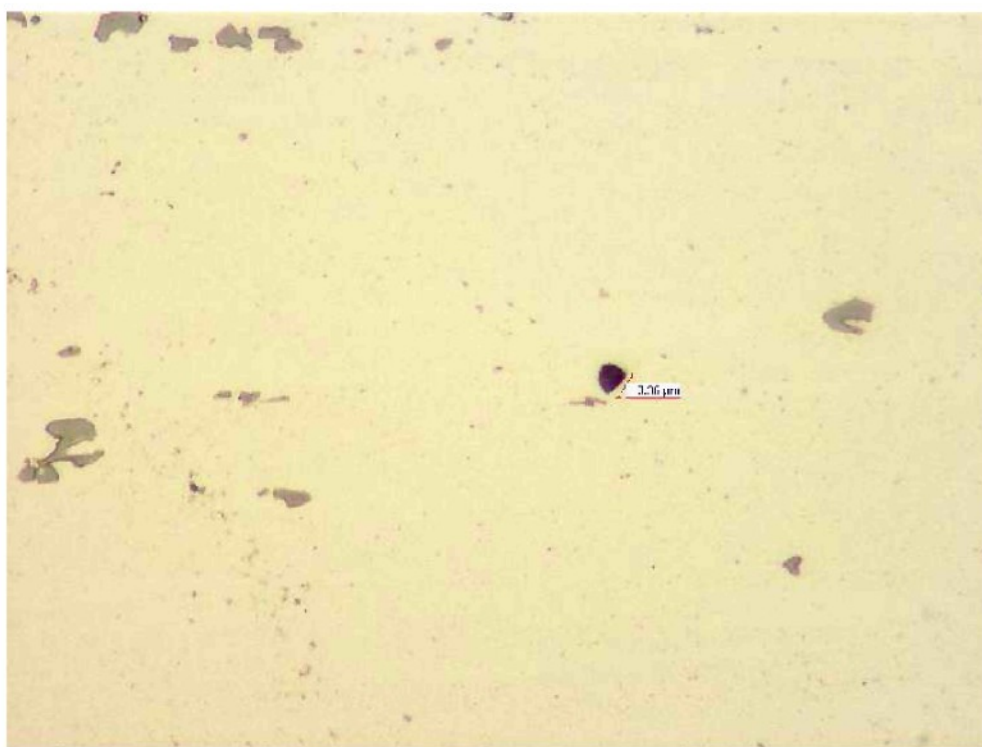
Obrázek č.8: Povrchový vzhled vzorků po bezbarvém eloxování

3.8 Pozorování metalografické struktury

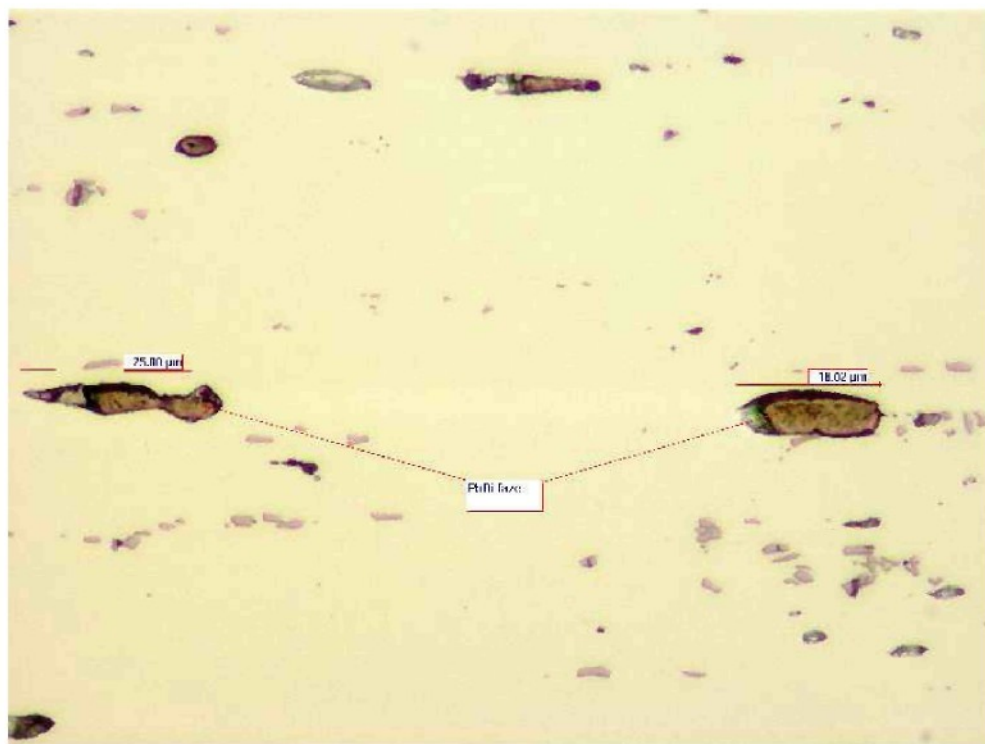
Pozorování metalografické struktury jsme provedli na připravených metalografických vzorcích pomocí mikroskopu Nikon Epiphot při zvětšení 500. K popisování jednotlivých fází, určování rozměrů a celkové fotodokumentaci byl využit software Buehler Omnimet Image Analysis system.



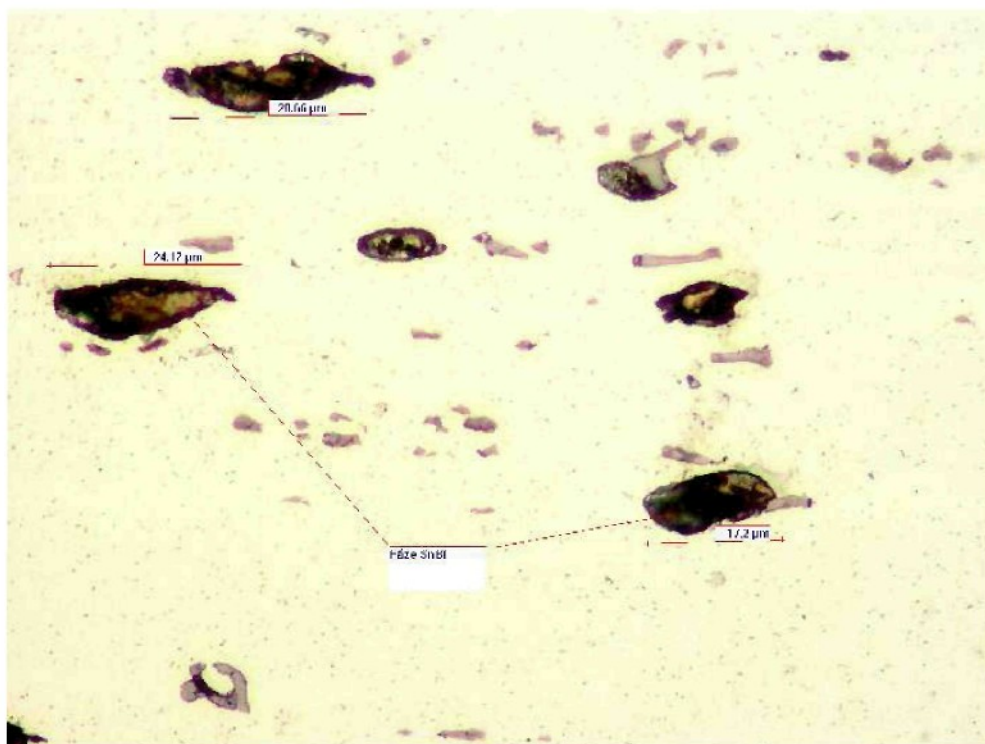
Obrázek č.9: Slitina AA 6082 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 , Zv.500x



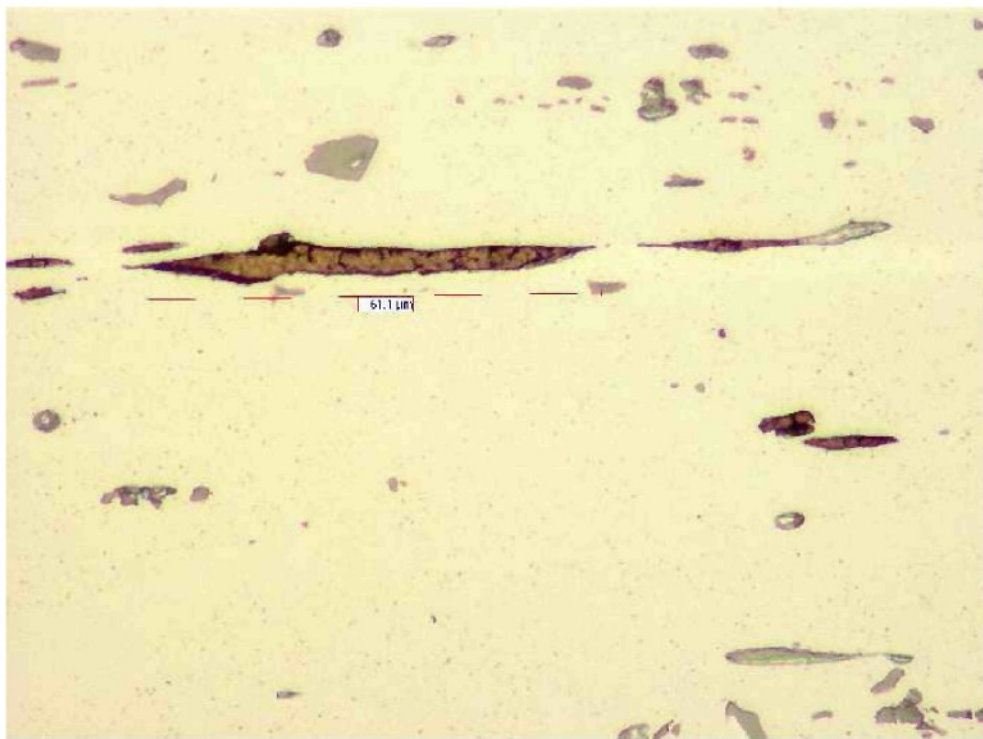
Obrázek č.10: Slitina AA 6082 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 , Zv.500x



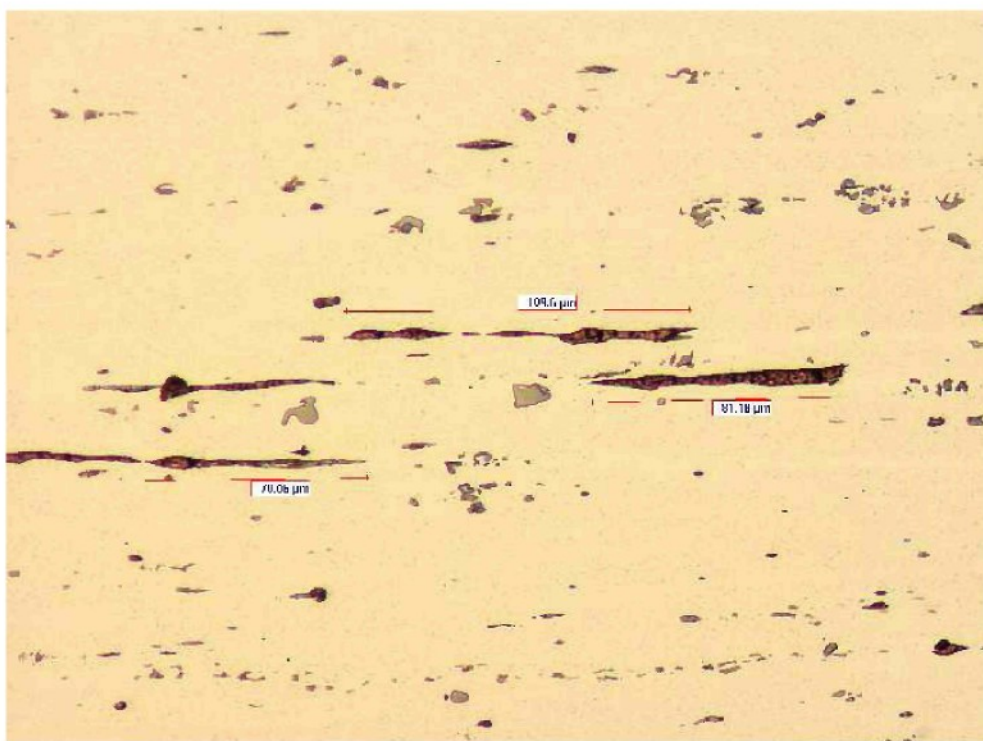
Obrázek č.11: Slitina AA 6262 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 ,Zv.500x



Obrázek č.12: Slitina AA 6023 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 ,Zv.500x



Obrázek č.13: Slitina 6B3 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 ,Zv.500x



Obrázek č.14: Slitina 6B3 podélný řez, leptadlo 10% H_3PO_4 ,Zv.200x

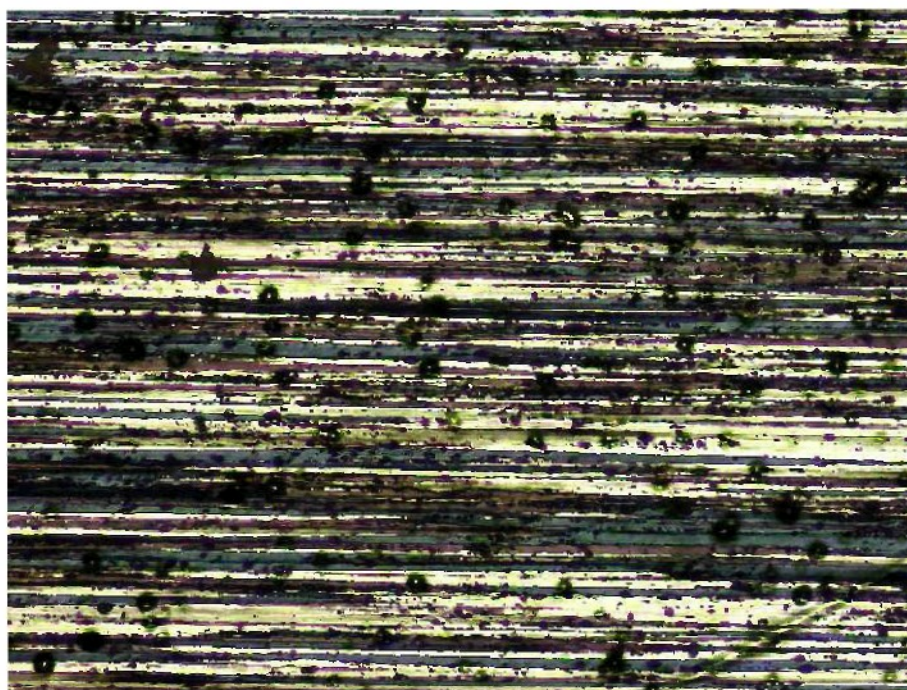
3.9 Hodnocení zrna

Slitiny s hrubými zrny jsou obecně méně vhodné k eloxování, neboť hrubé zrno je na povrchu eloxované vrstvy patrné a způsobuje nerovnoměrný odstín povrchu, což je samozřejmě nežádoucí efekt. Z tohoto důvodu jsme zkoumali velikost zrn u jednotlivých slitin a charakter jejich rozmístění. K pozorování velikosti zrn jsme si připravili vždy jeden vzorek od každého materiálu. Vzorky pro měření zrna byly vyříznuty ze vzorků po bezbarvém eloxování.

Vzorky pro pozorování zrn byly zhotoveny následujícím způsobem:

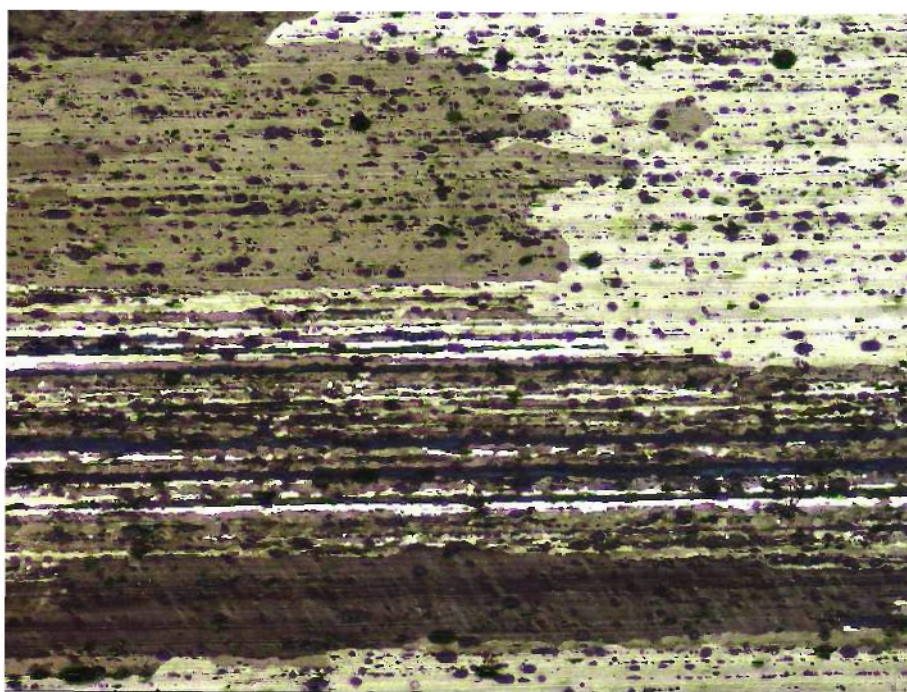
- 1, nařezání na pile
- 2, broušení
- 3, elektrolytické leštění na leštičce Pollectrol po dobu 17 s.
- 4, leptání na zrno pomocí Barkerovy metody, doba leptání byla 4 minuty

Pro pozorování velikosti a charakteru zrn jsme použili mikroskop Nikon Epiphot při zvětšení 50 při polarizovaném světle. K fotodokumentaci byl využit software Buehler Omnimet Image Analysis system. Struktury jednotlivých slitin jsou patrné z obrázků č.15 – č.18:



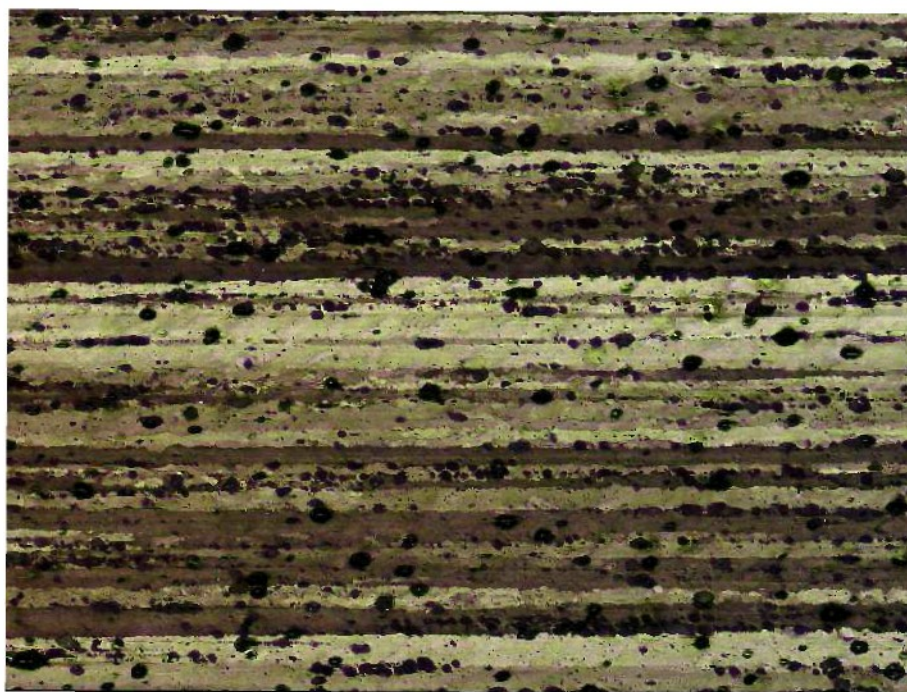
Obrázek č.15: slitina AA 6082

Zv.50x



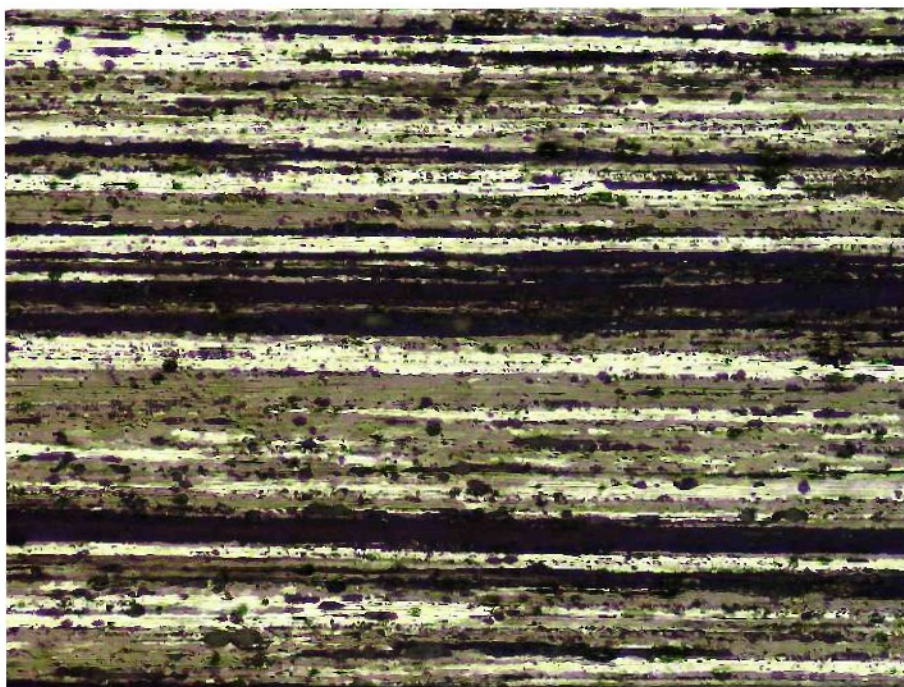
Obrázek č.16: slitina AA 6262

Zv.50x



Obrázek č.17: slitina AA 6023

Zv.50x



Obrázek č.18: slitina 6B3

Zv.50x

4 DISKUSE VÝSLEDKŮ

V této diplomové práci byla porovnávána vhodnost k eloxování nových hliníkových slitin (AA 6023 a 6B3) vzhledem k slitinám stávajícím (AA 6082 a AA 6262). K určení této vhodnosti byly použity následující experimentální metody a měření:

- měření tloušťek eloxovaných vrstev v závislosti na době eloxování
- určení kvality eloxovaných povrchů pozorováním
- pozorování metalografické struktury
- pozorování velikosti a charakteru zrna

4.1 Měření tloušťek eloxovaných vrstev

Z hodnocení naměřených tloušťek eloxovaných vrstev pozorovaných slitin jsme dospěli k následujícím poznatkům:

Z grafických závislostí je na první pohled patrný strmý nárůst relativních tloušťek eloxovaných vrstev v závislosti na době eloxování a to až do doby eloxování přibližně okolo 30 minut. Za ní následuje oblast s menším relativním nárůstem eloxované vrstvy v časovém intervalu od 30 do 45 minut eloxování. Při delších dobách eloxování než 45 minut jsme zaznamenali opět mírný nárůst relativních tloušťek eloxovaných vrstev.

Od začátku eloxování do doby 15 min. vykazoval největší tloušťku eloxované vrstvy materiál AA 6082, což je neobrobitelná slitina bez obsahu Pb, Bi. Naopak nejmenší tloušťku eloxované vrstvy jsme naměřili u slitiny 6B3, což je bezolovnatá slitina s Bi. Slitiny AA 6262 a AA 6023 měli srovnatelný nárůst tloušťky eloxované vrstvy.

Slitina 6B3 se chová jednoznačně jako slitina nejméně vhodná k eloxování z hlediska přírůstku tloušťky eloxované vrstvy v závislosti na době eloxování. Ostatní grafické závislosti pozorovaných slitin nejsou zcela jednoznačné a je obtížné z nich posoudit zásadní rozdíl ve vhodnosti k eloxování z daného hlediska.

Pro přesnější a objektivnější výsledky bych doporučoval více měření.

4.2 Kvalitativní hodnocení

Kvalitu eloxovaných povrchů jednotlivých slitin jsme určovali na vzorcích s bezbarvým přírodním eloxem (obr. č. 8). Všechny vzorky vykazovaly stejný barevný odstín.

Dále je uveden přehled jednotlivých materiálů a jejich zjištěné vady na povrchu eloxované vrstvy:

materiál:	vady:
AA 6082	Povrch je stříbřitě lesklý, bez viditelných vzhledových vad.
AA 6262	Na povrchu zřetelně viditelné hrubé zrna. Jednotlivá samostatná zrna velikosti několika mm mají po eloxování různé odstíny zbarvení.
AA 6023	Na povrchu se objevují nepravidelně rozmístěná hrubá zrna, která jsou v jasném kontrastu se zbylou vláknitou strukturou, neboť při barvení dojde k ještě většímu zviditelnění jednotlivých hrubých zrn na povrchu.
AA 6B3	Na povrchu jsou viditelné výrazné tmavé rysky.

4.3 Pozorování metalografické struktury

Slitina AA 6082 obsahuje na první pohled rozeznatelné světlé a tmavé fáze. Světlé části jsou intermetalické fáze AlFe , $\text{AlFe}(\text{Si})\text{Mn}$ nepravidelné morfologie. Tyto fáze mohou být dotovány malým množstvím Cr a Ti . Tmavé fáze jsou Mg_2Si . Mají tyčinkovitý tvar a jsou rovnoměrně rozloženy po průřezu, vykazují nevýrazné uspořádání ve směru tváření. Velikost těchto fází je max. 10-20 μm . Slitina také obsahuje malé množství titan boridů a boridů o velikosti max. 3-5 μm . Ostrohranné tmavé částice, které se vyskytují ve všech pozorovaných slitinách, pocházejí z AlTi5B1 drátu, který se používá pro zjemnění zrna. Velikosti a tvary jednotlivých fází jsou dobře patrné z obrázků č.9 a č.10.

Slitina AA 6262 obsahuje světlé fáze, které jsou totožné s fázemi u slitiny AA 6082. Dále jsou patrné fáze hnědé barvy, což jsou hrubé částice PbBi o velikosti max. 25-30 μm . Opět je patrná jemná orientace ve směru tváření (viz. obrázek č.11).

Ve slitině 6023 je olovo nahrazeno Sn a Bi. Fáze SnBi jsou opět jemně orientované ve směru tváření a dosahují zde velikosti 25-30 μm . (viz. obrázek č.12)

Na obrázku č.13 a č. 14 je bezolovnatá slitina s označením 6B3. Obsahuje tmavě hnědé fáze Bi s malým množstvím Mg, které vytváří dlouhé vlasečnice orientované ve směru tváření. Vlasečnice způsobují na povrchu rysky, což je při procesu eloxování nevhodné. Při moření nedojde k jejich naleptání a poté se na nich nevytvoří dostatečná vrstva eloxu. Lokálně nakupené a hrubé částice dosahují velikosti 50-60 μm .

4.4 Hodnocení zrna

Slitina AA 6082 vykazuje u okraje částečně rekrytalizovanou strukturu, která sahá až do hloubky 200 μm . Zbylá struktura je vláknitá a nerekrystalizovaná (viz. obrázek č.15).

U slitiny AA 6262 je u okraje jasně patrná hrubozrná rekrytalizovaná vrstva s velikostí zrn nad 250 μm , která sahá až do hloubky 1,2-1,3 mm. Zbytek průřezu tvoří vláknitá nerekrystalizovaná struktura. Na obrázku č.16 je názorně vidět předěl mezi hrubozrnou povrchovou vrstvou a vláknitou nerekrystalizovanou strukturou jádra. Tato struktura s hrubým zrnem na povrchu není vhodná k eloxování. Vrstva by měla být pro vylepšení jakosti eloxovaného povrchu odstraněna až do hloubky minimálně 1,2 mm.

Slitina AA 6023 vykazuje vláknitou nerekrystalizovanou strukturu po celém průřezu (obrázek č.17). S ohledem na vzhled povrchu je však zřejmé, že záleží na místě odebrání vzorku. V jiném řezu bychom pravděpodobně narazili i na nepravidelně rozmístěné hrubozrné oblasti.

Slitina 6B3 vykazuje obdobně jako slitina AA 6023 vláknitou nerekrystalizovanou strukturu. (obrázek č.18)

5 ZÁVĚR

V rámci svojí diplomové práce jsem se seznámil s problematikou náhrady Al slitin s olovem hliníkovými slitinami s Sn a Bi (resp. pouze s Bi) v podniku Alcan Děčín Extrusions s.r.o.

K porovnání vhodnosti jednotlivých slitin k elektrolytické oxidaci – eloxování jsme provedli několik pozorování a měření. Ze získaných hodnot a poznatků a na základě diskuse výsledků lze vyslovit následující závěry:

1. Za daných podmínek eloxování je obecně relativní přírůstek eloxové vrstvy u všech pozorovaných slitin největší v časovém intervalu od začátku eloxování po 30 minut. V časovém intervalu od 30 do 45 minut eloxování sice vrstva stále narůstá, ale relativní přírůstky jsou menší.
2. Naměřené tloušťky eloxovaných vrstev se při různých dobách eloxování u jednotlivých slitin vzájemně lišily. Nejmenší přírůstky eloxované vrstvy má bezolovnatá slitina 6B3 a tudíž je i slitinou nejméně vhodnou k eloxování dle tohoto kritéria kvantity.
3. Všechny slitiny vykazují stejný barevný odstín eloxovaných vrstev.
4. Z kvalitativního hlediska je nejlepší slitinou pro eloxování neobrobitelná slitina AA 6082. Naeloxovaný povrch je stříbřitě lesklý a nemá žádné viditelné vzhledové vady.
5. Slitiny AA 6262, AA 6023 a 6B3 vykazují vzhledové vady povrchu po eloxování.
Slitina AA 6262 má po celém povrchu zřetelně viditelné hrubší zrno. Jednotlivá zrna mají po eloxování různé odstíny zbarvení.
Slitina AA 6023 má na povrchu nepravidelně rozmístěná hrubá zrna, která jsou v jasném kontrastu se zbylou vláknitou strukturou.
Slitina 6B3 má na povrchu jasně rozeznatelné tmavé rysky, což jsou intermetalické fáze ve tvaru vlásečnic o velikosti 50-60 μm a více vystupující na povrch.
6. Vnitřní struktura slitin (velikosti, rozmístění a tvary fází) tedy samozřejmě ovlivňuje vzhled eloxovaných vrstev. Potvrdilo se, že chemické složení

materiálu je jedním z nejdůležitějších faktorů, který má vliv na výslednou kvalitu eloxovaného povrchu.

7. Jemnozrná struktura slitiny AA 6082 je obecně vhodnější k eloxování než struktury ostatních slitin.

U slitin AA 6262 a AA 6023 jsou po eloxování patrná jednotlivá hrubá zrna na povrchu a po barvení dochází k ještě většímu zviditelnění jednotlivých hrubých zrn na povrchu. I proto je slitina AA 6082 v tomto ohledu nejkvalitnější.

V následující tabulce jsou uvedeny pozorované slitiny a jejich klasifikace dle čtyř různých kritérií vhodnosti k eloxování.

A- dle přírůstku eloxované vrstvy v závislosti na době eloxování

B- dle vzhledu eloxované vrstvy

C- dle metalografické struktury

D- dle velikosti zrna

	kritérium	kritérium	kritérium	kritérium
slitina	A	B	C	D
AA 6082	2	2	3	2
AA 6262	2	3	3	3
AA 6023	2	4	3	4
6B3	3	4	4	2

Klasifikace: 1-výborný, 2-velmi dobrý, 3-dobrá, 4-uspokojivý, 5-nevyhovující

Tabulka č.10: Celkové hodnocení vhodnosti slitin k eloxování

Úplným závěrem lze tedy prohlásit, že nahrazení hliníkových slitin s Pb hliníkovými slitinami s Sn a Bi je dle současných legislativních předpisů Evropské unie (silně omezující obsah olova v kovech a slitinách) možné, ale pouze za předpokladu snížení nároků na kvalitu eloxovaného povrchu. Ve srovnání se slitinou AA 6082 je pro získání ekvivalentní tloušťky eloxované vrstvy nutno prodloužit doby eloxování (popř. jinak upravit podmínky elektrolytické oxidace) u všech ostatních zkoumaných materiálů, zejména u bezolovnaté slitiny 6B3.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] MICHNA,Š.,LUKÁČ,I. Barevný kontrast, struktury a vady u hliníku a jeho slitin. Delta Print. Děčín: 2003
- [2] ČSN ISO 1463
- [3] MASSALSKI,T.B. Binary Alloy Phase Diagrams. American Society for Metals. Metals Park, Ohio: 1986
- [4] MASSALSKI,T.B.,OKAMOTO,H. Binary Alloy Phase Diagrams. American Society for Metals. Metals Park. Ohio: 1996. Second Edition Plus Updates on CD-ROM
- [5] MICHNA,Š.,LUKÁČ,I.,OČENÁŠEK,V.,KOŘENÝ,R.,DRÁPALA,J.,SCHNEIDER,H.,MIŠKUFOVÁ,A. A KOL. Encyklopedie hliníku. Adin, s.r.o. Prešov: 2005
- [6] MONDOLFO,L. F. Aluminium Alloys: Structure and Properties. Butterworths. London- Boston: 1976
- [7] PEARSON,W.B. Handbook of Lattice Spacing and Structures of Metals and Alloys. Vol. 2. Pergamon Press. Ohio: 1967
- [8] ČSN EN 12373-1

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 23.5.2006

Podpis:

7 PŘÍLOHY

AA 6082

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Pb	Bi
0,9900	0,1700	0,0140	0,9160	0,7950	0,0130	0,0100	0,0220	0,0030	0,0001	0,0010

AA 6262 slitina s Pb

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Pb	Bi	Be	Ca	Na	Sn	Zr
0,6800	0,3400	0,2920	0,1190	1,0810	0,1170	0,0400	0,0210	0,0030	0,5800	0,4840	0,0000	0,0005	0,0000	0,0044	0,0012

AA 6023 slitina s Sn

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Pb	Bi	Sn
0,9300	0,1700	0,3440	0,5460	0,7440	0,0040	0,0100	0,0300	0,0020	0,0470	0,5450	0,7910

6B3 slitina s Bi

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Pb	Bi
0,8000	0,3080	0,3100	0,6880	1,0900	0,0896	0,0015	0,0046	0,0002	0,0000	0,8860

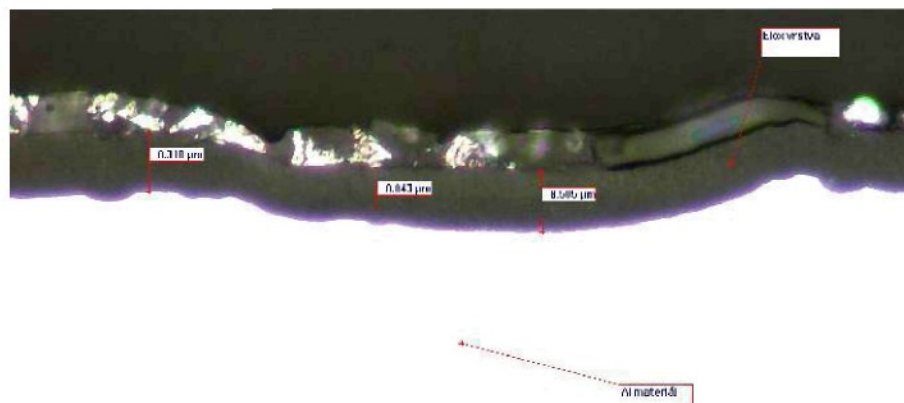
Příloha č. 2: Naměřené tloušťky vrstev v příčném řezu [μm]

vzorek	zvětšení 200					zvětšení 500					průměr
(6082) 1A	7,402	8,234	8,092	7,861	8,092	8,692	7,950	6,563	7,949	8,049	7,888
(6082) 1B	12,500	11,580	11,800	10,870	11,560	14,700	14,980	15,160	14,880	15,070	13,310
(6082) 1C	13,180	13,880	13,880	14,340	13,410	14,740	14,200	15,490	14,820	14,260	14,220
(6082) 1D	20,810	19,200	20,810	20,820	19,900	20,620	20,240	21,720	21,260	21,450	20,683
(6262) 2A	7,183	6,741	6,511	7,227	7,634	7,593	8,230	6,747	7,858	7,463	7,319
(6262) 2B	16,420	14,340	14,810	14,600	15,510	13,420	14,900	14,630	14,830	15,000	14,846
(6262) 2C	12,720	14,120	13,560	11,810	13,230	12,510	12,590	14,530	13,890	13,680	13,264
(6262) 2D	18,730	19,650	19,660	16,660	17,570	18,910	20,040	21,350	21,080	20,520	19,417
(6023) 3A	7,399	8,096	6,016	6,474	7,861	7,673	8,043	7,948	7,606	6,008	7,312
(6023) 3B	13,880	15,280	15,270	14,340	15,960	13,780	13,240	14,170	13,270	14,420	14,361
(6023) 3C	13,870	14,570	14,800	15,260	15,960	14,810	15,250	15,160	14,890	14,890	14,946
(6023) 3D	19,890	18,270	18,500	18,970	18,980	17,480	17,680	16,730	18,920	19,340	18,476
(6B3) 4A	6,260	7,402	6,705	7,168	6,709	5,933	7,330	7,046	6,954	6,195	6,770
(6B3) 4B	12,030	12,490	10,400	13,180	11,560	12,580	12,110	13,880	13,320	13,230	12,478
(6B3) 4C	11,300	12,720	13,410	13,640	12,270	13,500	12,850	13,400	13,590	12,390	12,907
(6B3) 4D	16,230	15,500	15,960	17,130	17,370	13,550	15,550	16,580	14,530	16,180	15,858

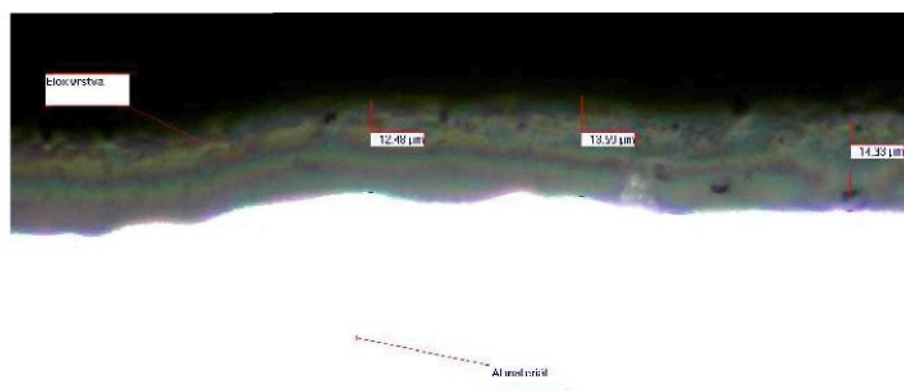
Příloha č. 3 : Naměřené tloušťky vrstev v podélném řezu [μm]

vzorek	zvětšení 200					zvětšení 500					průměr
(6082) 1A	8,633	8,555	8,404	6,449	7,892	8,505	8,043	8,318	7,372	8,275	8,045
(6082) 1B	12,030	10,910	13,180	13,650	11,330	14,330	13,590	12,480	12,750	12,670	12,692
(6082) 1C	18,960	20,590	20,600	18,410	18,590	18,780	20,430	18,370	18,080	20,150	19,296
(6082) 1D	19,280	21,290	19,890	20,130	19,890	19,600	20,550	19,590	20,160	19,500	19,988
(6262) 2A	8,096	7,413	7,634	6,705	7,242	8,049	7,869	8,596	7,673	7,131	7,641
(6262) 2B	16,100	15,030	15,740	15,280	16,670	15,720	15,800	15,870	16,150	16,730	15,909
(6262) 2C	14,370	14,580	13,870	15,260	15,520	12,950	13,350	14,300	14,100	15,200	14,350
(6262) 2D	18,750	17,510	17,820	18,270	18,300	19,530	17,110	17,190	16,910	18,670	18,006
(6023) 3A	8,092	7,260	8,337	8,096	7,686	6,778	7,615	7,487	8,041	7,034	7,643
(6023) 3B	16,180	13,210	15,760	15,510	14,480	14,330	14,980	14,360	15,250	14,050	14,811
(6023) 3C	12,100	15,750	16,430	14,400	15,500	14,150	15,320	14,470	14,610	14,740	14,747
(6023) 3D	14,120	16,210	14,110	15,240	14,800	14,910	17,190	17,010	16,910	17,900	15,840
(6B3) 4A	6,012	5,720	4,653	5,626	4,447	6,565	7,540	6,578	6,598	5,845	5,958
(6B3) 4B	10,650	11,950	10,490	10,840	11,140	12,570	13,410	13,920	13,320	11,050	11,934
(6B3) 4C	13,800	11,280	11,560	11,810	11,830	13,410	12,580	11,650	11,380	11,750	12,105
(6B3) 4D	15,830	16,040	15,480	13,460	15,750	16,310	17,200	16,330	12,030	15,010	15,344

Příloha č. 4: Způsob měření a charakter vrstev u vzorků slitiny AA 6082

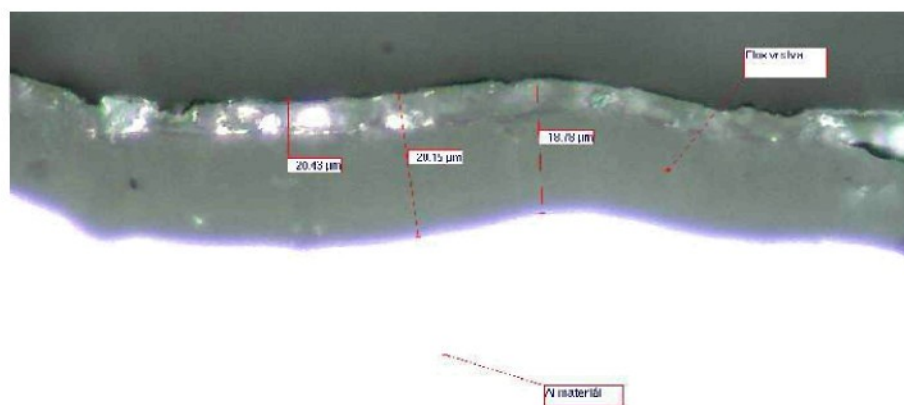


Slitina AA 6082, eloxování 15 min Zv.500x podélný řez

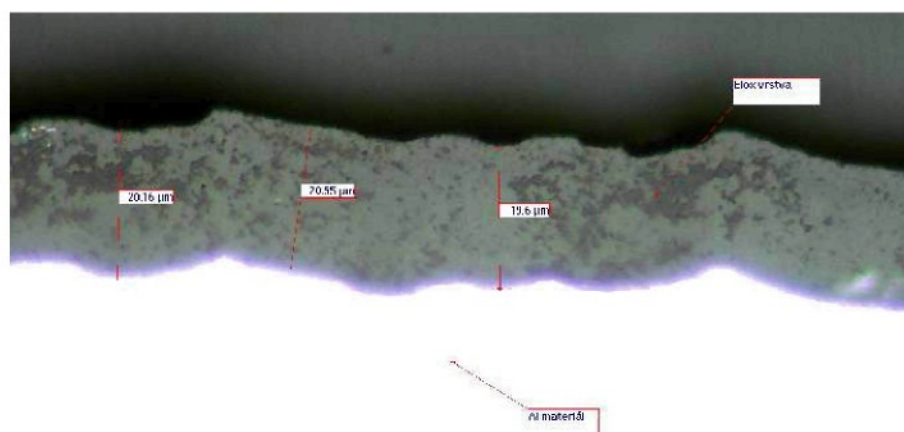


Slitina AA 6082, eloxování 30 min Zv.500x podélný řez

Příloha č. 5: Způsob měření a charakter vrstev u vzorků slitiny AA 6082

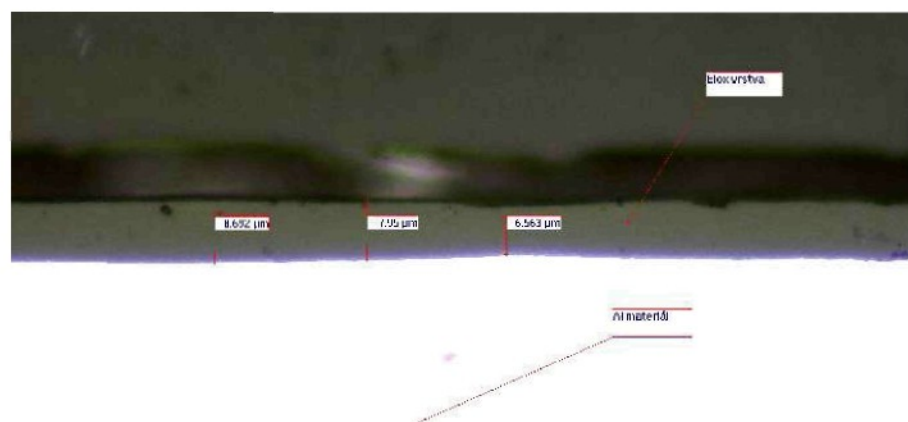


Slitina AA 6082, eloxování 45 min Zv.500x podélný řez

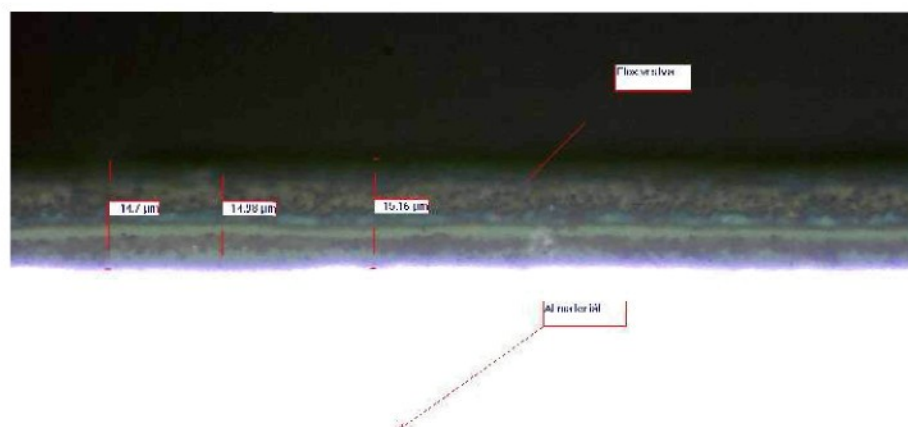


Slitina AA 6082, eloxování 60 min Zv.500x podélný řez

Příloha č. 6: Způsob měření a charakter vrstev u vzorků slitiny AA 6082

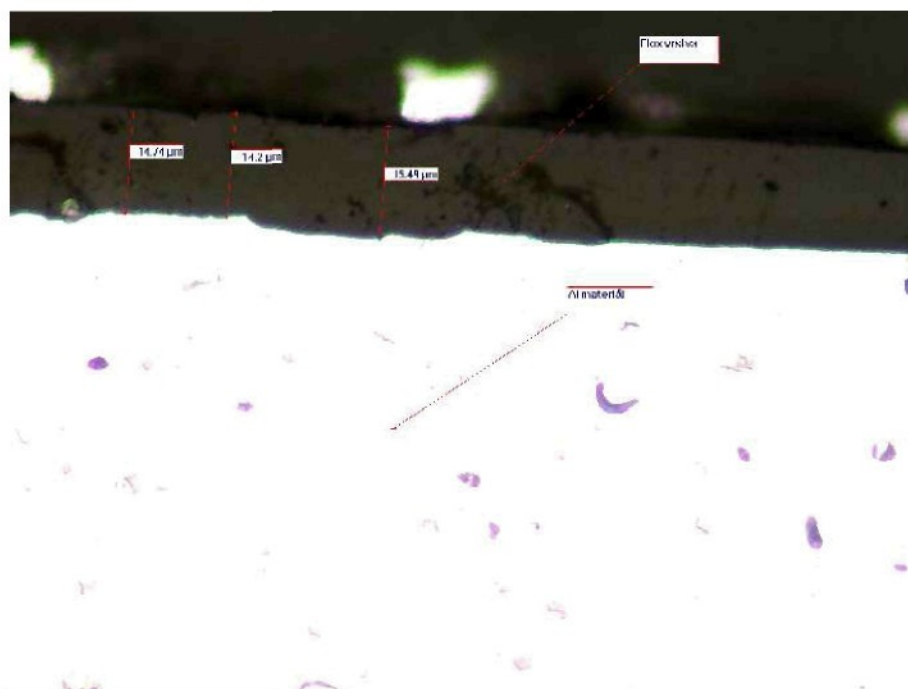


Slitina AA 6082, eloxování 15 min Zv.500x příčný řez

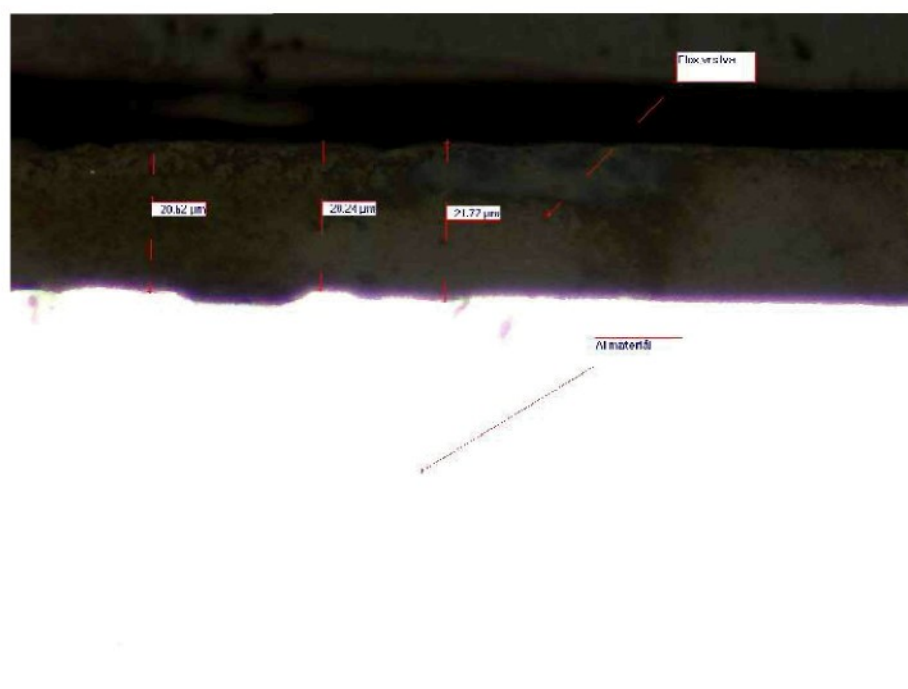


Slitina AA 6082, eloxování 30 min Zv.500x příčný řez

Příloha č. 7: Způsob měření a charakter vrstev u vzorků slitiny AA 6082



Slitina AA 6082, eloxování 45 min Zv.500x příčný řez



Slitina AA 6082, eloxování 60 min Zv.500x příčný řez

Příloha č. 8: Povrchový vzhled vzorků po eloxování



Povrchový vzhled vzorků po přírodním eloxování



Povrchový vzhled vzorků po 15 min. eloxování s barvením načerno

Příloha č. 9: Povrchový vzhled vzorků po eloxování



Povrchový vzhled vzorků po 30 min. eloxování s barvením načerno



Povrchový vzhled vzorků po 45 min. eloxování s barvením načerno

Příloha č. 10: Povrchový vzhled vzorků po eloxování



Povrchový vzhled vzorků po 60 min. eloxování s barvením načerno