



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## POUŽITÍ SLITIN HLINÍKU

APPLICATIONS OF ALUMINIUM ALLOYS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Ponka

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Němec, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav materiálových věd a inženýrství  
Student: **Ondřej Ponka**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Karel Němec, Ph.D.**  
Akademický rok: 2015/16

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:

## Použití slitin hliníku

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Zpracování přehledu o slitinách hliníku v současnosti používaných ve strojírenském průmyslu a následné vyhodnocení výhod a nevýhod různých slitin pro jednotlivé aplikace.

### **Cíle bakalářské práce:**

Zpracování přehledu slitin hliníku.

Popis jednotlivých slitin používaných ve strojírenství.

Formulace závěrů o vhodnosti použití slitin hliníku na konkrétní aplikace.

### **Seznam literatury:**

Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd., Brno, CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3

Michna, Š.: Encyklopedie hliníku. Děčín, Alcan Děčín Extrusions, 2005. 1. elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-89041-88-4

Sedláček, V.: Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd., Praha, SNTL, 1979. 398 s.

Sedláček, V. : Únava hliníkových a titanových slitin. 1.vyd., Praha, SNTL, 1989. 351 s.

Roučka, J.: Metalurgie neželezných slitin. Skripta VUT Brno, CERM, 2001, 503 s., ISBN 80-7204-1-3-2

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá základním přehledem hliníku a jeho slitin. Pojednává o vlastnostech primárního hliníku, jeho výroby i výhodami pramenící ze zpracování sekundárního hliníku. Práce se dále zabývá slitinami jako takovými. Popisuje základní legující prvky, jejich rozdělení včetně jejich specifických vlastností. Uvádí také dopady tepelného zpracování a povrchových úprav na vlastnosti slitin.

V neposlední řadě se práce zabývá aplikovatelností hliníku a jeho slitin v nejrůznějších oblastech průmyslu. Stručně charakterizuje danou problematiku konkrétních aplikací a uvádí výhody i nevýhody pramenící z jejich použití.

## **Klíčová slova**

Hliník, sekundární hliník, slitiny hliníku, aplikovatelnost slitin hliníku, Bayerova metoda, Hall-Héroultův princip elektrolýzy

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with basic overview of aluminum and its alloys. It deals with properties of primary aluminum, its production and the benefits resulting from the processing of secondary aluminum. The thesis also discusses aluminum alloys as well. It describes the basic alloying elements, their distribution and their specific properties. It also mentions the effects of the heat and surface treatments on the properties of the alloys.

Finally, the thesis deals with applicability of aluminum and its alloys in various industries. Briefly describes the issue of specific applications and provides advantages and disadvantages arising from their use.

## **Keywords**

Aluminum, secondary aluminum, aluminum alloys, applicability of aluminum alloys, Bayer process, Hall-Héroult process

## **Bibliografická citace**

PONKA, O. *Použití slitin hliníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě seznamu použitých zdrojů a literatury.

V Brně dne 17. 5. 2016

.....  
Ondřej Ponka

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad při vypracování této bakalářské práce, stejně tak jako své rodině a blízkým za podporu v dosavadním studiu.

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Hliník.....</b>	<b>11</b>
2.1 Fyzikální vlastnosti .....	11
2.2 Chemické vlastnosti.....	12
2.3 Mechanické vlastnosti .....	12
<b>3. Výroba hliníku.....</b>	<b>13</b>
3.1 Surovinové zdroje.....	13
3.2 Metody výroby hliníku.....	14
3.2.1 Bayerova metoda výroby $Al_2O_3$ .....	14
3.2.2 Hall-Héroultův princip elektrolýzy .....	16
3.3 Rafinace hliníku.....	17
3.4 Sekundární hliník.....	18
<b>4. Slitiny hliníku .....</b>	<b>19</b>
4.1 Legující prvky .....	19
4.2 Základní rozdělení slitin hliníku .....	20
4.3 Přehled jednotlivých řad slitin hliníku .....	21
4.3.1 Řada 2000 (Al-Cu).....	21
4.3.2 Řada 3000 (Al-Mn).....	22
4.3.3 Řada 4000 (Al-Si) .....	22
4.3.4 Řada 5000 (Al-Mg).....	23
4.3.5 Řada 6000 (Al-Mg-Si).....	23
4.3.6 Řada 7000 (Al-Zn) .....	23
4.3.7 Řada 8000 (různé prvky).....	24
<b>5. Tepelné zpracování slitin hliníku .....</b>	<b>25</b>
5.1 Vytvrzování .....	25
5.2 Žíhání.....	27
<b>6. Povrchové úpravy hliníku a jeho slitin .....</b>	<b>28</b>
6.1 Anodická oxidace hliníku .....	28
<b>7. Aplikovatelnost hliníku a jeho slitin.....</b>	<b>29</b>
7.1 Aplikovatelnost v dopravě .....	29
7.1.1 Letecká doprava .....	29
7.1.2 Automobilní doprava.....	30



7.1.3 Železniční doprava .....	31
7.1.4 Lodní doprava .....	32
<b>7.2 Aplikovatelnost ve stavebnictví.....</b>	<b>33</b>
<b>7.3 Aplikovatelnost v energetice.....</b>	<b>34</b>
<b>7.4 Aplikovatelnost ve spotřebním zboží.....</b>	<b>35</b>
<b>7.5 Aplikovatelnost v domácnosti .....</b>	<b>35</b>
<b>7.6 Aplikovatelnost ve sportu .....</b>	<b>36</b>
<b>7.7 Aplikovatelnost v potravinářském průmyslu.....</b>	<b>37</b>
<b>8. Závěr.....</b>	<b>38</b>
<b>9. Seznam použitých zdrojů a literatury .....</b>	<b>39</b>
<b>10. Seznam zkratk a symbolů.....</b>	<b>43</b>
<b>11. Příloha .....</b>	<b>44</b>
<b>11.1 Označování hliníku a slitin hliníku podle ČSN EN .....</b>	<b>44</b>
11.1.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1 až 2.....	44
11.1.2 Označování slitin hliníku na odlitky podle ČSN EN 1706.....	44
<b>11.2 Označování tepelného stavu slitin hliníku.....</b>	<b>48</b>

## 1. Úvod

Jedním z prvních známých hlinitých minerálů je síran hlinito-draselný (obr. 1). V 18. století byl tento minerál označován jako „alum“. V roce 1790, chemik Joseph Black tento název převzal a přejmenoval na anglický „alumina“.[1]

Sir Humphry Davy, další britský chemik, proslulý především chemickým izolováním řady významným prvků jako jsou sodík, draslík, vápník, hořčík či bor. V roce 1808 poprvé izoloval pomocí elektrolýzy z hlinitého minerálu kov, který později nazval *aluminium* (český název *hliník* byl vytvořen až v roce 1848 Janem Svatoplukem Preslem [2]).

V roce 1825 se podařilo dánskému fyziku Hansi Christianu Orstedovi, izolovat první větší množství hliníku. Podobný úspěch zaznamenal v roce 1845 i německý chemik Friedrich Wöhler. Nicméně ani v případě Davyho, Orsteda či Wöhlera se nejednalo o čistou formu hliníku (hliník o čistotě alespoň 99,0%). Takto úspěšná izolace se podařila až v roce 1854. [3]

V roce 1886, tehdy nezávisle na sobě, Paul T. Héroult a Charles M. Hall patentovali metodu elektrolytické výroby hliníku. Metodu natolik efektivní, že se mezi lety 1887-1888 začínají stavět první hutě pro průmyslovou výrobu. V roce 1889 Carl Josef Bayer vymýšlí průmyslově využitelnou metodu extrakce  $Al_2O_3$  z hlinitých minerálů. V současné době je až 90% z roční výroby primárního hliníku vyrobeno právě těmito metodami. [3]

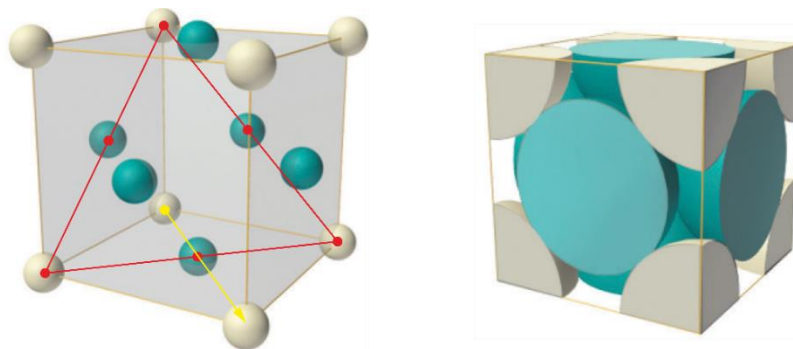


Obr. 1 Síran hlinito-draselný (*Kamenec*) využíván pro vyčínění kožešin už tisíce let. [4]

## 2. Hliník

### 2.1 Fyzikální vlastnosti

Chemicky čistý hliník je stříbřitě bílý kov s kubickou plošně centrovanou mřížkou (FCC). Ta propůjčuje hliníku a jeho slitinám výborné plastické vlastnosti, jak za tepla, tak za studena. Plně obsazená mřížka je uvedena na obr. 2 vpravo. Vlevo jsou zobrazeny skluzové roviny mřížky  $\{111\}$  (červeně), včetně skluzových směrů  $\langle 110 \rangle$  (žlutě), které využívají precipitáty legujících prvků. Základní fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1. [5]



Obr. 2 FCC mřížka včetně skluzových rovin a směrů [6]

Tab. 1 Základní vlastnosti hliníku

Protonové číslo	13
Hmotnostní číslo	26,98
Oxidační číslo	III
Elektronegativita	1,47
Elektronová konfigurace	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
Standartní elektroodový potenciál [V]	-1,662
Měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	2,69·10 <sup>3</sup>
Teplota tavení [°C]	660
Teplota varu [°C]	2494
Tepelná vodivost [W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	247
Elektrická vodivost [S/m]	37,7·10 <sup>6</sup>
Měrný elektrický odpor [Ω·m]	0,0267·10 <sup>-6</sup>
Tvrdość [HB]	20-30
Modul pružnosti v tahu [GPa]	70
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	26

## 2.2 Chemické vlastnosti

V přírodě se nachází pouze jeden stabilní izotop hliníku, a to sice izotop  $^{27}\text{Al}$ . Tento izotop má 13 protonů, 13 elektronů a 14 neutronů. Ačkoliv hliník patří mezi nejrozšířenější prvky v zemské kůře, ve své ryzí formě se nevyskytuje. Vzhledem ke své vysoké reaktivitě se vyskytuje pouze ve formě sloučenin. [7]

Z elektronové konfigurace hliníku (tab. 1) je patrné, že hliník má 3 valenční elektrony. Ve sloučeninách se tedy vyskytuje výhradně s oxidačním číslem III. V okamžiku, kdy se atomy hliníku dostanou do styku s atomy jiných prvků, má hliník tendenci vystupovat jako kationt  $\text{Al}^{3+}$  s cílem doplnit si chybějící elektrony tak, aby sám docílil rovnovážného stavu (zpětná reakce (2-1)). [5]



O tom, zdali je kov reaktivní či nikoliv, rozhoduje také tzv. Standardní elektrodový potenciál. Ten porovnává potenciál specifické kovové elektrody (v tomto případě hliníku) v roztoku jejich vlastních iontů vůči potenciálu vodíkové elektrody, která má předem definovanou hodnotu **0**. Pokud je hodnota potenciálu záporná, kov je neušlechtilý. V opačném případě, při kladném potenciálu, je kov ušlechtilý. Standardní elektrodový potenciál hliníku je **-1,662**. Hliník je tedy kovem neušlechtilým (vysoce reaktivním) a proto se v přírodě vyskytuje pouze ve formě sloučenin. [5]

Pozitivním dopadem vysoké reaktivity hliníku je např. vynikající odolnost vůči korozi. Povrch hliníku nejčastěji reaguje s kyslíkem za vzniku velmi stabilní vrstvy oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Tato pasivní vrstva brání hluboké oxidaci a zajišťuje vysokou odolnost vůči korozi nejen v atmosféře, ale i v sladké nebo slané vodě. V půdě je tato odolnost ovlivněna především mírou pH. Se vzrůstající čistotou hliníku odolnost zpravidla roste. Legující prvky ji obvykle snižují. Schopnost odolnosti vůči korozi u hliníku obecně také klesá se vzrůstající teplotou. Dále také v roztocích solí nebo kyselin. Extrémně nebezpečná je pro hliník elektrochemická koroze. [5]

## 2.3 Mechanické vlastnosti

Nízká pevnost v tahu (do 100MPa) a stejně tak tvrdost (20-30HB) hliníku, je zapříčiněna především krystalickou mřížkou. Ta sice hliníku propůjčuje vysokou plasticitu, nicméně pevnost se vlivem rozložení atomů v mřížce značně snižuje. Z tohoto důvodu se chemicky čistý hliník nevyužívá jako konstrukční materiál. [8]

Legujícími prvky je možno mechanické, fyzikální nebo chemické vlastnosti čistého hliníku zpravidla zlepšit. Během vytvrzování dochází k vytvoření intermetalických precipitátů uvnitř struktury. Tyto precipitáty mají vlastní atomární strukturu, která může být koherentní, semi-koherentní popřípadě nekoherentní vzhledem k původní struktuře hliníku. Slitiny s koherentním rozhraním zpravidla zvyšují pevnost a tvrdost. Naopak struktury s nekoherentním rozhraním ztrácejí své zpevnění na úkor opětovného zvýšení tažnosti. Ta u čistého hliníku dosahuje více jak 20%. Typy koherence tedy výraznou měrou ovlivňují konečné vlastnosti hliníkových slitin. [8]

## 3. Výroba hliníku

### 3.1 Surovinové zdroje

Zemská kůra je tvořena ze 7,45% hliníkem a téměř 50% kyslíkem. Vezmeme-li v potaz fakt, že hliník je vysoce reaktivní prvek, není překvapivé, že se v přírodě nejčastěji váže právě na kyslík. Společně tvoří tzv. iontovou vazbu (nejčastěji vazba mezi reaktivním kovem a nekovem). [7] Spojením těchto prvků vzniká oxid hlinitý ( $Al_2O_3$ ). V přírodě se nicméně vyskytuje ve formě krystalických hydrátů, nikoliv ve své čisté  $\alpha$  fázi, která je nezbytná pro pozdější elektrolýzu. Tyto hydráty se nazývají tzv. hlinité minerály. Hlinitých minerálů je mnoho, mezi ty nejdůležitější však patří *korund*, *diaspor*, *boehmit* a *gibbsit*. [5]

*Korund* ( $Al_2O_3$ ) je čistou krystalickou modifikací oxidu hlinitého (obr. 3a), pořád se však nejedná o čistou  $\alpha$  fázi. Je také velmi tvrdý a v půdě se vyskytuje jen zřídka, především ve formě *rubínů*. Další minerály, jako *diaspor* a *boehmit* ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ ), jsou z chemického hlediska totožné, liší se však typem krystalické mřížky. Oba minerály (obr. 3b,3c) jsou tvořeny z 85%  $Al_2O_3$ . Posledním je *gibbsit* ( $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ), který je tvořen z 66%  $Al_2O_3$  na (obr. 3d). [5]

a) *Korund*b) *Diaspor*c) *Boehmit*d) *Gibbsit*

Obr. 3 Důležité hliníkové minerály [9,10,11,12]

Všechny tyto hlinité minerály společně se stopovými prvky, za vysokých teplot a vlhkosti zvětrávají a tvoří horninu, která je označována jako bauxit. Efektivnost výroby hliníku je především závislá na kvalitě bauxitu. Tu vyjadřuje tzv. jakostní modul M. Ten je dán poměrem oxidu hlinitého vůči oxidu křemičitému (nežádoucí nečistota). Jestliže je index  $M > 10$ , jedná se o prvotřídní bauxit. U indexu modul  $M < 3$ , není bauxit zpravidla vhodný pro získání čisté  $\alpha$  fáze  $Al_2O_3$ . [5]

Největší naleziště se nachází obvykle v rovníkových oblastech (vysoká teplota, vlhkost) jako je Guinea, Austrálie, Brazílie, Vietnam či Jamajka. V roce 2015 bylo celosvětově vytěženo na 274 Mt bauxitu. Světové zásoby bauxitu jsou odhadovány na 55-75 Gt. Ověřené zásoby bauxitu jsou momentálně kolem 28 Gt. [13]

## 3.2 Metody výroby hliníku

Světová produkce hliníku se od roku 1994 téměř ztrojnásobila a to z 19,1 Mt/rok na 58,3 Mt/rok. V roce 2015 byly největšími producenty hliníku především Čína, která má více jak 50% podíl na světové produkci hliníku. Dále to jsou Spojené Arabské Emiráty, Rusko, Indie, Kanada, USA a Austrálie. [13]

Metod výroby chemicky čistého hliníku je v současnosti mnoho. Průmyslově se využívá jen několik z nich, neboť výroba je energeticky i technologicky velice náročná. Celkový výrobní proces se skládá z dvou základních částí [5]:

- V první části je potřeba separovat čistou  $\alpha$  fázi  $Al_2O_3$  z bauxitu. K tomu se nejčastěji využívá *Bayerova* metoda (tato metoda je vhodná pro vysoce kvalitní bauxity s jakostním modulem  $M > 10$ ). *Spékací* nebo *Kombinované* metody se obvykle využívají pro méně kvalitní bauxity, s nižším modulem  $M$ . V současné době se Bayerova metoda používá i pro bauxity s modulem  $M > 6$ .
- V druhé části je zapotřebí pomocí elektrolýzy extrahovat z  $Al_2O_3$  čistý hliník. K tomu se průmyslově nejčastěji využívá *Hall-Héroultův princip* (čistý  $Al_2O_3$  separovaný z bauxitu se rozpustí v roztaveném kryolitu  $Na_3AlF_6$ , kde se následně na katodě vylučuje jako čistý kovový hliník).

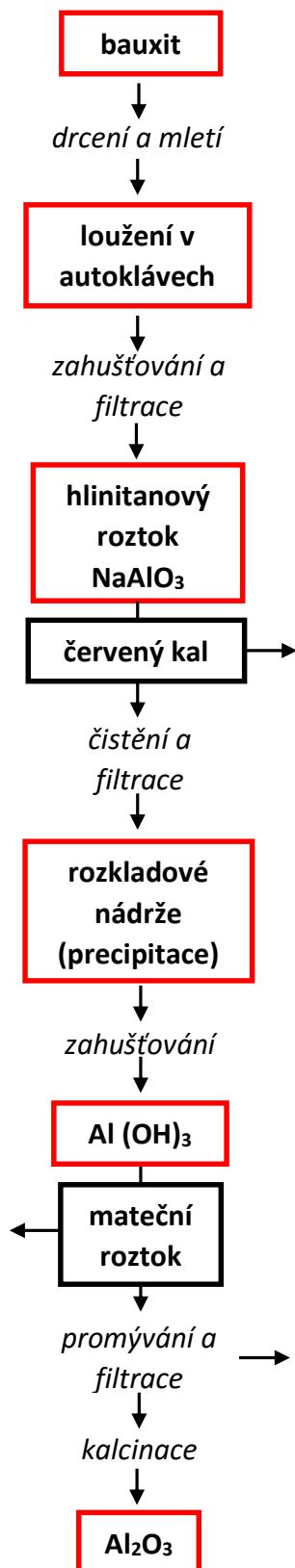
### 3.2.1 Bayerova metoda výroby $Al_2O_3$

Bayerova metoda (BM) (obr. 5) patří v současnosti mezi nejrozšířenější metody výroby čisté  $\alpha$  fáze  $Al_2O_3$  (obr. 4b). Efektivnost BM metody vzrůstá s využitím bauxitu vysokého jakostního modulu  $M$ . Nejvhodnější volbou je zpravidla gibbsitový bauxit (obr. 4a). Ten je z hlediska zpracování nejehospodárnější (patří k hlinitým minerálům s nejmenší tvrdostí). Čistá fáze  $Al_2O_3$  se z tohoto typu bauxitu snadněji extrahuje neboť je ve formě trihydrátu. Na výrobu 1t čisté  $\alpha$  fáze  $Al_2O_3$  je zapotřebí zhruba 2t bauxitu. [5]



Obr. 4 a) bauxit (charakteristický svou barvou vlivem oxidů železa) [14], b) čistá  $\alpha$  fáze oxidu hlinitého extrahovaného z bauxitu [15]

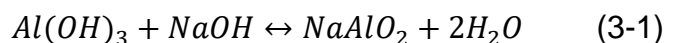




Obr. 5 zjednodušený princip Bayerovi metody [16]

Prvním krokem BM je úprava bauxitu. Ten se nejprve promývá vodou, přičemž dochází k odstranění jílovitých minerálů. Rozdrcený bauxit se předehřívá na teplotu loužení a následně se mele. [16]

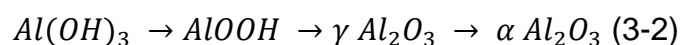
Rozemletý bauxit se dopraví do autoklávů, kde probíhá loužení. Zde se na rudu působí roztokem hydroxidu sodného  $NaOH$  za teploty  $160^{\circ}$  až  $220^{\circ}C$  a tlaku 1 až 2 MPa (teplotu a tlak ovlivňuje typ bauxitu). S cílem separovat oxid hlinitý od oxidů železa a křemíku. Proces popisuje rovnice [16]:



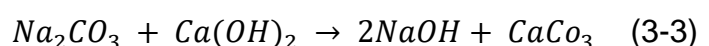
Působením  $NaOH$  na hydráty vzniká metahlinitan sodný  $NaAlO_2$ , který je rozpustný ve vodě. Ze vzniklého hlinitanového roztoku se sérií zahušťování a filtrace oddělí nerozpustný oxid železitý a oxid křemičitý (červený kal). Tento kal je znovu promýván vodou, zahušťován a filtrován. Následně se znovu vrací do oběhu. [16]

Pročištěný a přefiltrovaný hlinitanový roztok následně putuje do rozkladových nádrží, kde dochází k precipitaci. Vlivem očkovačla (krystalové zárodky hydroxidu hlinitého) a neustálého míchání dochází ke zpětné reakci (3-1), při které vzniká čistý hydroxid hlinitý. Roztok dále míří do systémů zahušťovačů, které oddělí matečný roztok od hydroxidu hlinitého. [16]

Hydroxid je protiproudě promýván a filtrován tak, aby se oddělil jemný zkrystalovaný podíl, který je znovu použit jako očkovačlo. Zbytek krystalického hydroxidu je podroben kalcinaci (3-2). Úkolem kalcinace je vyžhání čistého hlinitého hydrátu na bezvodý oxid hlinitý. Proces je popsán rovnicí [16]:



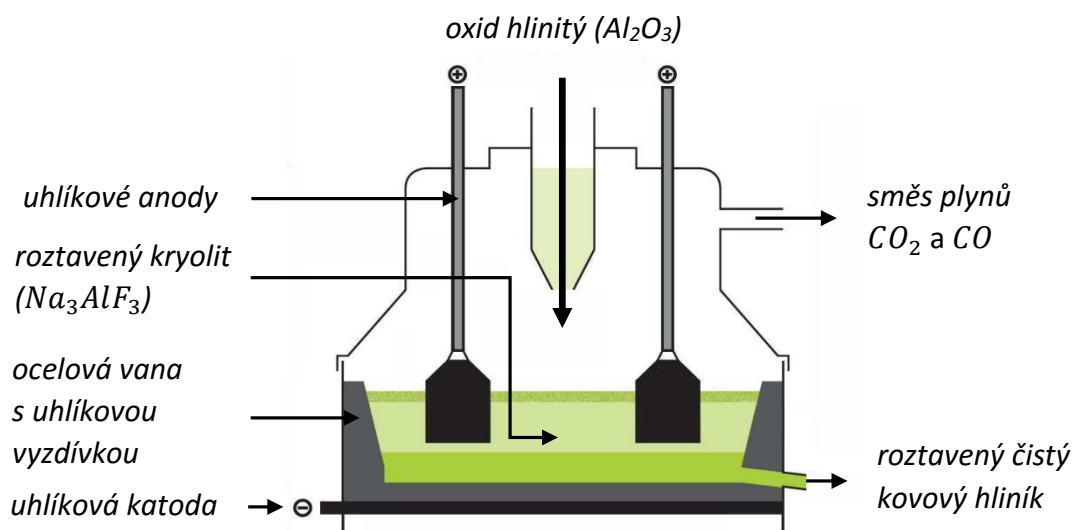
Matečný roztok je veden do odparek, kde reakcí uhličitánů s hydroxidem vápenatým vzniká soda, která je s přidaným vápnem kaustifikována (3-3) zpět na  $NaOH$ . Ten se následně vrací zpět do autoklávů. Reakce sody s vápnem je popsána rovnicí [16]:



### 3.2.2 Hall-Héroultův princip elektrolýzy

Drtivá většina primárního hliníku se dnes vyrábí Hall-Héroultovou elektrolýzou (HHPE) oxidu hlinitého v roztaveném kryolitu. Za vzniku kovového hliníku a směsi  $CO_2$  a  $CO$ . Vyrobený hliník obvykle dosahuje čistoty 99,7 až 99,9%, záleží na kvalitě oxidu hlinitého. Celý proces probíhá v elektrolyzáru (obr. 6) za teploty  $960^\circ C$ . Na 1t hliníku jsou zapotřebí zhruba 2t oxidu hlinitého. [5]

Tento princip elektrolýzy se s mírnými obměnami od roku 1886 prakticky nezměnil. Pro představu v roce 1888 Hallovi hutě vyráběly zhruba 22kg čistého hliníku denně. V roce 1890 už to bylo kolem 250kg denně. [3]



obr. 6 Schéma elektrolyzáru pro výrobu hliníku [17]

Samotný proces elektrolýzy je poměrně komplikovaný. V okamžiku vsypání oxidu hlinitého do roztaveného kryolitu následuje celá řada reakcí mezi komplexními anionty, které se tvoří disociací kryolitu, oxidu hliníku a fluoridů (přísadové prvky). Všechny tyto reakce je obvykle velmi obtížné popsat, proto se v literaturách využívají pro popis tohoto procesu obvykle pouze základní katodové a anodové reakce. První důležitou reakcí je disociace roztaveného kryolitu. Ten se rozkládá na kationty sodíku  $Na^+$ , jimiž prochází v tavenině elektrický proud a komplexní aniont  $AlF_6^{3-}$ . Disociace je popsána reakcí [16]:



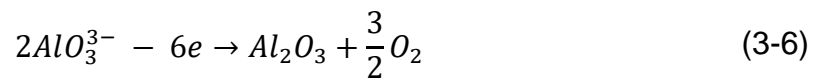
Druhou reakcí je disociace oxidu hlinitého:



Ve skutečnosti v této formě reakce neprobíhá. Oxid hlinitý reaguje s komplexními anionty kryolitu za tvorby nových vazeb, které vedou k následným dalším sekundárním reakcím. Podstata reakce (3-5) je však stejná, pouze podstatně zjednodušená. Oxid hlinitý v ní disociuje na hlinitý kationt  $Al^{3+}$  a oxohlinitý komplexní aniont  $AlO_3^{3-}$ . [16]



Z reakce (2-1) plyne, že hliník volně vystupuje jako kationt  $Al^{3+}$ . Jinými slovy potřebuje získat 3 elektrony tak, aby se stal chemicky neutrálním. V elektrolyzáru je tento kladný kationt hliníku přitahován zápornou uhlíkovou katodou. Katoda obohatí ionty hliníku o chybějící elektrony, což vede k vytvoření čistého hliníku na povrchu katody. Díky vyšší měrné hmotnosti se hliník usazuje na dně elektrolyzáru, kde je následně pravidelně odčerpáván. Slitiny se zpravidla vytváří už přímo v hutích, jako další fáze výroby. Pro pohodlnou přepravu a další zpracování se čistý hliník a jeho slitiny obvykle slévají do tzv. ingotů (obr. 7a), případně tváří do profilů (obr. 7b). [16]



Reakce (3-6) ukazuje rozpad komplexního aniontu  $AlO_3^{3-}$  na oxid hlinitý a kyslík. Ve skutečnosti je reakce opět trochu odlišná, nicméně princip je opět stejný. Uhlíková anoda přitahuje ionty kyslíku a odebírá mu přebytečné elektrony. Čistý kyslík se následně váže na uhlík z povrchu anod a vzniká směs  $CO_2$  a  $CO$ . [16]



Obr. 7 a) Slévané ingoty [18], b) Tvářené profily připravené pro další zpracování [19]

### 3.3 Rafinace hliníku

Pro odstranění nečistot hliníku se využívá tzv. rafinace. HHPE je schopen vyrobit hliník o čistotě do 99,9%. Zbytek tvoří nečistoty pocházející buď přímo z oxidu hlinitého, popřípadě v průběhu jeho elektrolýzy. Takovými nečistotami může být např. železo, křemík, zinek, hořčík, mangan, titan a další prvky. [5]

Metody jako *rafinace solemi*, *vakuová rafinace*, *filtrace* a další se využívají pro odstranění základních nečistot a dosažení požadované čistoty. Tyto metody, se využívají relativně často. Někdy je ovšem požadavek na tzv. vysokočistý hliník. Tedy hliník dosahující čistoty až 99,9999%. Mezi speciální metody výroby hliníku takovéto čistoty patří *frakční krystalizace*, *třívrstvá elektrorafinace*, *elektrolýza v organických médiích* nebo *zonální rafinace*. Z roční celosvětové produkce hliníku se rafinuje zhruba 1%. Rafinovaný hliník má tedy jen velice úzké využití a to především v elektronice, kde s takto vysokou čistotou dosahuje téměř 60% vodivosti mědi. [5]

### 3.4 Sekundární hliník

Jednou z nejdůležitějších vlastností hliníku je, že si zachovává své vlastnosti i po opětovném zpracování. Může být recyklován prakticky stále dokola, aniž by ztratil své vlastnosti nebo kvalitu. Odhaduje se, že od roku 1880 bylo vyrobeno na 1Gt hliníku, kdy neuvěřitelných 35% z tohoto množství se dnes stále ještě používá. Zhruba stejný podíl je recyklován z každoroční produkce primárního hliníku. [5]

V současné době, kdy je upřena zvýšená pozornost na produkci oxidu uhličitého, je recyklovatelnost hliníku a jeho slitin obrovskou výhodou. Výroba primárního hliníku je velice energeticky náročná, pohybuje se kolem 14 MWh na tunu hliníku. V porovnání s výrobou primárního hliníku, připadá na výrobu 1t sekundárního pouhých 5% z množství energie potřebné pro výrobu 1t primárního. Není tedy divu, že produkce recyklovatelného hliníku, se rok od roku zvyšuje. Nepředpokládá se, že by se měl tento podíl v budoucnu snižovat. [5]

Technologie výroby sekundárního hliníku závisí především na typu vstupních surovin a druhu aplikace nově recyklovatelného hliníku. Prvním krokem je úprava hliníkového šrotu (obr. 8), jako je drcení, třídění, rozduřování atd.. Takto zpracovaný hliník míří do tavicích agregátů, kde se šrot taví pod vrstvou tavidel tak, aby se zamezilo oxidaci a naplynění taveniny. Pro odstranění nerozpustných sloučenin (vměstků) případně odplynění taveniny se využívá filtrace, popřípadě rafinace. Vyčištěný hliník je následně znovu připraven pro další zpracování. [5]



Obr. 8 Hliníkový šrot [20]

## 4. Slitiny hliníku

### 4.1 Legující prvky

Slitiny hliníku charakterizují tyto složky:

**Základní prvek** - Určuje druh slitiny. V tomto případě se jedná o *hliník*. Ten je zastoupen ve většinovém množství.

**Hlavní přísadový prvek** - Určuje základní vlastnosti a typ slitiny. Vyskytují se v druhém nejvyšším zastoupení hned po základním prvku. Tyto prvky se však mohou u jiných typů hliníkových slitin zároveň vyskytovat i jako vedlejší přísadové prvky. Hlavními legujícími prvky hliníku jsou [8]:

- **Měď (Cu)** - Patří k nejběžnějším přesahovým prvkům. Ve slitinách tvoří s hliníkem tvrdé intermetalické fáze  $CuAl_2$ , které zvyšují tvrdost a pevnost. Naopak snižují odolnost vůči korozi a tažnost. Měď výrazně zlepšuje obrobitelnost a umožňuje tepelné zpracování vytvrzováním.
- **Mangan (Mn)** - Obvykle je zastoupen v nižším obsahovém množství. Nikterak nesnižuje odolnost vůči korozi. Netvoří žádné fáze, často kompenzuje nepříznivý vliv železa.
- **Křemík (Si)** - Zvyšuje slévárenské vlastnosti. Pevnost a tvrdost jeho slitin je spíše střední, lze navýšit vhodnou modifikací legujících prvků.
- **Hořčík (Mg)** - Stejně jako měď umožňuje tepelné zpracování vytvrzováním. V přítomnosti mědi tvoří intermetalické fáze  $Al_2CuMg$ , kdy dochází k zvýšení tvrdosti a pevnosti. V opačném případě tvoří fáze se zinkem nebo křemíkem. Oproti mědi však nikterak nesnižuje odolnost vůči korozi.
- **Zinek (Zn)** - Spolu s hořčíkem tvoří velice tvrdé fáze  $MgZn_2$ , které zvyšují pevnost a tvrdost. Zinek zlepšuje obrobitelnost, nepatrně snižuje odolnost vůči korozi.

**Vedlejší přísadové prvky** - Zpravidla jsou to prvky, které pomáhají zlepšit vlastnosti svých slitin. Umožňují slitinám tepelné zpracování, popřípadě se zbavovat doprovodných prvků. Drtivá většina slitin obsahuje jeden či více vedlejších přísadových prvků. Mezi ty nejdůležitější patří [8]:

- **Nikl (Ni)** - Nikl se především využívá jako přísada pro vysoce namáhané slitiny za vyšších teplot, kde pomáhá stabilizovat jejich mechanické vlastnosti. Jeho slévateľnost a odolnost vůči korozi je spíše nižší.
- **Titan (Ti)** - Zvyšuje tvrdost a pevnost fázemi  $Al_3Ti$ . Využívá se především pro zjemnění zrn.

**Doprovodné prvky** - Obvykle jsou v slitině ve formě nečistot, které se do taveniny dostaly během výroby. Buď jako stopové prvky z vyzdívky nebo jako přetavovaný šrot. Zpravidla zhoršují mechanické, chemické i technologické vlastnosti slitin. U některých slitin se však doprovodné prvky záměrně přidávají. Mezi tyto prvky patří např. železo, vápník, olovo, kadmium, vizmut. [8]



## 4.2 Základní rozdělení slitin hliníku

Jestliže hlavní přísadové prvky určují typ a základní vlastnosti slitin, lze s jejich využitím popsat také základní rozdělení těchto slitin. Z pohledu jednotlivých **hlavních přísadových prvků** lze slitiny rozdělit následovně [8]:

- |                        |             |                           |             |
|------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| ▪ slitiny <i>Al-Cu</i> | (řada 2000) | ▪ slitiny <i>Al-Mg</i>    | (řada 5000) |
| ▪ slitiny <i>Al-Mn</i> | (řada 3000) | ▪ slitiny <i>Al-Mg-Si</i> | (řada 6000) |
| ▪ slitiny <i>Al-Si</i> | (řada 4000) | ▪ slitiny <i>Al-Zn</i>    | (řada 7000) |

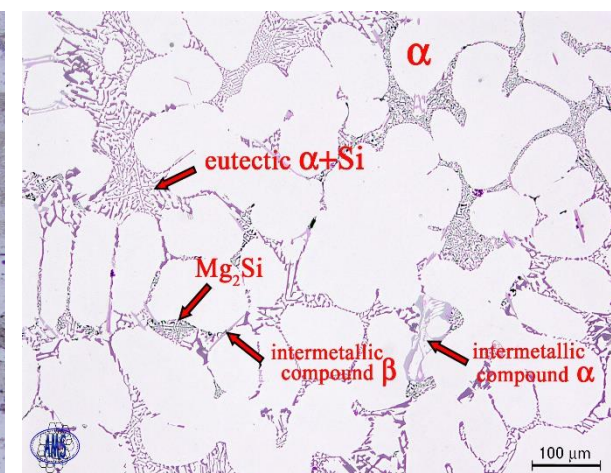
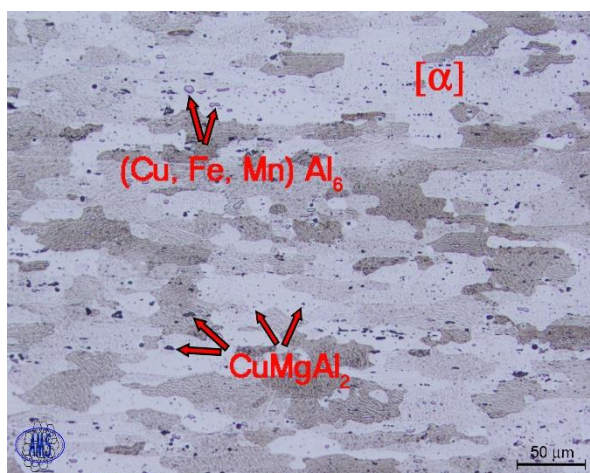
V praxi se můžeme setkat také se slitinami řady 8000. Tato řada, na rozdíl od ostatních, nemá pevně definované hlavní přísadové prvky. Řadí se sem jen velice specifické slitiny např. na bázi *Al – Li*.

Z pohledu **vlastností** se slitiny hliníku obecně dělí do dvou skupin [8]:

- **ke tváření** - (nizkopevnostní, vysokopevnostní)
- **na odlitky** - (podeutektické, eutektické, nadeutektické)

Mezi nizkopevnostní se obvykle řadí *Al – Mn* a *Al – Mg*, nelze je zpravidla vytvrzovat, mají však vysokou odolnost vůči korozi. Vysokopevnostní *Al – Zn*, *Al – Mg – Si* nebo *Al – Cu* dosahují vytvrzením nejvyšších pevností. Odolnost vůči korozi je však snížena. Siluminy *Al – Si* mají pevnost zpravidla do 250 MPa. Lepší odolnost vůči korozi oproti tvářeným slitinám a výborné slévárenské vlastnosti. [8]

Základní rozdíl mezi slitinami pro tváření a na odlitky je viditelný ze struktur na obr. 9 a 10. Duralová slitina vlevo má jasně viditelnou homogenní strukturu s binárním eutektikem. Tato struktura vzniká za podmínky, je-li obsah přísadového prvku nižší než je jeho maximální rozpustnost ( $4 < 5,7\%$  Cu) v tuhém roztoku ( $\alpha$ ). Intermetalické fáze ( $(Cu, Fe, Mn)Al_6$ ) kompenzují nepříznivý vliv železa.  $CuMgAl_2$  fáze zvyšují pevnost slitiny následkem vytvrzení. Naopak slévárenská slitina vpravo, má heterogenní strukturu. Vzniká tehdy, je-li množství přísadového prvku vyšší než je jeho maximální rozpustnost ( $9 > 1,65\%$  Si) v tuhém roztoku ( $\alpha$ ). Fáze  $Mg_2Si$ , zvyšují pevnost vlivem vytvrzení, eutektikum naopak zvyšuje slévatelnost. [8]



obr. 9 Slitina ke tváření ( $AlCu_4Mg_1Mn$ )[21]    obr. 10 Slévárenská slitina ( $AlSi_9Mg$ )[21]

### 4.3 Přehled jednotlivých řad slitin hliníku

V současné době se v technické praxi vyskytuje celkem 8 normalizovaných řad hliníku a jeho slitin. Základní typy slitin jednotlivých řad, stejně tak jako princip značení, jsou uvedeny v příloze *Označování hliníku a jeho slitin podle norem ČSN EN*.

Řada 1000 reprezentuje chemicky čistý hliník s čistotou 99,0% a vyšší. Je charakteristický především výbornou tvářitelností a odolností vůči korozi. Naopak jeho mechanické vlastnosti jsou nízké. Drtivá většina čistého hliníku je použita pro hutní průmysl. V praxi se s čistým hliníkem můžeme setkat v elektrotechnickém nebo potravinářském průmyslu. Často se hliník, díky své vysoké odolnosti vůči korozi, využívá pro plátování slitin  $Al - Cu$ . Během vytvrzování je náchylnost těchto slitin ke korozi zvýšena, proto se překrývají folií z čistého hliníku, nebo slitinami  $Al - Mn$ . [22]

#### 4.3.1 Řada 2000 (Al-Cu)

Slitiny  $Al - Cu$  patří k nejrozšířenějším slitinám hliníku. Do této skupiny spadají také nejznámější hliníkové slitiny nazývané „*duraly*“ ( $Al - Cu - Mg$ ). Maximální rozpustnost mědi je 5,7% za eutektické teploty 548°C. S klesající teplotou se rozpustnost snižuje až na 0,1%. Struktura těchto slitin je zpravidla homogenní, jelikož obsah mědi obvykle nepřekročí maximální rozpustnost. Struktura je tedy tvořena tuhými fázemi  $\alpha(Al)$  a intermetalickými fázemi  $CuAl_2$ , které vznikají z přesyceného tuhého roztoku  $\alpha(Al)$ . Měď zaručuje dobrou obrobitelnost těchto slitin. [8]

Mezi nejčastější vedlejší přísadové prvky patří hořčík s obsahem kolem 0,2-1,8%. Spolu s mědí a hliníkem vytváří intermetalické fáze  $MgCuAl_2$ , které podstatně zvyšují pevnost až na 450 MPa, tvrdost na 125 HB. Pro zachování pevnostních vlastností i za vyšších teplot se využívá přísada niklu (2%). Titan (0,3%) zvyšuje pevnost a zjemňuje strukturu. [16]

Částečná rozpustnost umožňuje tepelné zpracování vytvrzením. Pokud je požadavek na vysokou pevnost a tvrdost, volí se tzv. vytvrzování za studena. Takto zpracované slitiny dosahují mechanických vlastností jako nelegované nízkouhlíkové oceli. Vytvrzování za tepla se naopak volí zejména pro zvýšení tažnosti, která se pohybuje zhruba pod 20%. [22]

Korozní odolnost není u těchto slitin příliš vysoká, zvláště jsou náchylné k tzv. mezikrystalické korozi. Tyto vlastnosti jsou částečně zlepšeny manganem (0,5%), který zároveň slouží pro negaci nečistot ve formě železa nebo olova. Svařitelnost je s výjimkami spíše omezena. Slévárenské vlastnosti jsou u slitin  $Al - Cu$  horší. Tyto vlastnosti se z části zlepšují přidávkem křemíku. V současné době se slitiny  $Al - Cu - Si$  obvykle nahrazují už přímo modifikovanými slitinami  $Al - Si$ . [8]

Slitiny této skupiny jsou využívány především jako konstrukční materiál, kde je požadavek na udržení vysoké pevnosti při pracovních teplotách až do 150°C. Při vyšších teplotách hrozí ztráta těchto mechanických vlastností. Svě uplatnění mají především v automobilním průmyslu. [22]

### 4.3.2 Řada 3000 (Al-Mn)

Slitiny *Al – Mn* mají za hlavní přísadový prvek zvolen mangan. Jeho maximální rozpustnost se pohybuje kolem 1,5% za eutektické teploty 645°C. Vzhledem k takto malé rozpustnosti je většina těchto slitin jen velmi špatně vytvrditelná. Jejich pevnost je zpravidla nižší oproti jiným slitinám hliníku. Zvýšení pevnosti je možné přidáním hořčíku nebo tvářením za studena, kde následně pevnost dosahuje až 250 MPa. Oproti čistému hliníku je pevnost a tvrdost těchto slitin zhruba dvojnásobná. Spolu s ním však disponují vysokou odolností vůči korozi a dobrou svařitelností. [8]

Obecně lze slitiny *Al – Mn* použít tam, kde není potřeba vysokých pevností. Využívá se především pro chemický, potravinářský a dopravní průmysl. [22]

### 4.3.3 Řada 4000 (Al-Si)

Slitiny *Al – Si* jsou hlavními zástupci slévárenských slitin hliníku. Většina těchto normalizovaných slitin má vyšší obsah křemíku, než je jeho maximální rozpustnost (1,65%) za teploty 577°C. Hliník s křemíkem netvoří chemické vazby během ochlazování z přesyceného tuhého roztoku jako je tomu například u slitin *Al – Cu* (fáze  $CuAl_2$ ). Tyto slitiny obsahují zpravidla více přísadového prvku, než jsou schopny rozpustit. Vznikají tak samostatné krystaly eutektika a tuhé fáze. [8]

Tyto slitiny obecně disponují výbornými slévárenskými vlastnostmi, především díky křemíku, který zmenšuje bod tání, aniž by zvýšil křehkost. Zvětšuje během tuhnutí svůj objem a tím zamezuje stahování hliníkové matrice. Tyto vlastnosti mohou být ještě posíleny očkovaním (snížení teploty tuhnutí, zvýšení rychlosti nukleace). Slévárenské vlastnosti obvykle rostou až do eutektického obsahu. Mechanické vlastnosti včetně obrobitelnosti jsou střední, odolnosti vůči korozi a svařitelnost je spíše vyšší. Vhodnými modifikacemi se tyto vlastnosti zlepšují. [8]

Slitiny *Al – Si – Cu* jsou nejrozšířenější slévárenské slitiny hliníku. Obsah mědi se pohybuje kolem 1-5%, v závislosti na konkrétní aplikaci slitiny. Měď podstatně zvyšuje obrobitelnost a pevnost (za rychlého ochlazení je slitina vystavena samovolnému vytvrzování). Odolnost vůči korozi je však snížena. [16]

Dalším příkladem typických slévárenských slitin jsou slitiny *Al – Si – Mg*. Obsah hořčíku se pohybuje kolem 0,25-0,45%, kde hořčík stejně jako měď umožňuje vytvrzení (fáze  $Mg_2Si$ ). Slitiny tak získávají vyšší pevnost (250-300 MPa). Obvykle se však nevytvřují. [16]

Tažnost, stejně tak jako odolnost vůči korozi a svařitelnost je vyšší než u *Al – Si – Cu*. Často se také jako přísadový prvek využívá titan (0,1-0,2%) pro zjemnění struktury. Nikl (do 2%) pro zachování mechanických vlastností i během vyšších pracovních teplot. Vzhledem ke svým vynikajícím slévárenským vlastnostem jsou siluminy využívány především pro odlitky. Nejvíce se využívají podeutektické siluminy, které jsou určeny pro rozměrnější odlitky. *Al – Si – Cu*, *Al – Si – Mg* se využívají převážně v automobilovém průmyslu. Slitiny *Al – Si – Cu – Mg – Ni* se používají pro vysoce namáhané díly za zvýšených pracovních teplot. [16]

#### 4.3.4 Řada 5000 (Al-Mg)

U slitin  $Al - Mg$  dosahuje maximální rozpustnost hořčíku 17,4% za eutektické teploty 449°C. Struktura je tvořena tuhou fází  $\alpha(Al)$  a eutektikem, složené z intermetalických fází  $Al_8Mg_5$ . Slitiny tedy mají možnost být vytvrzeny za účelem zvýšení mechanických vlastností. Nicméně vlivem vzniklé heterogenní struktury by se podstatně snížila odolnost vůči korozi. Pro zvýšení pevnosti se tedy spíše využívá tváření za studena. Přesto se slitiny  $Al - Mg$  řadí mezi nízkopevnostní. Tvářecí vlastnosti stejně tak svařitelnost těchto slitin je vyšší. [16]

Slévárenské vlastnosti těchto slitin nejsou nikterak dobré. Ani modifikací s křemíkem (0,5-2,5%) se tyto vlastnosti příliš nezlepšují. Částečně jdou zlepšit beryliem, které zamezuje oxidaci hořčíku. Nejsilnější vlastností těchto slitin je odolnost vůči korozi, zvláště v alkalickém prostředí a mořské vodě. [8]

Ačkoliv pevnost těchto slitin není nikterak vysoká, často se využívají jako konstrukční materiál v lodním nebo automobilovém průmyslu. V potravinářském průmyslu jsou využívány především jako obalový materiál. [22]

#### 4.3.5 Řada 6000 (Al-Mg-Si)

Slitiny  $Al - Mg - Si$  jsou slitiny vlastnostmi podobné slitinám  $Al - Cu - Mg$ . Obsah hořčíku se pohybuje kolem 0,5 až 1%, obsah křemíku od 0,4 do 1%. Jelikož se křemík neváže na hliník, vytváří tvrdé intermetalické fáze  $Mg_2Si$  s hořčíkem, které po sérii vytvrzení a tváření jsou schopny dosahovat pevnosti až 400 MPa. Svařitelnost, odolnost vůči korozi a obrobitelnost těchto slitin je vyšší. Další zpevnění lze docílit také modifikací s mědí (0,4%), zvyšuje se obrobitelnost, naopak klesá odolnost vůči korozi. Dalšími přísadovými prvky mohou být např. mangan nebo chrom. [16]

Uplatnění  $Al - Mg - Si$  slitin je obdobné jako u  $Al - Mg$ , nicméně se zvýšenými mechanickými a tvářecími vlastnostmi mohou být použity pro více namáhané součásti. Často se také využívají v cyklistickém průmyslu. [22]

#### 4.3.6 Řada 7000 (Al-Zn)

Celý eutektický systém slitiny  $Al - Zn$  je relativně složitý a je podrobně sledován už řadu let. Jedním důvodem je superplasticita těchto slitin (tažnost více než 2000%) v oblastech mezi eutektickou a eutektoidní teplotou, při vyšším obsahu zinku. Druhým důvodem je vznik oblastí nemísitelnosti dvou tuhých roztoků  $\alpha(Al)$  a  $\alpha'(Al)$  při koncentraci od 16,5% do 60%Zn za eutektoidní teploty 277°C. [23]

U slitin používaných v technické praxi obvykle množství zinku nepřekročí 7%. Modifikací hořčíkem (do 1%) se umožňuje vytvrzování a vznik intermetalických fází  $MgZn_2$  a sekundárních fází  $Al_2Zn_3Mg_3$ . Vytvrzování probíhá samovolně za studena, kde pevnost dosahuje 250 MPa a tvrdost 70 HB. Technologické vlastnosti jako rozměrová stabilita a obrobitelnost jsou vynikající. Odolnost vůči korozi je vyšší. Pod napětím ovšem tato odolnost zpravidla klesá, stejně jako pevnost při vyšší teplotě.

Slévárenské vlastnosti jsou spíše špatné (velký sklon k praskání za tepla). Dalším legujícím prvkem může být např. křemík, který má tendenci se vázat pouze na hořčík a tvořit s ním tvrdé intermetalické fáze  $Mg_2Si$ . Měď zvyšuje pevnost a tvrdost slitiny pomocí  $Al_4Cu_3Zn$  fází. Slitina pak může dosahovat pevnosti 350-400 MPa, odolnost vůči korozi však klesá. [8]

Obecně platí předpoklad, že vhodnou kombinací legur se dá u této řady slitin docílit vlastností, převyšující vlastnosti konstrukčních ocelí. Příkladem je nedávno vyrobená slitina na bázi  $Al - Zn - Cu$  dosahující pevnosti až 780 MPa. [24]

Dnes jsou tyto slitiny hojně využívány např. v leteckém nebo automobilním průmyslu. Díky možnosti dosažení kvalitní povrchové úpravy (eloxováním) se využívají také pro konstrukci mobilních zařízení a jejich příslušenství. [22]

#### **4.3.7 Řada 8000 (různé prvky)**

Řada 8000 nemá pevně definovaný hlavní přísadový prvek. Řadí se sem slitiny vytvořené pro specifická použití. Mezi nejznámější představitele patří především slitiny na bázi  $Al - Li$ . Maximální rozpustnost lithia je 4,2% při teplotě 596°C. Každé 1% lithia obsažené v slitině snižuje celkovou hmotnost slitiny až o 3%. Modul pružnosti v tahu zvyšuje o 5%. [5]

Lithium je tedy součástí velice specifických konstrukčních slitin, kterým zásadním způsobem snižuje hmotnost a zároveň posiluje jejich konstrukční vlastnosti. Další legující prvky jako měď nebo hořčík, pomáhají stabilizovat strukturu a docílit vysoké pevnosti přesahující 700MPa. Uplatnění nachází především v leteckém nebo kosmickém průmyslu. [24]



## 5. Tepelné zpracování slitin hliníku

Hlavním důvodem tepelného zpracování je zvýšení mechanických vlastností, snížení vnitřního pnutí a změna struktury slitin hliníku. Často se také využívá k zlepšení technologických vlastností, případně změně korozní odolnosti. Tepelné zpracování se využívá převážně u slitin ke tváření. Odlitky se obvykle tepelně nezpracovávají, případně jen zcela výjimečně. Tepelná úprava je také výrazně závislá na chemickém složení a struktuře slitiny (schopnost vytvrzení či nikoliv). Stejně tak teplotní tolerance během tepelného zpracování musí být striktně dodržována v relativně úzkém rozmezí teplot, tak aby nedošlo k znehodnocení vlastností tvářené slitiny. Proto se pro tepelné zpracování využívá peci s přesnou teplotní regulací a rovnoměrným rozložením teploty po celém objemu pece. [5]

Nejrozšířenější metodou tepelného zpracování slitin hliníku je *vytvrzování*. Jeho cílem je zpětné rozpuštění intermetalických fází do tuhého roztoku  $\alpha(Al)$  a následné vyloučení těchto fází do struktury, jako koherentní nebo semi-koherentní útvary, které způsobí zpevnění slitiny. Celý tento proces se skládá z několika částí [8]:

- **rozpuštěcí žihání** – získání homogenního tuhého roztoku  $\alpha(Al)$
- **rychlé ochlazení** – získání přesyceného tuhého roztoku  $\alpha(Al)$
- **precipitační vytvrzování** – dochází ke vzniku precipitátu a zpevnění struktury

Dalším tepelným zpracováním je *žihání*. Žihání jako takové se využívá především pro snížení vnitřního pnutí, rekrystalizaci a stabilizaci struktury nebo homogenizaci. [8]

### 5.1 Vytvrzování

Podstatou vytvrzení je docílit zvýšení pevnosti a tvrdosti slitiny. Tažnost se zpravidla vlivem tohoto tepelného zpracování poněkud snižuje. Základní podmínkou vytvrzování je, aby přísadový prvek měl dostatečně výraznou změnu rozpustnosti v tuhém roztoku  $\alpha(Al)$ . Obsah přísadových prvků musí být zpravidla nižší než je jejich maximální rozpustnost při eutektické teplotě, ale zároveň vyšší než jejich rozpustnost za normální teploty. Mezi základní vytvrzitelné přísadové prvky patří měď, hořčík, nikl a zinek. [8]

#### **Rozpuštěcí žihání**

Na začátku je slitina s homogenní strukturou tvořena tuhým roztokem a intermetalickými fázemi. To jsou takové fáze, které jsou tvořeny tuhými fázemi  $\alpha(Al)$  a přísadovým prvkem. U slitin  $Al - Cu$  je to  $CuAl_2$ , v případě slitin  $Al - Zn - Mg$  je to  $MgZn_2$  a u slitin  $Al - Mg - Si$  je to  $Mg_2Si$ . Tyto fáze mají vlastní strukturu, jsou také hrubé a velice tvrdé. Vůči struktuře tuhého roztoku jsou však nekoherentní. Slitina v tomto stavu je tvárná, nicméně její tvrdost a pevnost je nízká. Pro změnu koherentnosti je potřeba slitinu zahřát na požadovanou teplotu, aby došlo k překročení křivky změny rozpustnosti. Pokud teplota tuto křivku překročí, začínají se intermetalické fáze rozpouštět do tuhého roztoku  $\alpha(Al)$ . [8]

Výška teploty je obvykle velice specifická vzhledem k typu slitiny. Pokud je množství přísadového prvku blízko své maximální rozpustnosti, teplota se volí co nejbližší té eutektické. Pokud je však teplota příliš vysoká, může dojít k natavení slitiny na hranicích zrn a znehodnocení tepelné úpravy. Naopak jestliže slitiny obsahují menší množství přísadového prvku, vlivem nižší teploty může dojít k nedokonalému rozpuštění intermetalických fází. Rozpouštěcí teplota se tedy obvykle pohybuje kolem 10-15°C pod eutektickou teplotou s přesností  $\pm 5^\circ\text{C}$ . [8]

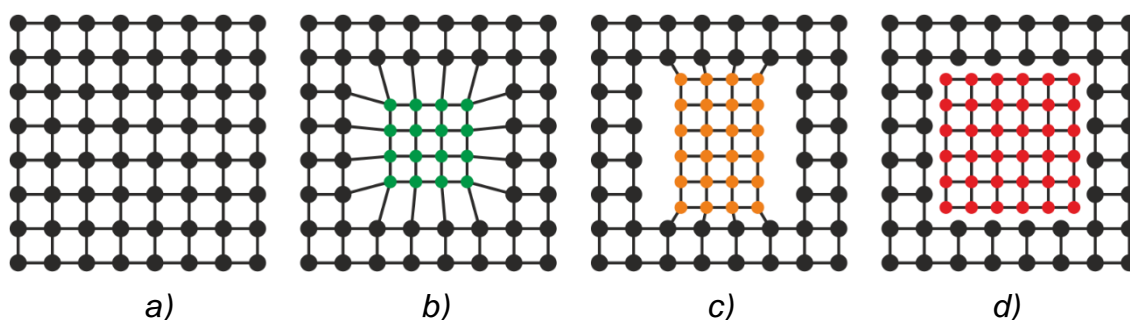
Doba nasycení tuhého roztoku  $\alpha(\text{Al})$  je přímo závislá na druhu slitiny. Musí být však dostatečně dlouhá na to, aby došlo k úplnému nasycení roztoku intermetalickými fázemi. Pokud je však doba nasycení příliš dlouhá, může dojít k hrubnutí zrn. [8]

### **Rychlé ochlazení**

Rychlost ochlazení je kritickou částí procesu vytvrzování. V okamžiku kdy je tuhý roztok  $\alpha(\text{Al})$  plně nasycen přísadovým prvkem, dochází k rychlému ochlazení např. do studené vody. Doba ochlazení (obvykle do 10s) musí být co nejkratší, aby se zamezilo vyloučení intermetalické fáze. Pokud by rychlost ochlazení nebyla dostatečně rychlá, může dojít znovu k vytvoření nekoherentních fází, které by vlastnosti slitiny vrátili zpět na začátek. V případě rozměrnějších součástí může docházet k varu vody. Vznikající bublinky snižují efektivitu chlazení, proto se doporučuje ochlazovat proudící vodou. Cílem je tedy vytvořit strukturu tvořenou přesyceným tuhým roztokem  $\alpha(\text{Al})$ . Slitina je následně velmi měkká a tvárná, může zde docházet k vzniku napěťových prasklin. [8]

### **Precipitační vytvrzování**

Precipitační vytvrzování, také často označované jako řízené stárnutí, je poslední částí vytvrzování. Během tohoto procesu dochází k postupnému rozpadu přesyceného tuhého roztoku  $\alpha(\text{Al})$ , za vzniku už koherentních intermetalických fází ve formě GP zón viz obr. 11b. Tyto precipitáty se tvoří v místech vyšší koncentrace krystalů přísadového prvku. Koherentní precipitáty jsou už součástí krystalické mřížky tuhého roztoku (obr. 11a), mřížku poněkud deformují a vyvolávají tím vnitřní pnutí, které vede k zvýšení pevnosti a tvrdosti slitiny. Hodnota tažnosti je vlivem deformace mřížky snížena. S rostoucí dobou vytvrzování se precipitáty shlukují a jejich počet se snižuje. Pokud doba vytvrzování dále roste, precipitát se stává tzv. semi-koherentní vůči tuhému roztoku. Tento stav můžeme vidět na obr. 11c. Precipitát přestává být krystalicky propojen se strukturou tuhého roztoku, nicméně vliv tohoto stavu na zvýšení pevnosti a tvrdosti slitiny je stále ještě pozitivní. [8]



Obr. 11 a) tuhý roztok, b) koherentní precipitát, c) semi-koherentní precipitát, d) nekoherentní precipitát [8]

Při překročení semi-koherentního stavu však dochází k postupné ztrátě koherence, která končí úplným oddělením precipitátu od tuhého roztoku. Tento nekoherentní stav (obr. 11d) se často nazývá *přestárnutí*. Slitina postupně ztrácí získanou pevnost a tvrdost, naopak tažnost se postupně zvyšuje. [8]

Některé vytvrzovací prvky mají tendenci vlivem pohyblivosti svých atomů tvořit precipitáty i za normální teploty. Jedná se o tzv. samovolné vytvrzování. S tímto vytvrzováním se lze setkat např. u slitin  $Al - Cu$  nebo  $Al - Zn - Mg$ , kde je primární důvod vytvrzení zvýšení pevnosti slitiny. Vytvrzování probíhá v řádu několika dní. [8]

U slitin  $Al - Mg - Si$  a části slitin  $Al - Cu, Al - Zn - Mg$ , se využívá vytvrzování za zvýšené teploty (umělé). Doba vytvrzování je zpravidla v řádu hodin. Pevnost se vzrůstající dobou vytvrzování začíná strmě klesat, tažnost naopak vzrůstá. Ojediněle se také u umělého vytvrzení slitin může vyskytnout tzv. účelné přestárnutí. Jeho cílem je zvýšení tažnosti a zachování částečně zvýšené pevnosti. Důležité typy tepelného zpracování jsou uvedeny v příloze *Označování tepelného stavu slitin hliníku*. [8]

## 5.2 Žihání

Žihání není příliš častým tepelným zpracováním slitin hliníku. Nejčastěji se však využívá tzv. *homogenizační žihání*, které je součástí vytvrzovacího procesu. Samostatně se využívá jen výjimečně. Cílem je dosáhnout úplné rozpustnosti přísadového prvku a docílit tak homogenní struktury nasycením přísadového prvku. Blíže je toto žihání popsáno v kapitole 5.1 *Vytvrzování* v podtitulu *Rozpouštěcí žihání*.

V praxi se nicméně můžeme setkat ještě s několika dalšími typy žihání. Jedním takovým je např. *žihání ke snížení vnitřního pnutí*. Tento typ žihání se obvykle využívá u tvarově složitějších odlitků, dílců tvářených za tepla nebo u svarů, kde dochází k nestejnomyšlnému ochlazení. K snížení tohoto vnitřního pnutí dochází žiháním při teplotě kolem 200-250°C po dobu 6-8 hod, s následným pomalým ochlazením v peci nebo na vzduchu. Pro vyšší účinnost probíhá žihání i za teplot 250-400°C. Zde ovšem může docházet k poklesu pevnosti slitiny. [8]

Používá-li se součást během vyšších provozních teplot, případně dochází-li k častému výkyvu teplot, využívá se pro stabilizaci rozměrů případně vlastností slitiny tzv. *žihání stabilizační*. Žihací teplota se zpravidla volí vyšší než je teplota pracovní, kolem 250-350°C s následným ochlazením na vzduchu. [8]

Pro odstranění předchozího tepelného zpracování jako je např. vytvrzení, se využívá tzv. *žihání rekrytalizační*. Teplota žihání je v rozmezí 350-450°C. Ochlazení je pomalejší, nejprve probíhá v pecích při teplotě 200°C a následně na vzduchu. [8]

## 6. Povrchové úpravy hliníku a jeho slitin

### 6.1 Anodická oxidace hliníku

Anodická oxidace hliníku, v praxi také známá jako eloxování, je nejrozšířenější povrchovou úpravou hliníku a jeho slitin. Hliník díky své vysoké reaktivitě vytváří na svém povrchu přírodní oxidickou vrstvu, které chrání materiál před další korozi. Tato oxidická vrstva je velmi slabá a vzniká téměř okamžitě na povrchu čistého hliníku. Vrstva má tloušťku kolem 0,001  $\mu\text{m}$ , v řádu měsíců už může dosahovat tloušťky 0,1 až 0,5  $\mu\text{m}$ . [5]

Eloxace není tedy nic jiného než zesílení oxidační vrstvy na povrchu hliníku. Tloušťka vrstvy se pohybuje od 0,3 do 200  $\mu\text{m}$ . Takto eloxovaný povrch je stálý, tvrdý a nevodivý. Zvyšuje odolnost vůči korozi a mechanickému poškození. Eloxovaná vrstva je také dobře barvitelná (obr. 20). Hliník lze tedy velmi dobře využívat pro dekorativní účely. Vrstva může být při opětovném zpracování hliníku bez problému odstraněna. [5]

Metod výroby eloxace je mnoho, v současnosti se však nejvíce využívá GS metoda. Jako elektrolyt slouží kyselina sírová ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). K vytvoření kvalitní oxidační vrstvy je nejdříve zapotřebí součást odmastit a namořit. Následně je připojena na kladný pól stejnosměrného zdroje a ponořena do elektrolytu. Zavedením stejnosměrného napětí mezi anodou (součástí) a katodou, dochází k přenesení iontů kyslíku k anodě, za vzniku oxidu hlinitého. Tato tenká porézní vrstva se vzrůstající dobou eloxace začíná prorůstat do povrchu součásti. Nicméně vzhledem k vzniklé pórovité struktuře, nemá tato vrstva příliš dobrou odolnost vůči korozi. Zároveň se relativně rychle znečišťuje absorpcí nečistot z okolního prostředí. Proto je zapotřebí jednotlivé póry ve vrstvě uzavřít. Toho se docílí okamžitým vložením eloxované součásti do vroucí vody. Část oxidu hlinitého ve vrstvě se přemění na hydroxid hlinitý, který zvětší svůj objem a tím uzavře póry v eloxované vrstvě. [22]

Metoda se stala široce využívanou především díky nižší spotřebě energie, nízkému pracovnímu napětí, cenově dostupnějším chemikáliím a vysoké provozní spolehlivosti. Vhodné slitiny pro eloxování jsou kromě čistého hliníku a slitin  $\text{Al} - \text{Cu}$  téměř všechny ostatní. [5]



Obr. 12 Eloxovaná vrstva nabízí mnoho barevných variací. [25]

## 7. Aplikovatelnost hliníku a jeho slitin

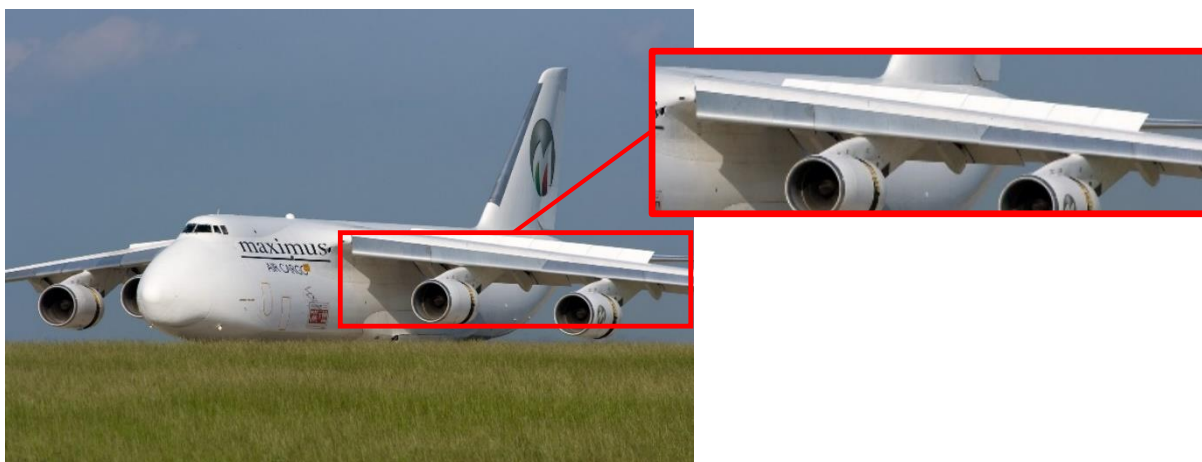
### 7.1 Aplikovatelnost v dopravě

Dopravní průmysl je s 27% největším spotřebitelem hliníku na světě. Jako konstrukční materiál je součástí všech typů dopravních prostředků od jízdních kol po raketoplány. Výhody pramenící z jeho použití pro konkrétní oblasti dopravy jsou obrovské, proto jeho podíl v dopravě v několika nadcházejících letech pravděpodobně poroste. [26]

#### 7.1.1 Letecká doprava

V současné době hliník tvoří až 80% moderního letadla. Poprvé byly hliníkové profily použity pro stavbu vzducholodě Ferdinanda Zeppelina v roce 1897. Později v roce 1903 bratři Wrightové postavily první ovladatelné letadlo Flyer-1. Pro pohon byl použit motor z automobilu, který měl ovšem malý výkon a byl příliš těžký. Motor byl tedy upraven, vyrobením válcové hlavy ze slitiny  $Al - Cu - Mg$ . V roce 1917 je z této slitiny postaveno také první celokovové letadlo, německým leteckým inženýrem Hugem Junkersem. Letadla „Junkers“ v podstatě definovala myšlenku dnešních moderních letadel. Tedy postavit letadlo co nejlehčí, s maximální možnou přepravní kapacitou, s co nejmenší spotřebou paliva a hlavně odolné vůči korozi. Hliníkové slitiny splňují všechny tyto předpoklady, proto se dnes využívají prakticky po celém letadle jako je: trup, obložení, křídla, směrovky, zavěšení motorů, palivové nádrže, vedení, trysky, dveře, podlahy, rámy sedadel a mnohé další. Základní hliníkové slitiny využívané se v leteckém průmyslu jsou: *EN AW-2XXX*, *EN AW-3XXX*, *EN AW-6XXX*, *EN AW-7XXX*. [26]

Dnešní moderní letadla jsou sestavena z plechů a výlisků, které jsou obvykle snýtovány. Některé modely letadel pro plátování využívají vylisované panely místo plechů. Důvodem je, aby se v případě trhliny poškození nerozšiřovalo až za hranici samotného plechu. [26]



Obr. 13 An-124-100 Ruslan (přední lisované panely vyrobeny z hliníku) [27]

Jedním takovým letadlem je i *An-124-100 Ruslan* (obr. 13). Ten obsahuje na každém křídle 4 takovéto vylisované panely, každý 9 metrů široký. Letadlo je schopno bezpečně přistát i s jedním poškozeným panelem. Zde se projevuje další výhoda hliníkových slitin v oblastech tzv. lokálního poškození, které je popsáno níže. [26]

V současnosti je téměř každé dopravní, nákladní i vojenské letadlo postaveno z hliníkových slitin. Nicméně do popředí v oblasti konstrukce letadel přicházejí i další nové materiály, které vlastnosti už zaběhlých hliníkových slitin posilují. Jedná se např. o výše zmíněnou řadu 8000 (slitiny  $Al - Li$ ), jejíž slitiny mají především pozitivní dopad na hmotnost. Objevují se však i úplně odlišné konstrukční materiály např. kompozity s uhlíkovými vlákny (Boeing 787 Dreamliner). [26]

V kosmickém průmyslu se využívají také velmi hojně hliníkové slitiny, a to až z 90%. Je to především díky vysoké odolnosti vůči nízkým teplotám, stejně tak jako jejich odolnosti vůči vibracím nebo radiaci. Využívají se zde velice specifické slitiny např.  $Al - Ti$ ,  $Al - Ni$ ,  $Al - Cr - Fe$ . Hliník se ve formě hliníkového prášku využívá také jako palivo pro pomocné rakety, potřebné pro dosažení oběžné dráhy. [26]

### 7.1.2 Automobilní doprava

První automobil z hliníku Durkopp, byl poprvé představen už v roce 1899 na mezinárodní výstavě v Berlíně. O pár let později v roce 1901 německý inovátor Karl Benz, představil první hliníkový motor. S motorem z hliníku např. zajel v roce 1962 Mickey Thompxon rekord na okruhu v Indianapolis 500. [26]

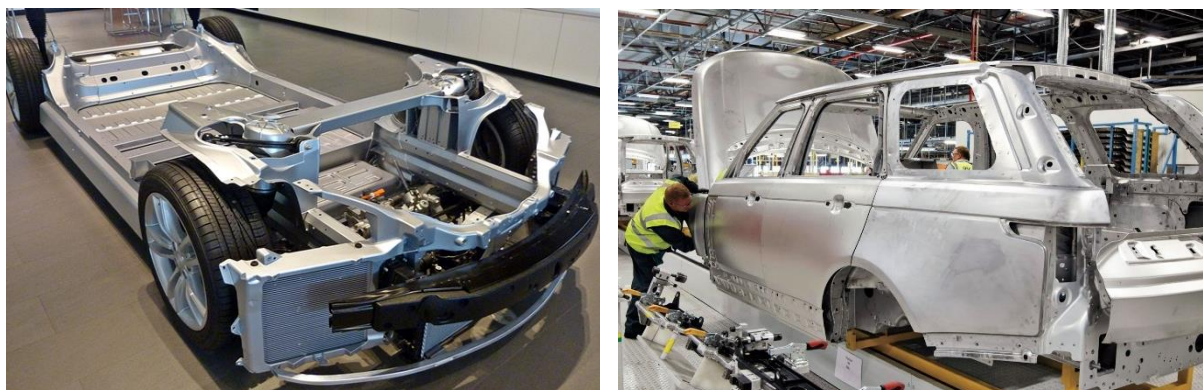
Hliník a jeho slitiny doprovází automobilový průmysl od samého počátku. Důvod je po více jak 100 letech stále stejný, a to snížení hmotnosti automobilu. Hmotnost je u automobilů klíčovou vlastností, která přímo ovlivňuje např. výkon, spotřebu, emise  $CO_2$ , vzhled, akceleraci nebo také brzdnu plochu a s ní spojenou bezpečnost. V současné době striktních regulací emisí  $CO_2$ , spotřeby paliva nebo bezpečnosti, hraje hliník významnou roli. [26]

Ačkoliv je hlavním materiálem pro výrobu automobilů stále ještě relativně levná ocel, spotřeba hliníku rok od roku roste. Jen v roce 2015 dosahovala až 3 milionů tun. Drtivá většina hliníkových dílů je vyráběna odléváním, lisováním, případně frézováním. Existují však i neobvyklejší metody výroby jako např. výroba hliníkových pístů pomocí spékání hliníkového prášku. Běžně se z hliníkových slitin vyrábí součásti jako: chladiče motoru, kola, nárazníky, zavěšení, nádrže, bloky motorů, karoserie, dveře či rámy. Základní hliníkové slitiny využívané se v automobilovém průmyslu jsou: **EN AW-1XXX**, **EN AW-2XXX**, **EN AW-4XXX**, **EN AW-5XXX**, **EN AW-6XXX**, **EN AW-7XXX**. [26]

Hliníkové slitiny oproti ocelím disponují výbornou schopností pro absorbování šoků. V okamžiku kdy dojde k nárazu automobilu, deformace hliníkové konstrukce je pouze lokální, nepřenáší se skrz celou konstrukci automobilu. Příkladem může být hliníkový podvozek u automobilu od společnosti Tesla (obr. 14a). Ten využívá vysokopevnostní slitiny  $Al - Ti$ , které jsou schopny ochránit řidiče proti betonové nebo ocelové překážce. Hliníkové díly výraznou měrou snižují i celkovou hmotnost automobilů. V roce 1970 se díky hliníkovým dílům ušetřilo na celkové hmotnosti 35kg. Dnes je tomu průměrně kolem 150kg. V současnosti už mnoho prémiových značek



jako Audi, BMW, Mercedes-Benz, Porsche, Jaguar nebo Land Rover nabízí, hliníkové verze svých automobilů. Např. poslední model Range Roveru (obr. 14b) je ve své hliníkové verzi až o 420kg lehčí, než v původní ocelové. [26]



Obr. 14 a) Tesla (podvozek z Al – Ti slitiny) [28], b) Hliníkový Range Rover [29]

### 7.1.3 Železniční doprava

Hliník byl vůbec poprvé použit v železniční dopravě jako rám pro sedadla vozů hromadné dopravy v roce 1894. Později se začíná používat pro konstrukci vagónů jako takových, kde výsledná hmotnost je téměř 3 krát lehčí než v případě ocelových vagónů. Nižší hmotnost se výrazně projevuje na množství spotřebované energie, potřebné pro řízení vlaku. Opětovné brždění a akcelerace na náročnějších trasách se tak stává efektivnější. Prakticky všechny současné rychlovlaky jako např. TGV, AGV, Sapsan nebo Shinkansen, jsou alespoň částečně vyrobeny z hliníku. Velký rozruch způsobily v roce 1931 nákladní vagóny vyrobené z hliníku. Takového vagóny výrazně snížily svou hmotnost a zároveň zvýšily množství převáženého nákladu. Vagony určené pro převoz sypkého materiálu, můžou být díky třetinové hmotnosti až 3 krát větší než ocelové. Navíc nepodléhají korozi a mají životností až 40 let. [26]



Obr. 15 a) b) Nákladní vagony společnosti HCM vyrobeny z hliníku [30]

Příkladem jsou např. v současné době používané nákladní vagóny společnosti HCM (obr. 15a, 15b). Maximální možné zatížení těchto vagónů vzrostlo z 1350t na

1850t. Díky tomu mohou v HCM snížit množství vagónů a zefektivnit tak jsou přepravu. Základní hliníkové slitiny využívající se v železničním průmyslu jsou: **EN AW-6XXX**, zajišťující dostatečnou pevnost, nízkou hmotnost a vysokou odolnost vůči korozi. [30]

#### 7.1.4 Lodní doprava

Hliník byl poprvé použit na stavbu lodě v roce 1891. Tehdy byla ve Švýcarsku navržena parní osobní loď pro Alfreda Nobela, která byla částečně vyrobena z hliníku. To odstartovalo použití hliníku jako materiálu pro výrobu lodí obecně. Nicméně v raném období se objevovaly problémy především s korozí těchto lodí. Ta byla zapříčiněna nevhodnými přísadovými prvky. Proto se začaly vyvíjet nové hliníkové slitiny typu  $Al - Mg$ ,  $Al - Mg - Si$ . [26]

Základní hliníkové slitiny využívající se v lodním průmyslu jsou: **EN AW-5XXX**, **EN AW-6XXX**. Disponují vynikající odolností vůči korozi, jak v sladkovodní vodě, tak mořské. Příkladem může být srovnání hloubky zkorodované vrstvy vlivem mořské vody za rok provozu u ocele a hliníku. U oceli hloubka této vrstvy dosahuje 120mm. Kdežto u hliníku je to pouze 1mm. Napomáhá tomu také fakt, že rychlost šíření hloubky koroze u hliníku se s přibývajícím dobou zpomaluje. Dále disponují dostatečnou pevností, tvárností a svařitelností. [31]

Tento typ slitin je využívá především pro malé komerční lodě, jachty, motorové čluny a sportovní lodě. [26] Hliník jako konstrukční materiál pro lodě je také často porovnáván s laminátem. Je sice dražší a náročnější na zpracování tím, ale výčet jeho záporů prakticky končí. Životnost jachet (obr. 16a, 16b) z hliníku je nejvyšší ze všech jiných konstrukčních materiálů. Mají vysokou odolnost vůči korozi, vysokou pevnost a dostatečnou elasticitu. Takovéto lodě jsou schopny vydržet až 40 let, bez ztráty na ceně. Další výhodou oproti laminátu je hmotnost a odolnost vůči nárazům. Laminát je velice křehký a náchylný k prasknutí. Stejně tak pro laminát je škodlivé ultrafialové záření, díky kterému stárne a křehne. U hliníkových jachet je naopak extrémně nebezpečná elektrochemická případně elektrolytická koroze, proto je nutno věnovat zvýšenou pozornost vedení elektroinstalace. [31]



Obr. 16 a) Celo hliníkové jachty *The Explorer* [32] b) *Vitters Sailing* [33]



## 7.2 Aplikovatelnost ve stavebnictví

Hliník je jedním z nejoblíbenějších materiálů používaný mezi staviteli, architekty i designéry. To potvrzuje i téměř 25% podíl světové produkce hliníku, který míří právě to stavebnictví. Na počátku minulého století, byl hliník pro stavební inženýrství prakticky nepoužitelný. Náklady na výrobu byly obrovské a množství vyrobeného hliníku nedokázalo pokrýt poptávku. [34]

Změna přišla v 20. letech 20. století, kdy se výroba natolik zefektivnila, že cena hliníku klesla o 80%. Začal se používat především pro části budov, které jsou více náchylné na korozi jako např. střechy, kopule, rámy dveří a oken, klenuté střechy, schodiště, klimatizační systémy a mnohé další. Začíná se také využívat pro dekorativní účely. [34]

Hliník se také začal po 2. světové válce využívat jako konstrukční materiál, především pro stavbu výškových budov, obchodních center a pavilonů. Hliníkové konstrukce jsou o polovinu lehčí než ocelové a o téměř 6/7 lehčí než železobetonové při zachování stejné nosnosti. Díky vysoké odolnosti vůči klimatickým podmínkám mají dlouhou životnost. Svou pevnost si zachovávají i při nízkých teplotách. Naopak při vyšších teplotách začíná být pevnost hliníkových konstrukcí výrazně oslabena. Základní hliníkové slitiny využívané se v stavebnictví jsou: **EN AW-3XXX**, **EN AW-5XXX**, **EN AW-6XXX**, **EN AW-7XXX**. [34]

V roce 1993 byly např. železné rámy oken na budově Empire State Building vyměněny za hliníkové. Roční energetická náročnost tak klesla až o 16%. V roce 2012 byla v Londýně postavena budova společností Siemens. Ta s využitím skla, hliníku a nejmodernějších technologií pro úsporu energie a emisí  $CO_2$ , se umístila na nejvyšších příčkách žebříčků LEED a BREEAM (systémy pro hodnocení budov z hlediska dopadu na životní prostředí). Spotřebuje o 50% méně elektrické energie a vyprodukuje o 65% méně  $CO_2$ , než kterákoliv jiná budova na světě srovnatelné velikosti. Celá budova je samozřejmě z 100% recyklovatelná. [34]



Obr. 17. „Budova budoucnosti“ The Crystal v Londýně [34]

Některé pavilony, stejně tak jako stadiony a další velkoplošné budovy využívají tzv. Gridshellovu metodu konstrukce (struktura celé budovy je podobná krystalové mřížce). Tato technologie stavby budov je až o 1/3 lehčí než budovy postavené klasickým způsobem. Gridshellovi konstrukce jsou nesmírně náročné z hlediska výpočtů, proto se svého rozmachu dočkaly až o mnoho let později, s příchodem počítačového modelování. Např. pavilon Ferrari World v Abu Dhabi s rozlohou 200 000m<sup>2</sup> postavený z hliníku je dosud největším pavilonem postaveným touto technologií. [34]



Obr. 18 Pavilon Ferrari World v Abu Dhabi [35]

### 7.3 Aplikovatelnost v energetice

Do energetického průmyslu plyne celkem 13% světové produkce hliníku. Spolu s mědí patří hliník k předním světovým materiálům, určeným pro přenos energie. Jeho konkurenceschopnost zaštitují především jeho nízká hmotnost, výborná vodivost a oproti mědi podstatně nižší cena. Výjimečně se využívají také slitiny řad 8000 nebo slitiny na bázi  $Al - Zr$ . Všechny tyto slitiny obecně najdeme především ve formě vodičů, kondenzátorů, antén, transformátorů nebo rotorů nízko napěťových elektromotorů. Základní hliníkové slitiny využívané se v energetice jsou: **EN AW-1XXX**, **EN AW-6XXX**. [36]

Hliník byl jako vodič vůbec poprvé použit v roce 1880 v Chicagu. Vlivem kouře z lokomotiv měděné vedení korodovalo a tak se nahradilo hliníkovým, které se ukázalo z dlouhodobého pohledu jako vhodné řešení. Pokud porovnáme měděný a hliníkový drát pro vedení stejně velkého proudu je ten hliníkový zhruba 1,5 krát větší než měděný. Přesto je však 2 krát lehčí. Hmotnost je hlavním důvodem, proč se hliníkové dráty využívají pro vysokonapěťové nadzemní vedení. V roce 2015 byla v Číně zavedena vyhláška, kde se veškeré měděné nízkonapěťové vedení nahrazuje hliníkovým. Mezi nejrozšířenější typy vodičů patří ACSR (obsahuje ocelové jádro, které je obaleno hliníkovými dráty) a AAAC (celo hliníkový vodič s kompozitním jádrem). Vhodnější z obou typů je AAAC, které je pevnější, má menší průhyb a je lehčí. Díky tomu pojme více hliníku oproti ACSR a sníží tak ztráty až o 40%. [36]

## 7.4 Aplikovatelnost ve spotřebním zboží

Hliník má své pevné zastoupení také ve spotřebním zboží, zvláště v oblasti elektroniky. Kombinuje krásu a praktičnost, což je klíčem k úspěchu ve spotřební elektronice. Zařízení od mobilních telefonů až po velkoplošné televize, využívají hliníkové šasi a jsou tak odolnější a pevnější než plastové. Zároveň jsou lehčí než ocelové. Velkou výhodou hliníku je také vysoká absorpce tepla, vycházející ze zařízení. Základní hliníkové slitiny využívající se ve spotřebním zboží jsou: **EN AW-6XXX, EN AW-7XXX**. [37]

V současné době mnoho předních světových výrobců elektroniky široce využívají hliník pro výrobu svých zařízení. Nicméně mezi nejznámější společnost, která má s hliníkem jako konstrukčním materiálem již letité zkušenosti, je Apple. V roce 2008 představil nejnovější verzi jejich přenosného počítače, využívající tzv. Unibody konstrukci (obr. 19). Princip těchto konstrukcí je v podstatě v rapidní redukci množství součástí (až 50%), ze kterých je konstrukce složena. Produkt se tak stane pevnějším a zároveň lehčím. V průběhu let se toto konstrukční řešení v kombinaci s pevnými hliníkovými slitinami ukázalo natolik efektivní, že se ho Apple rozhodl aplikovat i na všechny své ostatní produkty. [38]



*Obr. 19 Příklad Unibody konstrukce Macbooku Air vyrobeného z hliníku [39]*

## 7.5 Aplikovatelnost v domácnosti

Hliník díky svému přirozeně stříbřitému vzhledu, výborné tvárnosti a povrchovým úpravám, se dnes široce využívá také pro doplňky interiéru. Spolu se sklem vytváří dojem prostornějších místností, zároveň však snižuje hmotnost interiérových prvků. Je také ideálním materiálem pro venkovní nábytek. Hliník je dále součástí zrcadel, především díky svým vynikajícím odrazovým vlastnostem. Odráží světlo jak v infračerveném tak ultrafialovém spektru. [37]

Velkým tématem v 70. letech byl škodlivý dopad hliníku na lidský organismus. Lidé se začali hromadně zbavovat do té doby běžně používaného hliníkového nádobí v okamžiku, kdy vyšla zpráva, že u lidí postižených Alzheimerovou nemocí se v mozku

našlo větším množství hliníku. Nikdy však nebylo potvrzeno, že za touto nemocí opravdu stojí zvýšený obsah hliníku v lidském těle. Byly tedy provedeny řady testů, kde dobrovolníci konzumovali potraviny obsahující až 100 násobně vyšší množství denní spotřeby hliníku (průměr je kolem 5mg/den). Výsledkem bylo, že lidské tělo dokáže velice efektivně vstřebávat, případně se i zbavovat hliníku. Což není překvapením, jelikož se hliník vyskytuje prakticky ve všem, s čím dnes přijdeme do kontaktu. [37]

V současné době se hliník v kuchyních vyskytuje zcela běžně, ať už ve formě nádobí nebo spotřebičů. V porovnání s ocelí má vyšší tepelnou vodivost, proto se v něm jídlo mnohem lépe a rovnoměrněji prohřeje. Teflonové pánve nejsou v podstatě ničím jiným než hliníkovou pánví, která je potažena teflonovou vrstvou. Ocelové pečicí plechy jsou obvykle vyrobeny technologií Tri-ply (vrstvená technologie kombinující vrstvy oceli a hliníku pro docílení rovnoměrného propečení). Základní hliníkové slitiny využívající se v domácnosti jsou: *EN AW-1XXX*, *EN AW-3XXX*, *EN AW-5XXX*. [37]

## 7.6 Aplikovatelnost ve sportu

Hliník je také neodmyslitelně spjat se sportem, kde je využíván pro výrobu velkého množství produktů. Nízká hmotnost, pevnost, výborná tvárnost to jsou vlastnosti, díky kterým je hliník a jeho slitiny tak populární např. v cyklistickém průmyslu. Rámy (obr. 20) z těchto slitin jsou pevné a lehké, se zvýšenou odolností vůči korozi. Hliníkové rámy jsou také obecně považovány jako nejlepší poměr hmotnosti a ceny. [37]

V současné době se velké oblibě těší také turistické hůlky. Dříve jako materiál pro tyto hůlky sloužil bambus. Ten byl později nahrazen ocelí. Takovéto hůlky byly sice pevné, ale zároveň těžké. Proto se od roku 1958 můžeme setkat s hůlkami hliníkovými, které jsou lehčí než ocelové a s podstatně vyšší odolností vůči korozi. Dále dnes můžeme narazit také na hůlky z uhlíkových vláken, které si zachovávají pevnost hliníkových, jsou ale podstatně lehčí. Základní hliníkové slitiny využívající se ve sportu jsou: *EN AW-2XXX*, *EN AW-5XXX*, *EN AW-6XXX*, *EN AW-7XXX*. [37]



Obr. 20 a) Hliníkový rám kola [40]



## 7.7 Aplikovatelnost v potravinářském průmyslu

Formovatelnost a vysoká kvalita ochrany výrobku jsou vlastnosti, díky kterým je hliník nejrozšířenějším obalovým materiálem na světě. Ať už se jedná o fólie či plechovky. Všechny tyto obaly jsou recyklovatelné a schopné být použity znovu a znovu. Hliníkové fólie (u nás známé také jako *aloba*) jsou tenké obvykle kolem 0,004 až 0,24mm, přesto však pevné a s výbornými izolačními vlastnostmi. Disponují vynikající odolností vůči světlu, tekutinám či bakteriím, a to při zachování tloušťky 8 krát tenčí než je u bankovky. Mnoho potravin je náchylných na sluneční záření, které poškozuje jejich vzhled a chuť. Fólie samotné jsou netoxické, takže nepoškozují kvalitu potravin. Jsou také velice odolné vůči žáru, aniž by ztrácely své izolační vlastnosti nebo neznehodnocovaly chuť jídla, proto se často využívají pro grilování nebo opékání nad přímým ohněm. [41]

Pro balení mléčných potravin se využívá tzv. laminátové fólie. Fólie obsahují papír nalepený na hliníkové fólii, který v horkém podnebí zachycuje vlhkost. Dále je vhodné potraviny (uzeniny) uchovávané v chladu též balit do hliníkové fólie, aby se zamezilo znehodnocení jejich chuti. V současné době se vysoké popularity těší také kapslové kávy typu Dolce Gusto či Nespresso. Jedinečné aroma, které je tak populární u těchto káv, je docíleno díky hermeticky uzavřeným kapslím, které jsou potažené hliníkovou fólií. V neposlední řadě jsou hliníkové fólie použity také v lékařství. Léky musí být chráněny vůči světlu, vlhkosti, vzduchu, mikroorganismům i bakteriím. Musí také vydržet po další časové období. Základní hliníkové slitiny využívající se v potravním průmyslu jsou: *EN AW-1XXX*, *EN AW-3XXX*, *EN AW-8XXX*. [41]

Hliník a jeho slitiny jsou sice široce využívány téměř všemi průmysly po celém světě, nicméně neexistuje pravděpodobně žádný jiný příklad pro masové rozšíření výrobku vyrobeného právě z hliníku, jako je tomu v případě plechovek (obr. 21). Hliník se využívá pro plechovky především díky tomu, že dokáže udržet chuť daného nápoje a stejně tak ho ochránit před ostatními nepříznivými vlivy po dlouhou dobu. Další důležitou věcí je, že drtivá většina vyrobených plechovek je recyklovatelná. Poprvé se plechovky začaly využívat pro nápoje v roce 1958, kde se v nich prodávalo pivo. Od roku 1967 je začínaly využívat společnosti jako Coca-Cola nebo Pepsi. Klasické otevírání plechovky s nápojem tak jako ho známe dnes, bylo vymyšleno až v roce 1975. Pro výrobu plechovek se využívá slitin: *EN AW-3XXX*, *EN AW-5XXX*. [41]



Obr. 21 V roce 2015 bylo vyrobeno neuvěřitelných 250 miliard plechovek. [42]

## 8. Závěr

Aplikovatelnost hliníku je tak široká, že ho nelze charakterizovat pouze pomocí konkrétních aplikací. To, co dnes dělá z hliníku jeden z nejrozšířenějších průmyslově využívaných kovů, jsou právě jeho vlastnosti.

Díky FCC mřížce si hliník udržuje dobré plastické vlastnosti i za velmi nízkých teplot, na rozdíl od kovů s BCC mřížkou. Má jednu z nejvyšších tepelných vodivostí, zároveň je také vynikajícím elektrickým vodičem. Nízká měrná hmotnost hliníku ( $2,69 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) má obrovský dopad na celou řadu aplikací.

Lehce rozporuplnou vlastností je jeho reaktivita. Vede k tomu, že hliník v přírodě nenajdeme v jeho ryzí formě, nýbrž pouze ve formě jeho sloučenin (hlinité minerály). To má za následek technologicky a energeticky náročnou výrobu primárního hliníku. Řešením může být výroba sekundárního hliníku (recyklace). Naopak v čem je vysoká reaktivita prospěšná, je vynikající odolnost vůči korozi, zvláště v jeho čisté formě. S legujícími (přísadovými) prvky tato odolnost zpravidla klesá. Extrémně nebezpečná je pro hliník elektrochemická koroze.

Vzhledem ke své velmi nízké pevnosti (pod 100 MPa) a tvrdosti (20-30 HB) je čistý hliník nevhodný pro konstrukční účely, proto se využívá legur a případného tepelného zpracování pro dosažení vyšších pevností (až 780 MPa). Legur je mnoho, mezi nepoužívanější se řadí: měď, mangan, křemík, hořčík nebo zinek. Měď se zinkem zvyšují pevnost a tvrdost vlivem možnosti jejich vytvrzení. Mangan spolu s hořčíkem naopak minimálně snižuje vysokou odolnost hliníku vůči korozi. Křemík výrazně zlepšuje slévatelnost.

Hliník má i další pozitivní vlastnosti. Je netoxický, odolný vůči radiaci i záření. Velmi dobře také odolává vibracím. V neposlední řadě je důležitá i jeho cena. V 19. století byla jeho cena astronomická. Dokonce vyšší, než byla cena zlata a stříbra (napomáhal tomu jeho stříbřitý vzhled). Nicméně s příchodem průmyslové výroby (BM, HHPE) koncem 19. století, jeho cena začala výrazně klesat a jeho dostupnost zvyšovat. Tento průběh se s mírným růstem zachoval až do dnešní doby. Je to tedy cena, spolu s širokou škálou vesměs pozitivních vlastností, která dělá z hliníku a jeho slitin široce využívaný kov v nejrůznějších oblastech průmyslu.

## 9. Seznam použitých zdrojů a literatury

- [1] World Wide Words [online]. 1996 - [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.worldwidewords.org/articles/aluminium.htm>
- [2] Historické názvy chemických prvků. *Periodická soustava prvků*. [online]. 2009-2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/historicke-nazvy.html>
- [3] The history of aluminium. *All about aluminium*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/history/>
- [4] Theodorgray.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://theodoregray.com/periodictable/Samples/Alum/index.s12.html>
- [5] *Encyklopedie hliníku* [CD-ROM]. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
- [6] 2012books.lardbucket.org [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0/s16-02-the-arrangement-of-atoms-in-cr.html>
- [7] Hliník. *Periodická soustava prvků*. [online]. 2009-2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/13.html>
- [8] ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- [9] Geologie VSB [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/nerudy/korund.html>
- [10] Minerals.net [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://m.minerals.net/mineral/diaspore.aspx>
- [11] Minerals.net [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://m.minerals.net/mineral/boehmite.aspx>
- [12] Minerals.net [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://m.minerals.net/mineral/gibbsite.aspx>
- [13] Bauxite and Alumina Statistic and Information. *U. S. Geological Survey*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/bauxite/mcs-2016-bauxi.pdf>
- [14] Minerals.net [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://m.minerals.net/mineral/bauxite.aspx>
- [15] Totdiamant.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.totdiamant.com/polvos-abrasivos.htm>

- [16] DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu II.* 3., nezm. vyd. Brno: VUT, 1979.
- [17] Essential Chemical Industry online [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.essentialchemicalindustry.org/metals/aluminium.html>
- [18] Standard-metals.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.standard-metals.com/>
- [19] Hydro.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.hydro.com/en/Press-room/Feature-stories/Meet-our-customers/Astro-Shapes-Consistency-is-everything1/>
- [20] Phys.org [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://phys.org/news/2015-05-recycling-aluminium.html>
- [21] SLITINY NA BÁZI NEŽELEZNÝCH KOVŮ. *Atlas materiálových struktur* [software]. [přístup 30. března 2016]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/ke-stazeni>
- [22] Informace, Soubory ke stažení. *ALUCAD Bohemia s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.alucad.cz/public/var/files/file\\_109.pdf](http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf)
- [23] MARTÍNEZ-FLORES, Elizabeth a Gabriel TORRES-VILLASEÑOR. Hybrid Materials Based on Al-Zn Alloys. In: *INTECH* [online]. Jul 20, 2011 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/metal-ceramic-and-polymeric-composites-for-various-uses/hibrid-materials-based-on-zn-al-alloys>
- [24] TYLEY, Jodie. Which aluminium is the strongest? In: *How it works* [online]. Nov 8, 2012 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.howitworksdaily.com/which-aluminum-is-the-strongest/>
- [25] Green Head [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.thegreenhead.com/2009/11/anodized-aluminum-shot-glasses.php>
- [26] Applications, Aluminium in Transport. *All about aluminium.* [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/application/transport/>
- [27] Airspotter [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.airspotter.eu/novinky10.html>
- [28] True Delta [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.truedelta.com/Tesla-Model-S/car-review-photos-1095>
- [29] Super Street Network [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.superstreetonline.com/cars/new-car-reviews/epcp-1212-2013-range-rover/>



- [30] RAILWAZ GAZETTE. High-capacity cement wagons unveiled. In: *RAILWAY GAZETTE* [online]. Mar 1, 2016 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.railwaygazette.com/news/freight/single-view/view/high-capacity-cement-wagons-unveiled.html>
- [31] HOUSKA, Václav. Proč si vybrat hliník. *Yachting Revue*. 2012. č. 120. s. 58. ISSN 1213-1601.
- [32] Futuna Yachts [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.futuna-yachts.com/explorer54/>
- [33] Super Yachts Times [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.superyachttimes.com/yacht-news/new-facility-for-hull-construction-in-the-netherlands/>
- [34] Applications, Aluminium in Construction. *All about aluminium*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/application/construction/>
- [35] BASF [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.construction.basf.com/p05/industry/en/content/news\\_and\\_information/news/ferrari\\_world\\_in\\_abu\\_dhabi\\_worlds\\_largest\\_aluminum\\_roof\\_secured\\_with\\_mounting\\_brackets\\_and\\_anchors\\_made\\_of\\_ultramid](http://www.construction.basf.com/p05/industry/en/content/news_and_information/news/ferrari_world_in_abu_dhabi_worlds_largest_aluminum_roof_secured_with_mounting_brackets_and_anchors_made_of_ultramid)
- [36] Applications, Aluminium in power-engineering. *All about aluminium*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.aluminiumleader.com/application/electrical\\_engineering/](http://www.aluminiumleader.com/application/electrical_engineering/)
- [37] Applications, Aluminium in consumer goods. *All about aluminium*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.aluminiumleader.com/application/consumer\\_goods/](http://www.aluminiumleader.com/application/consumer_goods/)
- [38] Steve Jobs introduces unibody MacBook Pro & MacBook - Apple Special Event (2008). In: *YouTube* [online]. 21.12.2012 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=rJRMafcRUU&index=24&list=PLMdDrIM5JRUKr9eDbVmLsuUuAqkR42cp0>. Kanál uživatele EverySteveJobsVideo.
- [39] Apple.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.apple.com/macbook-air/design.html>
- [40] Bicycling [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.bicycling.com/bikes-gear/trends/aluminum-frames-are-back-and-better-ever>
- [41] Applications, Aluminium in packaging. *All about aluminium*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/application/packaging/>

- [42] Constellium.com [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z:  
<http://www.constellium.com/markets/packaging/food-and-beverage/aluminium-can-body-stock>

## 10. Seznam zkratek a symbolů

### **Zkratky**

FCC	- face centered cubic (krychlová plošně středěná)
M	- jakostní modul
BM	- Bayerova metoda
HHPE	- Hall-Héraultův princip elektrolýzy
GP	- Guiner-Prestonovy destičkové zóny
GS	- metoda stejnosměrného proudu
HCM	- Hope Construction Materials
LEED	- Leadership in Energy and Environmental Design
AAAC	- All Aluminium Alloy Conductors
ACSR	- Aluminium Conductor Steel Reinforced
BREEAM	- Building Research Establishment Environmental Assessment Method

## 11. Příloha

### 11.1 Označování hliníku a slitin hliníku podle ČSN EN

#### 11.1.1 Označování hliníku a slitin hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1 až 2

První z norem je určena pro tvářené výrobky a ingoty pro tváření. Vždy nesou označení EN AW se čtyřmi číslicemi. Často bývá uvedeno i chemické složení slitiny, není to však podmínkou. [5]

#### EN AW - 7075

- EN určuje evropskou normu
- A určuje hliník
- W určuje vhodnost slitiny pro tváření
- 7075 označuje chemické složení

První ze čtyřmístného čísla vyjadřuje skupinu podle hlavních přísadových prvků:

- řada 1000 – čistý hliník (>99,00%)
- řada 2000 – slitina *Al-Cu*
- řada 3000 – slitina *Al-Mn*
- řada 4000 – slitina *Al-Si*
- řada 5000 – slitina *Al-Mg*
- řada 6000 – slitina *Al-Mg-Si*
- řada 7000 – slitina *Al-Zn*
- řada 8000 – slitina *Al (různé prvky)*

Přehled základních slitin hliníku využívající se pro tváření je uveden v tab. 2 – 9.

#### 11.1.2 Označování slitin hliníku na odlitky podle ČSN EN 1706

Norma označují slitiny hliníku vhodné pro odlitky, je strukturně podobná normě předešlé. [5]

#### EN AC - 42100

- EN určuje evropskou normu
- A určuje hliník
- C určuje vhodnost slitiny pro odlitky
- 42100 označuje chemické složení

První z pětímístného čísla vyjadřuje stejně jako v předchozím případě skupinu slitiny podle typu hlavní přísady. Přehled základních slitin hliníku využívající se pro tváření je uveden v tab. 10.

Tab. 2 Normalizované typy čistého hliníku

<b>Chemicky čistý hliník – řada 1000</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-1050A	EN AW-Al 99.5(A)	3.0255	Al 99.5
EN AW-1070A	EN AW-Al 99.7(A)	3.0275	Al 99.7
EN AW-1080A	EN AW-Al 99.8(A)	3.0285	Al 99.8
EN AW-1200	EN AW-Al 99.0	3.0205	Al 99

Tab. 3 Normalizované typy slitin řady 2000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 2000 - AlCu</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-2007	EN AW-Al Cu <sub>4</sub> PbMgMn	3.1645	AlCuMgPb
EN AW-2011	EN AW-Al Cu <sub>6</sub> BiPb	3.1655	AlCuBiPb
EN AW-2014	EN AW-Al Cu <sub>4</sub> SiMg	3.1255	AlCuSiMn
EN AW-2017A	EN AW-Al Cu <sub>4</sub> MgSi(A)	3.1325	AlCuMg1
EN AW-2024	EN AW-Al Cu <sub>4</sub> Mg1	3.1355	AlCuMg2
EN AW-2117	EN AW-Al Cu <sub>2.5</sub> Mg	3.1305	AlCu <sub>2.5</sub> Mg0.5

Tab. 4 Normalizované typy slitin řady 3000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 3000 - AlMn</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-3003	EN AW-Al Mn <sub>1</sub> Cu	3.0517	AlMnCu
EN AW-3103A	EN AW-Al Mn <sub>1</sub> (A)	3.0515	AlMn1
EN AW-3004	EN AW-Al Mn <sub>1</sub> Mg <sub>1</sub>	3.0526	AlMn <sub>1</sub> Mg <sub>1</sub>
EN AW-3005	EN AW-Al Mn <sub>1</sub> Mh <sub>0.5</sub>	3.0525	AlMn <sub>1</sub> Mg <sub>0.5</sub>
EN AW-3207	EN AW-Al Mn <sub>0.6</sub>	3.0506	AlMn <sub>0.6</sub>

Tab. 5 Normalizované typy slitin řady 4000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 4000 - AlSi</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-4032	EN AW-Al Si <sub>12.5</sub> MgCuNi	-	-

Tab. 6 Normalizované typy slitin řady 5000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 5000 - AlMg</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-5005A	EN AW-Al Mg1(C)	3.3315	AlMg1
EN AW-5019	EN AW-Al Mg5	3.3555	AlMg5
EN AW-5049	EN AW-Al Mg2Mn0.8	3.3527	AlMg2Mn0.8
EN AW-5051A	EN AW-Al Mg2(B)	3.3326	AlMg1.8
EN AW-5052	EN AW-Al Mg2.5	3.3523	AlMg2.5
EN AW-5083	EN AW-Al Mg4.5Mn0.7	3.3547	AlMg4.5Mn
EN AW-5086	EN AW-Al Mg4	3.3545	AlMg4Mn
EN AW-5182	EN AW-Al Mg4.5Mn0,4	3.3549	AlMg5Mn
EN AW-5251	EN AW-Al Mg2Mn0.3	3.3525	AlMg2Mn0.3
EN AW-5454	EN AW-Al Mg3Mn	3.3537	AlMg2.7Mn
EN AW-5754	EN AW-Al Mg3	3.3535	AlMg3

Tab. 7 Normalizované typy slitin řady 6000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 6000 - AlMgSi</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-6005A	EN AW-Al SiMg	3.3210	AlMgSi0.7
EN AW-6012	EN AW-Al MgSiPb	3.0615	AlMgSiPb
EN AW-6060	EN AW-Al MgSi	3.3203	AlMgSi0.5
EN AW-6061	EN AW-Al Mg1SiCu	3.3211	AlMg1SiCu
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	3.2315	AlMgSi1

Tab. 8 Normalizované typy slitin řady 7000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 7000 - AlZn</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-7020	EN AW-Al Zn4.5Mg1	3.4335	AlZn4.5Mg1
EN AW-7022	EN AW-Al Zn5Mg3Cu	3.4345	AlZnMgCu0.5
EN AW-7075	EN AW-Al Zn5.5MgCu	3.4346	AlZn4.5MgCu1.5

Tab. 9 Normalizované typy slitin řady 8000 určené ke tváření

<b>Slitiny hliníku – řada 8000 - různé</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-8090	EN AW-Al Li2.5Cu1.5Mg1	-	-

Tab. 10 Normalizované typy slitin řady 40000 určené pro odlitky

<b>Slitiny hliníku na odlitky</b>			
Označení slitin podle ČSN EN 573-3		Označení slitin podle DIN 1725-1	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AC-42100	EN AC-Al Si7Mg0.3	3.2371	AlSi7Mg0.3
EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	3.2381	AlSi10Mg(a)
EN AC-43200	EN AC-Al Si10Mg(Cu)	3.2383	AlSi10Mg(Cu)
EN AC-43300	EN AC-Al Si9Mg	3.2373	AlSi9Mg
EN AC-43400	EN AC-Al Si10Mg(Fe)	3.2382	AlSi10Mg(Fe)
EN AC-44000	EN AC-Al Si11	3.2211	AlSi11
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	3.2373	AlSi12
EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)	3.2582	AlSi12(Fe)
EN AC-45000	EN AC-Al Si6Cu	3.2151	AlSi6Cu
EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(a)	3.2163	AlSi9Cu3(a)
EN AC-47000	EN AC-Al Si12(Cu)	3.2583	AlSi12(Cu)
EN AC-47100	EN AC-Al Si12Cu(Fe)	3.2982	AlSi12Cu(Fe)



## 11.2 Označování tepelného stavu slitin hliníku

Ve většině případů následuje za číselným značením ještě označení stavu materiálu. Základní značení se skládá z písmen, za kterými – v případě nutnosti – následuje jedna nebo více číslic označující úpravy nebo zpracování. Základní úpravy a zpracování jsou uvedeny v tab. 11. [22]

Tab. 11 Základní typy tepelných úprav slitin hliníku

Stav	Definice
F	z výroby, bez požadavků na mechanické vlastnosti
O1	žhánáno při vysoké teplotě a pomalu ochlazeno
O2	tepelně upraveno při mechanickém zpracování
O3	Homogenizováno
H1	deformačně zpevněný
H2	deformačně zpevněný a částečně žhánáno
H3	deformačně zpevněný a stabilizovaný
H4	deformačně zpevněný a barvený nebo lakovaný
T1	po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a přirozeném stárnutí
T2	po ochlazení ze zvýšené teploty tváření, tváření zastudena a přirozeném stárnutí
T3	po rozpouštěcím žhánáním, tváření zastudena a přirozeném stárnutí
T4	po rozpouštěcím žhánáním a přirozeném stárnutí
T5	po ochlazení ze zvýšené teploty tváření a umělém stárnutí
T6	po rozpouštěcím žhánáním a umělém stárnutí
T7	po rozpouštěcím žhánáním a umělém přestárnutí
T8	po rozpouštěcím žhánáním, tváření zastudena a umělém stárnutí
T9	po rozpouštěcím žhánáním, umělém stárnutí tváření zastudena