



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

HLINÍK A JEHO SLITINY
V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU
ALUMINIUM AND ITS ALLOYS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

JIŘÍ SLAVÍČEK
Ing. KAREL NĚMEC, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Slaviček

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu

v anglickém jazyce:

Aluminium and its Alloys for the Automotive Industry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu o slitinách hliníku v současnosti používaných v automobilovém průmyslu a následné vyhodnocení výhod a nevýhod různých slitin pro aplikaci na jednotlivé komponenty automobilů.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Zpracování přehledu o dané problematice
- 2) Popis jednotlivých slitin používaných v automobilovém průmyslu
- 3) Formulace závěrů o vhodnosti použití slitin hliníku na konkrétní komponenty automobilů

Seznam odborné literatury:

- 1) Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd., Brno, CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- 2) Michna, Š.: Encyklopedie hliníku. Děčín, Alcan Děčín Extrusions, 2005. 1. elektronický optický disk (CD-ROM). ISBN 80-89041-88-4
- 3) Sedláček, V.: Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd., Praha, SNTL, 1979. 398 s.
- 4) Sedláček, V. : Únava hliníkových a titanových slitin. 1.vyd., Praha, SNTL, 1989. 351 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 2.11.2010

L.S.

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

The work deals with the description of aluminium and its alloys used in the car industry. It contains a basic division into foundry and wrought alloys with description of their character and application to the concrete components. The work also describes the production of a modern material - aluminium foam.

Abstrakt

Práce je zaměřena na popis hliníku a jeho slitiny používaných v automobilovém průmyslu. Obsahuje základní rozdělení na slévarenské a tvářené slitiny s popisem jejich vlastností a aplikací na konkrétní komponenty. Dále je zde popsána výroba moderního materiálu - pěnového hliníku.

Klíčová slova: slitina hliníku, pěnový hliník
Keywords: aluminium alloy, foam aluminium

Bibliografická citace

SLAVÍČEK, J. *Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil pouze uvedené zdroje a literaturu.

V Brně dne 26. května 2011

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval za mnohé rady, poznatky a pomoc při vypracování této bakalářské práce Ing. Karlu Němcovi Ph.D.

Obsah

1. ÚVOD	3
2. ČISTÝ HLINÍK	4
2.1. Vlastnosti a použití hliníku	4
2.2. Výroba hliníku	5
3. SLITINY HLINÍKU	5
3.1. Vliv přísadových prvků	5
3.2. Rozdělení slitin hliníku:	5
3.3.1. Slitiny nízkopevnostní s dobrou odolností proti korozi	6
3.3.2. Slitiny s vyšší a vysokou pevností, ale s nízkou odolností proti korozi	8
3.4. Slitiny hliníku pro odlitky	9
3.5. Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin	12
3.5.1. Žihání	12
3.5.2. Precipitační vytvrzování	13
3.6. Značení hliníku a hliníkových slitin podle ČSN EN	14
4. PĚNOVÝ HLINÍK	15
4.1. Výroba pěnového hliníku	17
4.1.1. Metoda SAF	17
4.1.2. Metoda LKR	17
4.1.3. Metoda ALPORAS	17
4.1.4. Metoda GASAR	18
4.1.5. Metoda roztavením obsahující částice zpěňovadla	18
4.1.6. Metoda ALULIGHT	18
4.2. Použití pěnového hliníku	18
5. HLINÍK V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	19
5.1. Příklady použití hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu:	20
5.2. Podíl slitin hliníku v hmotnosti konstrukce automobilů	24
6. ZÁVĚR	26
7. LITERATURA	28

1. ÚVOD

Hliník a jeho slitiny nás provázejí dnešním rychlým a uspěchaným životem na každém kroku. Setkáváme se s nimi v obchodě v podobě obalů na potravinách, na zahradách, kde používáme skleníky nesené konstrukcí ze slitin hliníku, doma v podobě oken s rámem z hliníkových profilů atd.. Největší použití nachází materiály na bázi hliníku v automobilovém, leteckém, chemickém, stavebním, strojírenském průmyslu.

Cílem této práce je popsat možnosti využití hliníku v automobilovém průmyslu s ukázkou konkrétní aplikace na jednotlivých komponentech. V automobilovém průmyslu je hlavním důvodem použití lehkých kovů jako je hliník snaha o snížení hmotnosti vozidel, což vede k úspoře pohonných hmot a ke snižování škodlivých emisí v ovzduší. Tím chráníme životní prostředí a činíme lepší svět pro další generace.

2. ČISTÝ HLINÍK

Přestože se jedná se o nejrozšířenější kov v zemské kůře a dnes je druhým nejpoužívanějším kovem hned po železe, jeho průmyslová výroba byla patentována až v roce 1886. V roce 1906 spatřila světlo světa precipitačně vytvrditelná slitina hliníku zvaná dural s označením AlCu4Mg, která znamenala převrat ve stavbě vzducholodí a letadel [1]. S neustále se zvyšujícím objemem výroby hliníku klesala jeho cena rozšiřovalo se jeho použití, zejména po 2. světové válce. Dnes již prakticky není oblasti průmyslu, kde bychom se s výrobky z hliníku a jeho slitin nesešli. Důvodem je především velmi výhodná kombinace fyzikálních, mechanických, chemických a technologických vlastností. Největší část produkce hliníku se spotřebovává v dopravě (60%), následuje stavební, strojírenský, elektrotechnický a potravinářský průmysl [2].

2.1. Vlastnosti a použití hliníku

Hliník je stříbrolibý nepolymorní kov krystalizující v soustavě FCC, s nízkou měrnou hmotností a s teplotou tání 660°C. Jeho hlavními výhodami jsou dobrá elektrická a tepelná vodivost, vysoká měrná tepelná kapacita, dobrá tvárnost za studena i za tepla a dobrá svařitelnost v ochranné atmosféře. Mechanické vlastnosti hliníku ovlivňuje stupeň čistoty a způsob zpracování. Ve vyžíhaném (měkkém) stavu má hliník pevnost v tahu 60 MPa a tažnost 25 %, tvářením za studena lze jeho pevnost zvýšit. Mezi nevýhody můžeme zařadit nízkou tvrdost (snadné zhmoždění povrchu) a obtížné třískové obrábění. Na vzduchu je hliník stálý. Na jeho povrchu se tvoří vrstvička Al₂O₃, která jej chrání před další oxidací. Hliník poměrně dobře odolává i mořské vodě, slabším kyselinám, koroduje však ve styku se zásaditými látkami.

Teplota tání	660°C
Hustota	2,690g/cm ³
Modul pružnosti v tahu	71GPa
Mez pevnosti v tahu	70 MPa (vyžíhaný stav)
Mez kluzu	20 MPa (vyžíhaný stav)
Tažnost	20-30% (vyžíhaný stav)
Tvrdost	20 HB (vyžíhaný stav)

Tab.1: Hodnoty základních materiálových charakteristik [3]

Použití čistého hliníku v různých průmyslových odvětvích je dáno především jeho velmi dobrou elektrickou a tepelnou vodivostí, nízkou měrnou hmotností a možností rozmanité úpravy povrchu. Nachází použití zejména jako elektrovedný materiál (na vodiče a součásti elektrických instalací v elektrotechnice), jako obalový materiál (hliníkové folie na balení potravin), slouží také k plátování slitin hliníku i ocelí jako ochrana proti korozi. Pro výrobu slitin a k dezoxidaci oceli se užívá tzv. hutního hliníku, jehož čistota pohybuje mezi 98 až 99,7 %. Zbývající množství do 100% jsou doprovodné prvky, které jsou zpravidla považovány za nežádoucí, neboť působí negativně na mechanické vlastnosti materiálu. Mezi takové prvky patří zejména Fe, Si, O a H. Železo i křemík se do kovového hliníku dostávají ze surovin pro elektrolýzu oxidu hlinitého, případně ze zpracovávaného hliníkového šrotu. Oba prvky se podílejí na tvorbě intermediálních fází v mikrostruktuře slitin, které zhoršují plastické vlastnosti slitin. [3]

2.2. Výroba hliníku

Nejvýznamnější ekonomicky využitelnou surovinou pro výrobu hliníku je bauxit, jehož hlavní složkou je oxid hlinitý. Moderní výroba hliníku je tvořena dvěma nezávislými procesy. Prvním stupněm je příprava čistého oxidu hlinitého a druhým stupněm je elektrolytická výroba hliníku. Jedna tuna hliníku se vyrobí ze 4 až 6 tun bauxitu.

3. SLITINY HLINÍKU

Nejdůležitější je však uplatnění hliníku ve formě slitin, z nichž bezesporu nejznámější je slitina s mědí a hořčíkem, obecně známá jako dural. Slitiny mají oproti čistému hliníku vyšší pevnost a tvrdost při zachování velmi malé měrné hmotnosti. Zároveň si ve většině případů zachovávají i dobrou odolnost vůči korozi. Všechny uvedené vlastnosti předurčují slitiny hliníku jako ideální materiál pro letecký a automobilový průmysl, ale setkáme se s ním i při výrobě potravinových obalů, lehkých žebříků, sportovního náčiní apod..

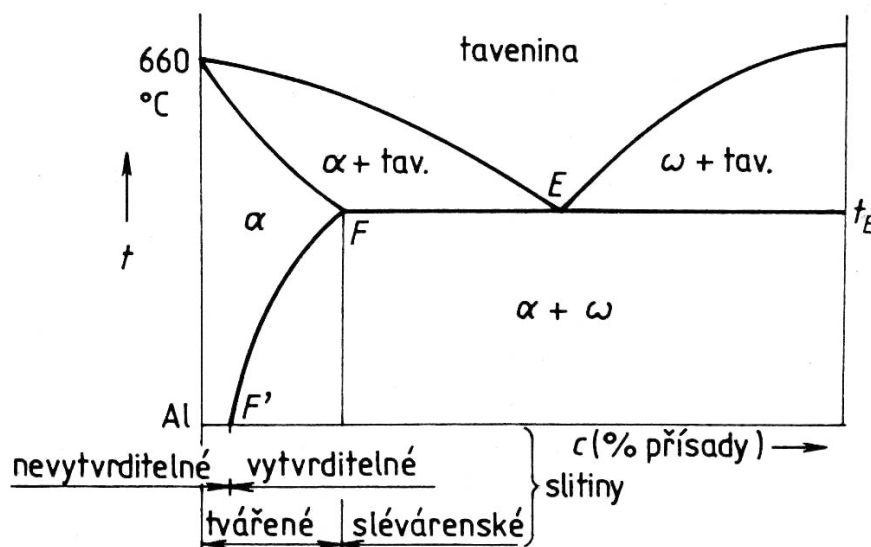
3.1. Vliv přísadových prvků

Vlastnosti hliníku je možno zlepšit přísadami dalších prvků. Z přísad, které se vyskytují ve slitinách hliníku jsou významné zejména Cu, Mg, Mn, Si a Zn. Jednotlivé prvky působí ve slitinách hliníku následovně [4]:

- *měď* ve slitinách hliníku zvyšuje pevnost a tvrdost, ale také zhoršuje tvárnost a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách bývá její obsah max. 6 %, ve slévárenských do 12 %.
- *hořčík* zlepšuje pevnost, vytvrditelnost slitin a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách bývá do 8 %, ve slévárenských až do 11 %.
- *mangan* zvyšuje pevnost, tvárnost a odolnost proti korozi. Jeho obsah obvykle nepřekročí 2 %.
- *křemík* zvyšuje pevnost tuhého roztoku a poněkud také odolnost proti korozi. Při větším obsahu je přítomen jako čistý Si, čímž se zvyšuje křehkost. Slitiny tvářené obsahují do 1 % Si, oproti tomu slitiny slévárenské obsahují až 25 % Si.
- *zinek* zvyšuje pevnost, ale zhoršuje houževnatost a odolnost proti korozi. Ve tvářených slitinách ho bývá až do 8 %, ve slévárenských maximálně do 6 %.
- *železo* zvyšuje pevnost a zlepšuje tvárnost, ale zhoršuje houževnatost a odolnost proti korozi. Ve slitinách pro tváření bývá jeho obsah do 0,5 %, výjimečně až do 1,6 %, ve slévárenských slitinách do 1 %.
- *nikl* zvyšuje pevnost i houževnatost za normální i zvýšené teploty. Používá se proto ve slitinách určených pro práci za vyšších teplot, a to do obsahu 2 %. U slitin s Cu zlepšuje rovněž odolnost proti korozi.
- další prvky se používají jen v malých množstvích a mají následující vliv:
 - ⇒ titan, chrom, molybden a vanad zjemňují zrna
 - ⇒ olovo zlepšuje obrobitelnost
 - ⇒ cín a antimon zlepšuje kluzné vlastnosti u ložiskových slitin

3.2. Rozdělení slitin hliníku:

Základní rozdělení slitin hliníku z hlediska jejich vhodnosti ke tváření, slévání a tepelnému zpracování vytvrzováním ukazuje rovnovážný diagram (obr. 1).



Obr.1: Rozdělení slitin hliníku [5]

Podle vhodnosti způsobu výroby se slitiny hliníku dělí na:

- Slitiny pro tváření
- Slitiny pro odlitky

Podle možnosti precipitačního vytvrzování se slitiny hliníku dělí na:

- Slitiny vytvrditelné
- Slitiny nevytvrditelné

K tváření jsou vhodné slitiny s nižšími obsahy přísadových prvků, tedy do koncentrace odpovídající bodu F, v jejichž mikrostruktuře převládá tuhý roztok α . (obr. 1). Slitiny s vyšším obsahem přísadového prvku (od bodu F), v jejichž struktuře se vyskytuje eutektikum, jsou méně tvárné za tepla, mají však velmi dobré slévárenské vlastnosti, přičemž nejlépe slévatelné jsou slitiny eutektické.

Vytvrzováním se zlepšují mechanické vlastnosti především u slitin v rozmezí koncentrací F' a F. Ze slitin k odlévání jsou pro vytvrzování vhodné pouze ty, které obsahují menší množství eutektika ve struktuře.

3.3.Slitiny hliníku pro tváření

3.3.1. Slitiny nízkopevnostní s dobrou odolností proti korozi

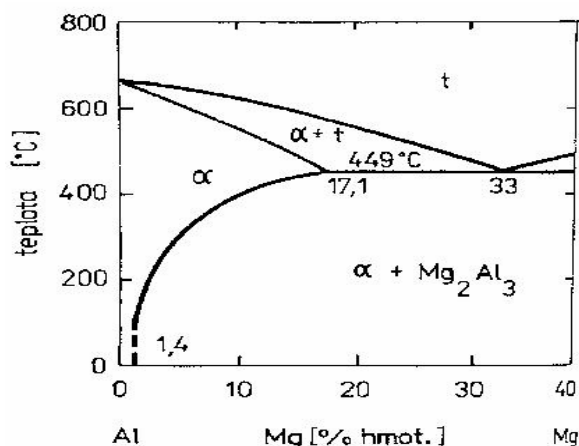
Slitiny hliníku, pokud neobsahují měď, velmi dobře odolávají korozi v atmosféře a látkám kyselé povahy. Do této skupiny proto patří slitiny soustav Al-Mg a Al-Mn. Tyto slitiny, protože neobsahují měď, se vyznačují velkou odolností proti korozi i bez použití povrchové ochrany. Jejich nevýhodou však je nemožnost tepelného zpracování za účelem zpevnění materiálu. Mezi další výhody patří tvařitelnost, svařitelnost, dobrá lomová houževnatost a odolnost proti vibračnímu zatížení.

Slitiny Al-Mg

Do skupiny slitin Al-Mg patří AlMg₂, AlMg₃, AlMg₅ a AlMg₆. Slitiny s obsahem hořčíku do 6% mají velmi dobrou odolnost proti korozi, při vyšším obsahu než 6hm.% však mají sklon ke korozi po hranicích zrn, zejména při mechanickém zatížení, proto se obvykle nepoužívají. Pevnost slitin Al-Mg je relativně nízká, pohybuje se okolo

140 až 200 MPa. Nízkou pevnost lze zvýšit deformačním zpevněním, tedy tvářením za studena s nižším stupněm deformace (max. 20-30%), až na $R_m = 420$ MPa. Při větších deformacích výrazným způsobem klesá tvárnost slitin a snižuje se jejich odolnost proti korozi. Dobrá svařitelnost a dobrá korozní odolnost i v mořské vodě předurčují tento materiál pro výrobu součástí lodního průmyslu, např. některých částí lodních trupů. Používají se rovněž na výrobu nápojových plechovek. V automobilovém průmyslu se používá hlavně slitina AlMg2.

Obr. 2: Soustava Al- Mg [1]



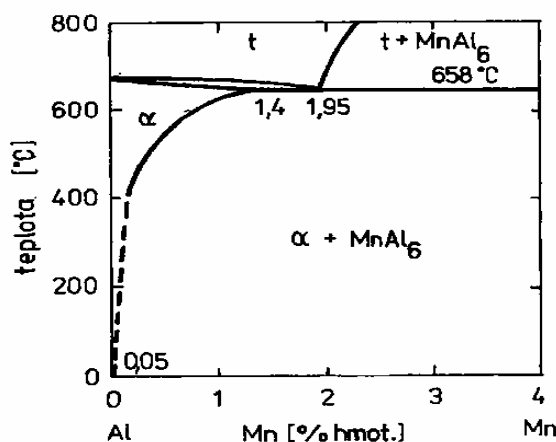
Slitiny Al – Mg – Si

Slitiny Al-Mg-Si jsou charakteristické nízkými obsahy přísadových prvků, které zpravidla nepřekračují 1,5%. Na rozdíl od slitin Al-Mg lze vytvářet tepelným zpracováním, přičemž lze dosáhnout meze pevnosti v tahu až 350 MPa. Jsou velmi dobře tvárné a svařitelné. Nacházejí použití zejména v letectví a stavebnictví. V automobilovém průmyslu jsou používány na součásti karosérií, žebrované hlavy válců, automobilové kování [1]

Slitiny Al – Mn

Slitiny Al-Mn se tepelně nevytvářejí, protože u nich lze vyvolat jen malé přesycení tuhého roztoku α, tudíž nelze docílit většího zvýšení pevnosti. Vlastnosti a použití jsou podobné jak u slitin Al-Mg. V průmyslu se vyrábí pouze slitina AlMn1, která má v měkkém stavu $R_m = 130$ MPa a po deformačním zpevnění až $R_m = 220$ MPa. Jedná se o materiál dobře tvařitelný a svařitelný s uspokojivou korozní odolností. Jeho využití nalézáme jako pevnější náhrada místo čistého hliníku nebo u pevnostně nepřilíš namáhaných součástí v chemickém, potravinářském (nápojové plechovky), stavebním, leteckém nebo automobilovém průmyslu (u přístrojů a nádrží). [1]

Obr. 3: Soustava Al-Mn [1]

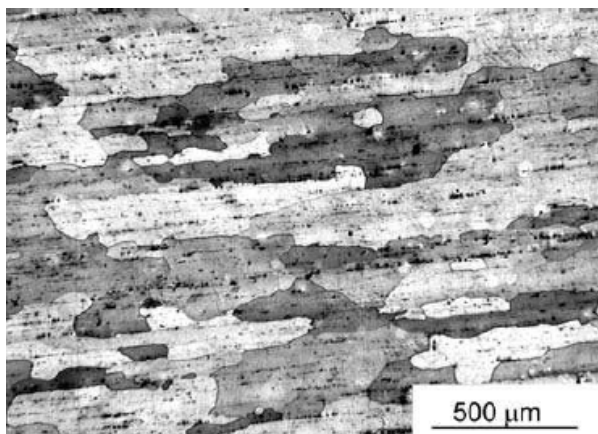


3.3.2. Slitiny s vyšší a vysokou pevností, ale s nízkou odolností proti korozi

Slitiny Al-Cu-Mg

Tyto slitiny patří k nejstarším a nejpoužívanějším vytvrzovaným slitinám hliníku. Prodělaly složitý vývoj od binárních slitin Al-Cu ke komplexním slitinám. Měď je totiž považována za jeden z nejdůležitějších prvků ve slitinách hliníku díky poměrně značné rozpustnosti a jejímu zpevňujícímu účinku. Maximální obsah mědi je zpravidla do 4,8%, avšak mechanické vlastnosti závisí též na obsahu hořčíku (0,4 - 1,8 %) a manganu do 1% [2]. Do jisté míry působí i křemík, který je u některých slitin záměrně přidáván a v jiných naopak omezován. Tyto slitiny mohou dosahovat pevnosti po vytvrzení tepelným zpracováním až $R_m = 530$ MPa [6]. Slitiny se vytvrzují převážně přirozeným stárnutím po rozpouštěcím žíhání při teplotách 490 – 520°C.

V automobilovém průmyslu jsou používány zejména slitiny AlCu4Mg a AlCu4Mg1. Vyráběny jsou z nich především výlisky a plechy, které mohou být chráněny proti korozi tenkou vrstvou hliníku (plátované duraly). Dále je používána slitina AlCu2Mg se zvýšenou tvárností pro výrobu nýtů.



Obr. 4: Mikrostruktura slitiny AlCu6 [3]

Slitiny Al-Zn-Mg

Slitiny Al-Zn-Mg a Al-Zn-Mg-Cu patří rovněž mezi vytvrditelné slitiny. Obsah zinku se zpravidla pohybuje v rozsahu 3-8%, hořčík je obvykle obsažen v množství 1-3% a pokud tyto slitiny obsahují i měď, tak maximálně do 2%. Jsou to slitiny hliníku dosahují nejvyšších pevností, až 600 MPa [3]. Proto se používají na vysoce namáhané součástky v leteckém a automobilovém průmyslu. Nevýhodou slitin s přísadou mědi je již zmiňovaná nepříliš dobrá korozní odolnost.

Slitiny Al-Li

Z vytvrditelných slitin lze ještě zmínit slitiny Al-Li. Vývoj těchto slitin je motivován zejména snahou o maximální snížení hmotnosti u součástek letadel. Kromě toho lithium umožňuje vytvrzování slitin s hliníkem. Binární slitiny Al-Li jsou velice křehké, proto se v praxi nepoužívají. Kromě Li (max. 3 %) jsou v komerčních slitinách proto ještě přítomny přísady dalších prvků, zejména Cu (až 5 %), Mg (až 2 %), popř. Zr nebo Mn. Plastickou deformací slitin za studena je možno dosáhnout vynikající kombinace tažnosti a pevnostních vlastností [3].

Z dalších méně typických tvářených slitiny hliníku lze zmínit např. AlCu8FeSi používanou pro kovaná pouzdra a pánve kluzných ložisek nebo AlSi12NiMg, což je tvářený silumin, používaný pro mechanicky a tepelně namáhané výlisky a výkovky např. kované písty spalovacích motorů [1].

Slitiny hliníku pro tváření		
ČSN		Rm [MPa]
Označení	Číslo	
AlMg2	424412	140 - 255
AlMg3	424413	170 - 280
AlMg5	424415	200 - 420
AlMn1	424432	130 - 220
AlCu4Mg	424201	180 - 440
AlCu4Mg1	424203	210 - 530
AlCu8FeSi	424261	260 - 320
AlSi12Ni1Mg	424237	160 - 320

Tab. 2: Pevnost vybraných slitin hliníku pro tváření [1]

3.4. Slitiny hliníku pro odlitky

Společným znakem slévárenských slitin hliníku je vyšší obsah přísad. Vznikají tak až eutektické nebo nadeutektické slitiny. Rozsáhlý výskyt intermetalických fází zhoršuje tvařitelnost těchto slitin. Slévárenské slitiny hliníku se používají k výrobě tvarových odlitků litím:

- do písku – vzniká hrubá struktura, nejnižší pevnostní charakteristiky
- do kovových forem – jemná struktura
- tlakově – jemná struktura

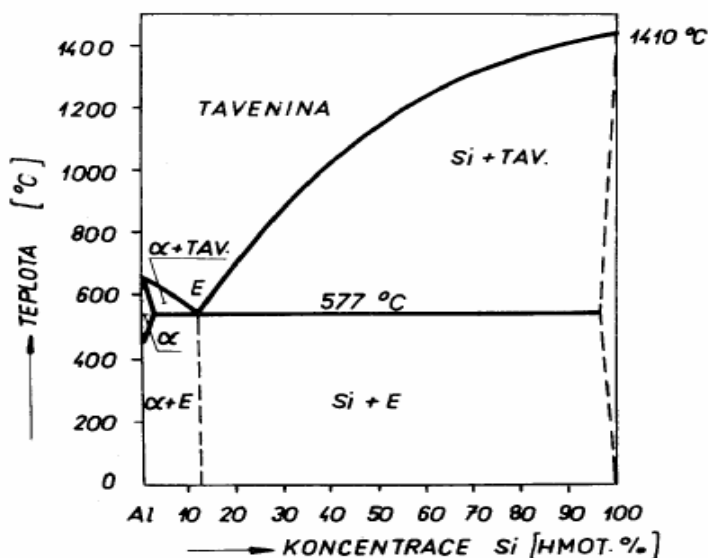
Mechanické vlastnosti odlitků jsou podstatně nižší oproti tvářeným výrobkům. Dosahovaná mez pevnosti se pohybuje maximálně do hodnot 250MPa. V dnešní době se nejčastěji používají slitiny hliníku s křemíkem, které jsou označovány jako siluminy. K méně používaným patří slitiny soustavy hliník-měď a hliník-hořčík. Na ústupu jsou slitiny hliníku se zinkem. [1,2]

Výhody slévárenských slitin hliníku [2]

- dobrá slévatelnost
- krátký interval krystalizace
- nízká teplota tavení
- odolnost vůči korozi
- malá náchylnost k tvorbě trhlin za tepla
- minimalizace vodíku v odlitku

Slitiny Al-Si

Nejdůležitějšími slévárenskými slitinami hliníku jsou slitiny Al-Si (siluminy). Binární rovnovážný diagram Al-Si (obr.5) je jednoduchý. Je to způsobeno tím, že hliník i křemík jsou kovy nepolymorfni, a také proto, že spolu netvoří chemické sloučeniny. Maximální rozpustnost křemíku v hliníku činí 1,65 % při eutektické teplotě 577 °C. S klesající teplotou se rozpustnost snižuje, takže za normální teploty jsou krystaly označené α tvořeny prakticky čistým hliníkem. Druhou fází ve struktuře těchto slitin jsou krystaly prakticky čistého křemíku.



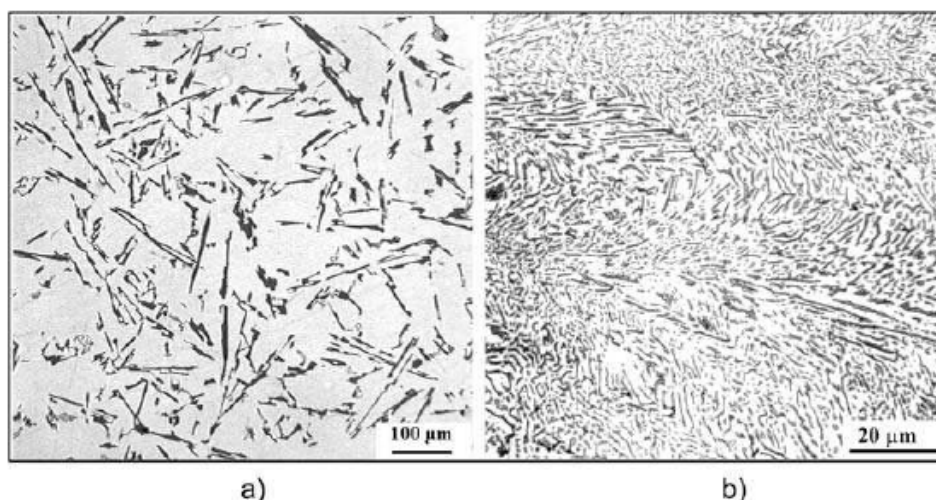
Obr. 5: Binární rovnovážný diagram soustavy Al-Si [1]

Velmi malá rozpustnost Si v hliníku nedovoluje tyto jednoduché binární slitiny Al-Si tepelně zpracovávat vytvrzováním. Z hlediska množství Si je můžeme rozdělit na :

- podeutektické (pod 11,7 % Si)
- eutektické (okolo 11,7 % Si)
- nadeutektické (11,7 až 24 % Si)

Pokud nejsou legovány dalšími prvky, označují se jako binární nebo jednoduché siluminy. Poprvé byly tyto slitiny vyrobeny před více jak 150 lety francouzským chemikem Sainte-Clair Devilem. Jedná se o slitiny s vysokou vysokou zabíhavostí, malým koeficientem lineární smrštivosti, dobrou odolností proti korozi, s možností svařování a pájení. Křemík se v těchto slitinách vylučuje ve tvaru hexagonálních desek, které zvyšují odolnost proti otěru, ale snižují hodnoty deformačních charakteristik a houževnatosti. [2]

Ke zlepšení mechanických vlastností se do siluminů přidává velmi malé množství (cca 0.01 hm.%) Na nebo Sr. [2] Tyto tzv. modifikované siluminy se pak vyznačují jemnější mikrostrukturou (jemné částice Si v podeutektických slitinách, obr. 6) a tím pádem lepšími mechanickými vlastnostmi.



Obr. 6: Ukázka struktury nedeformovaného (a) a modifikovaného (b) siluminu AlSi12 [3]

Binární siluminy Al-Si se však používají zřídka, osvědčily se hlavně jako pájky. K odlévání tvarových odlitků se používají tzv. speciální siluminy, s dalšími přísadovými prvky.

Speciální siluminy

Největší vliv na zlepšení pevnostních charakteristik siluminů mají přísady mědi a hořčíku, které umožňují takto vznikající speciální siluminy Al-Si-Cu a Al-Si-Mg vytvrzovat a dosáhnout pevnosti až 300 MPa [3]. Přísadami ještě dalších prvků (Mn, Ti, Zn, Ni) vznikají siluminy o čtyřech i více složkách, které mají zlepšené některé další vlastnosti. Slévárenské vlastnosti všech speciálních siluminů jsou však horší než u siluminů binárních.

V automobilovém průmyslu se používají např. siluminy s přísadou niklu a mědi, příp. železa. V těchto slitinách vznikají vícesložkové fáze, které mají dobrou tepelnou stabilitu, proto si slitiny s obsahem 1-2 % Ni zachovávají dobré mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. Slitiny s niklem mají i poněkud menší součinitel teplotní roztažnosti. Z tohoto důvodu se používají zejména pro písty a hlavy válců motorů. Slévárenské vlastnosti se s obsahem niklu zhoršují. Vyloučení velmi jemné intermetalické fáze niklu nemá prakticky žádný vliv na obrobiteľnosť ani na odolnosť proti korozi. Obdobné účinky jako přísada niklu má i kobalt.

Slitiny Al-Si-Cu se vyznačují sníženým obsahem křemíku. V současnosti patří k velmi používaným slitinám, protože se vyznačují svými velmi dobrými slévárenskými vlastnostmi. K jejich přednostem patří dobrá obrobiteľnosť, při chladnutí se u nich netvoří soustředěné staženiny a nedochází ke vzniku trhlin za tepla. Součástí této slitiny je měď, která zlepšuje vlastnosti za vyšších teplot, ale současně snižuje odolnost proti korozi. Odlitky jsou vyráběny metodou tlakového odlévání a jsou používány na automobilech jako armatury benzínových motorů, karburátory a ucpávky.

Mechanické vlastnosti slitin Al-Si závisejí v první řadě na obsahu křemíku. S jeho rostoucím obsahem roste tvrdost a klesá tažnosť, zejména při nadeutektickém obsahu Si. Nadeutektické slitiny Al-Si jsou tedy nejtvrdší a jsou proto využívány u součástek namáhaných na otěr (např. písty).

Slitiny Al-Cu

Jedná se o binární slitiny. Odlitky jsou používány při vyšších teplotách kolem 350 až 450 °C. Vyznačují se širokým teplotním intervalem krystalizace (90 až 100 °C), kterým se zhoršují slévárenské vlastnosti (menší zabíravost, tvorba trhlin a mikropórů). Měď obsažená ve slitině zhoršuje korozní odolnost, odlitky je proto nutno povrchově chránit. U automobilů se odlitky z těchto slitin používají pro hlavy válců a rozměrově větší písty. [1]

Slitiny Al-Mg

Použití těchto slitin je především u součástí, u kterých se požaduje vysoká odolnost proti korozi a pro namáhané odlitky s náhlými změnami průřezu. Vyznačují se vysokou měrnou pevností, rázovou houževnatostí, vysokou tažností, obrobiteľností a nízkou hustotou. Vyznačují se horšími slévárenskými vlastnostmi, větší pórovitostí a nižší těsností odlitků.

Uplatnění v automobilovém průmyslu našly jako pedály, řadící páky nebo jsou součástí podvozků. [1]

Slitina Al-Mg-Si

V těchto slitinách má křemík za úkol zlepšit zabíravost součástí a snížit možnost vzniku trhlin. Někdy se v těchto materiálech vyskytuje v malé míře i měď a pak tyto slitiny AlMgSiCu mají horší odolnost proti korozi. Měď však působí kladně, a to zvýšením pevnosti slitiny.

Slitiny typu AlMgSi se používají na více namáhané odlitky pracující při vyšších teplotách. Na automobilech je nalezneme na žebrované hlavě válců motorů nebo jako automobilové kování. Tyto slitiny ovšem zasahují i do ostatních odvětví jako je vnější či vnitřní architektura, nádobí a fotografické přístroje. [1,2]

Slitiny hliníku pro odlitky			
Základní báze	ČSN		Rm [MPa]
	Označení	Číslo	
Al-Si-Mn	AlSi12Mn	424330	140 -180
Al-Si-CU	AlSi6Cu2	424353	150 - 160
	AlSi8Cu2Mn	424339	240
Al-Cu	AlCu4Ni2Mg	424315	160 -240
	AlCu8FeSi	424361	160 -200
Al-Mg-Si	AlMg5Si1Mn	424515	120 -170
	AlMg10SiCa	424519	240

Tab.3: Pevnost vybraných slitin hliníku pro odlitky

3.5. Tepelné zpracování hliníku a jeho slitin

Tepelné zpracování lze definovat jako proces, při kterém je výrobek podroben ohřevu a následnému ochlazení za účelem dosažení požadované struktury a vlastností. Lze ho rozdělit na žihání a vytvrzování.

3.5.1. Žihání

Tvářené i slévárenské slitiny se žihají zejména na snížení vnitřního pnutí, stabilizačně a rekrystalizačně.

Žihání ke snížení vnitřního pnutí

Pohybuje se pod rekrystalizační teplotou při teplotách 300 až 400°C. K poklesu vnitřního pnutí dochází již při teplotách 200 - 300 °C (prodleva až 8 h), účinnější je však žihání za teplot 300 - 400 °C s pomalým ochlazováním, kdy však může dojít k poklesu hodnot pevnosti. Z tohoto důvodu se většinou volí řízené ochlazování. Používá se u složitých výrobků tvářených za tepla nebo po svařování.

Žihání rekrystalizační

Používá se jako mezioperace k odstranění zpevnění po předchozím tváření za studena. Teplota se obvykle pohybuje v rozmezí 300 až 500°C.

Žihání stabilizační

Používá se u odlitků a tvářených předmětů, které budou pracovat za zvýšených teplot, pro stabilizaci rozměrů a vlastností. Žihací teplota musí být vyšší než pracovní a bývá v rozmezí 240 - 360 °C.

Žihání homogenizační

Spočívá v ohřevu na poměrně vysoké teploty, které se mohou blížit až k teplotě solidu. Jeho cílem je odstranit nebo zmenšit difuzními procesy chemickou heterogenitu, která je důsledkem odmíšení, zejména dendritického.

Žihání vytvrzených slitin

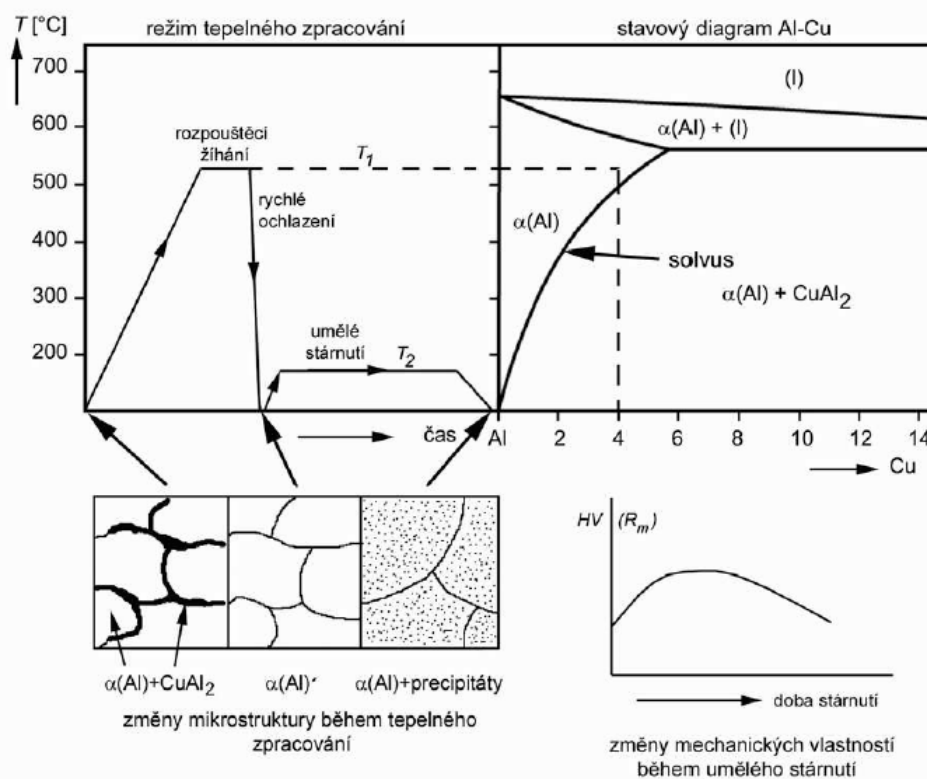
Dochází při něm k odpevnění materiálu. Používá se u materiálu, který je určen k dalšímu tváření. Žihací teploty se obvykle pohybují v rozmezí 350°C - 450°C.

3.5.2. Precipitační vytvrzování

Precipitační vytvrzování je tepelné zpracování, které se využívá ke zvýšení hodnot pevnostních charakteristik slitin. Postup tohoto tepelného zpracování je podobný kalení a popouštění ocelí, ale mechanismus vytvrzení je odlišný. Základními předpoklady pro to, aby slitina byla vytvrditelná, jsou:

- slitina musí obsahovat dostatečné množství legujícího prvku
- legující prvek musí mít dostatečnou rozpustnost v tuhém roztoku
- rozpustnost legujícího prvku v tuhém roztoku musí s rostoucí teplotou vzrůstat.

Princip a postup precipitačního vytvrzování je možné ukázat např. na nejznámější vytvrditelné slitině hliníku AlCu4Mg. Výřez rovnovážného diagramu soustavy Al-Cu a souvislost mezi změnou struktury a postupem vytvrzování jsou znázorněny na obr.7. Za pokojové teploty je rozpustnost mědi v hliníku nižší, než je její celkový obsah ve slitině, což znamená, že mikrostruktura je heterogenní. Kromě tuhého roztoku α ji tvoří intermediální fáze CuAl_2 , vyloučená jako síťová po hranicích zrn tuhého roztoku α , což negativně ovlivňuje pevnostní a zejména deformační charakteristiky slitiny [3]. Cílem precipitačního vytvrzování je tento stav změnit k lepšímu.



Obr.7: Princip a postup precipitačního vytvrzování [3]

Precipitační vytvrzování se skládá ze tří základních kroků:

1. rozpouštěcí ohřev
2. rychlé ochlazení
3. umělé stárnutí

Rozpouštěcí ohřev je třeba provádět při teplotě ležící nad křivkou změny rozpustnosti, tedy v oblasti homogenního tuhého roztoku α . Při tomto ohřevu dojde k rozpuštění fáze CuAl_2 v tuhém roztoku. U slitin hliníku leží teploty rozpouštěcího žhání v rozmezí teplot 470-530°C.

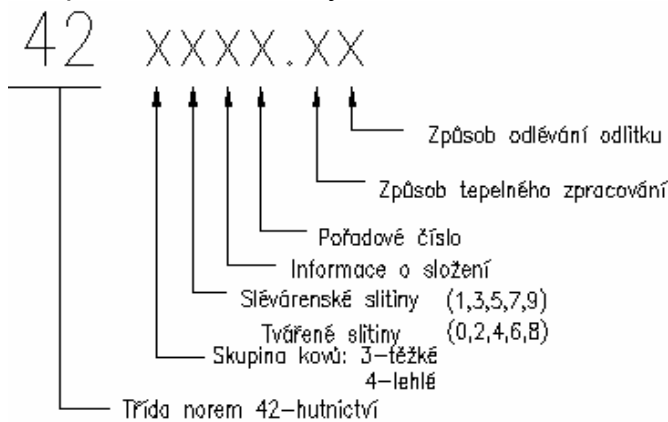
Po rozpouštěcím ohřevu následuje rychlé ochlazení, takže fáze CuAl_2 se ve struktuře vyloučit nestihne a vznikne přesycený tuhý roztok α' , u něhož je obsah legujícího prvku vyšší, než by odpovídalo rovnovážné koncentraci.

Po rychlém ochlazení následuje přirozené (za pokojové teploty) nebo umělé (při teplotě 140-200°C) stárnutí. V této fázi dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku α' , který je spojen s procesem precipitace. V tuhém roztoku dochází k vylučování velice jemných částic (precipitátů) fáze CuAl_2 . Jelikož tyto precipitáty představují účinnou překážku pro skluz dislokací, je jejich vznik spojen s výrazným zpevněním slitiny (nárůstem pevnosti a tvrdosti).

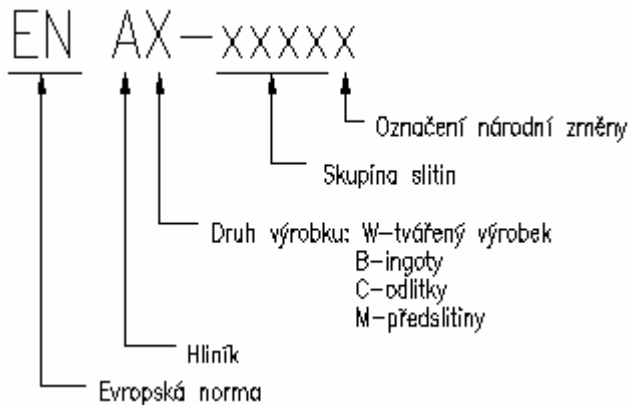
3.6. Značení hliníku a hliníkových slitin podle ČSN EN

Slitiny hliníku pro tváření podle ČSN EN 573-1

Třídění podle klasického systému ČSN



a) Číselné značení



Tvorba čtyřčíslicí: První ze čtyř číslic udává skupinu slitin

1xxx (řada 1000)	obsah hliníku min. 99%
2xxx (řada 2000)	měď
3xxx (řada 3000)	mangan
4xxx (řada 4000)	křemík
5xxx (řada 5000)	hořčík
6xxx (řada 6000)	hořčík a křemík
7xxx (řada 7000)	zinek
8xxx (řada 8000)	ostatní prvky
9xxx (řada 9000)	neobsazená řada

Ve skupině 1xxx poslední dvě číslice udávají min. obsah Al v procentech, jsou shodné se dvěma číslicemi za desetinou čárkou minimálního procentního obsahu. Druhá číslice vyjadřuje změny obsahu doprovodných prvků.

Ve skupině 2xxx až 8xxx poslední dvě čísla rozlišují hliníkové slitiny a druhá číslice vyjadřuje modifikaci těchto slitin.

b) Chemické značení

Značení podle ČSN EN 573-2

EN AW xxxx [XYZ]

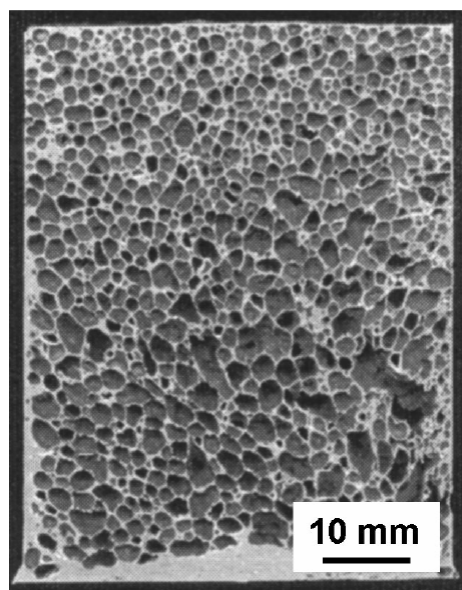
Chemická značka se skládá z chemické značky hliníku a čísla udávající procentní čistotu základního kovu s přesností na jedno nebo dvě desetinná místa.

Příklady slitin: EN AW-1190 [Al99,99], EN AW-1070A [Al99,7] [7]

4. PĚNOVÝ HLINÍK

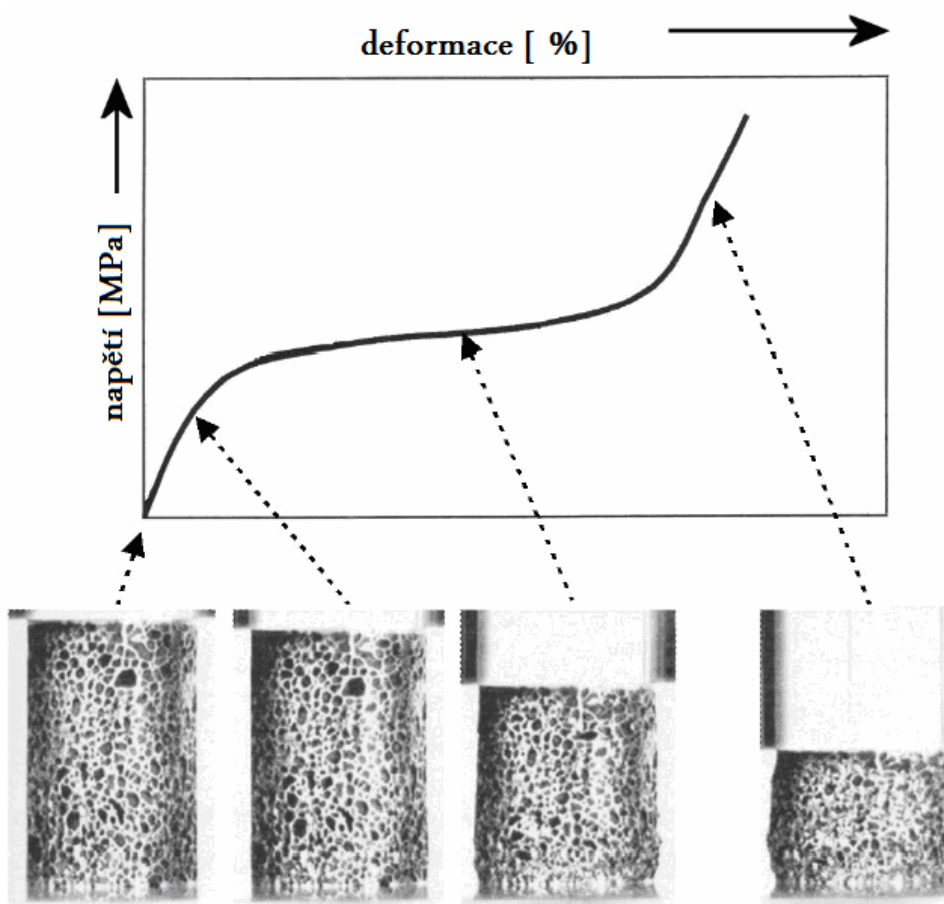
Tzv. kovové pěny se v dnešní době dají vyrobit snadno z mnoha kovů, kromě Al také z Ni, Cu, Ti, Mg, Zn, Pb, Fe. Ze všech těchto kovů se v dnešní době používá v průmyslové praxi právě hliník a jeho slitiny. Hliník má totiž oproti jiným kovům mnoho výhod ke kterým patří nízká hustota měrná hmotnost, vysoká houževnatost a tuhost a dobrá odolnost proti korozi.

Kovové pěny jsou vysokoporézní materiál s buňkovou (celulární) strukturou. Skládají se z kovového skeletu a pórů vyplněných plynem, přičemž póry tvoří více jak 70% objemu materiálu, (obr.8). Světlé oblasti na obrázku odpovídají kovovému hliníku tvořícímu skelet pěny a tmavé oblasti pórům. Díky celulární struktuře se kovové pěny vyznačují vysokou pevností při nízké měrné hmotnosti, dobrou absorpcí nárazové energie bez ohledu na směr nárazu, vysokým koeficientem pohltivosti zvuku, dobrou tepelnou stabilitou a nehořlavostí. Vlastnosti kovových pěn závisí zejména na vlastnostech pórů, tedy celkové pórovitosti, tvaru, velikosti a orientaci pórů, rozměrové homogenitě pórů, ale také na tloušťce stěn kovového skeletu. Póry ve slévárenských slitinách jsou malé, nepravidelného tvaru, stěny pórů jsou tenké a struktura je nerovnoměrná. U tvárných slitin jsou póry velké a kruhové a stěny jsou mnohem silnější.[2]



Obr.8: Struktura kovové pěny [8]

Hliníkové pěny se nejčastěji vyrábějí z čistého hliníku, siluminů nebo slitin na bázi Al-Mg-Si [8]. Jejich vlastnosti se od kompaktních materiálů stejného chemického složení výrazně liší. Hliníkové pěny mají nižší měrnou hmotnost ($0,07$ až $0,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$), horší tepelnou a elektrickou vodivost, ale i lepší pohltivost zvukových vln. Celulární struktura předurčuje použití hliníkových pěn v podmínkách tlakových zatížení.



Obr.9: Tlaková napětově-deformační křivka hliníkových pěn [8]

Tlaková napěťově-deformační křivka hliníkových pěn se skládá ze tří částí (obr.9):

- Oblast elastické deformace při působení nízkých napětí. Zatěžování v této oblasti se projeví reverzibilním ohybem stěn pórů.
- Oblast plastické deformace při velmi pozvolném nárůstu napětí. V této etapě se trvale deformují stěny kovového skeletu.
- Oblast zhutňování, kde s nárůstem napětí roste celková deformace materiálu. Výsledkem tohoto procesu je snižování pórovitosti kovové pěny.

4.1. Výroba pěnového hliníku

Vyrábí se především vytvořením plynových bublin v hliníkové tavenině a následným ztuhnutím tekuté hliníkové pěny. Zpěňovací způsoby výroby pěnového hliníku lze rozdělit do několika skupin, které se liší těmito procesy:

- plyn se vhání do hliníkové taveniny z externího zdroje
- poréznost v tavenině vniká v důsledku tepelného rozkladu přimíchaného zpěňovačla
- přesyceným plynem nebo roztavením tuhého zpěnitelného polotovaru obsahující částice zpěňovala

4.1.1. Metoda SAF

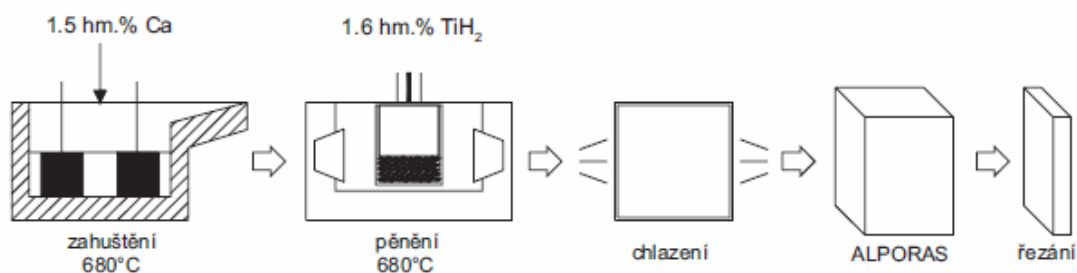
Metoda, při které se vhání plyn do hliníkové taveniny z externího zdroje, se často označuje jako metoda SAF. Tato metoda je založena na principu zvýšení viskozity hliníku v tavenině přidáváním částic keramických prášků karbidu křemíku, oxidu hořečnatého nebo hlinitého. Do taveniny se za pomoci dmychadla vhánějí plyny (vzduch, dusík), pomocí nich vznikají jemné a rovnoměrně rozmístěné plynové bubliny. K tuhnutí pěny dochází při jejím vytažení z tavicí pece pomocí dopravníku. Nevýhodou této metody je složitá recyklovatelnost pěnových desek díky obsahu keramických částic. Touto metodou se vyrábějí hlavně kontinuálně lité desky. [2]

4.1.2. Metoda LKR

Do taveniny se vhánějí plyny, které pomocí probublávajícího přípravku stoupají vzhůru k povrchu taveniny, kde se shromažďují a vytvořená pěna zaplňuje dutinu formy. Tato metoda je vhodná pro výrobu složitých výrobků. [2]

4.1.3. Metoda ALPORAS

Dalším principem výroby pěnového hliníku je metoda ALPORAS. Do taveniny se přidává vápník, který způsobí výrazné zahuštění. Poté se do taveniny přimíchá zpěňovač, čímž dojde k vytváření vodíkových bublin. Tavenina začne nabývat a vyplňovat vypěňovací formu. Pěnový hliník vzniklý touto metodou využívá díky svým vynikajícím tepelně-zvukoizolačním vlastnostem. Nedostatkem těchto odlitků je nízká pevnost a obtížná recyklovatelnost.



Obr.10: Výroba pěnového hliníku ALPORAS [2]

4.1.4. Metoda GASAR

Tato metoda je založena na tuhnutí hliníkové taveniny přesyceným plynem. Při této metodě se hliník roztaví ve vodíkové atmosféře, kdy se reguluje tlak tak, abychom dosáhli eutektické koncentrace. Po dosažení eutektické koncentrace začneme taveninu řízeně ochlazovat a vzniká nám eutektická směs složená z vodíkových pórů, tuhého hliníku nebo jeho slitiny. Strukturu pěnového hliníku vyrobenou touto metodou především ovlivňuje obsah a tlak vodíku, dále také rychlost odvodu tepla a chemické složení hliníkové slitiny. K nevýhodám této metody patří vysoké výrobní náklady a nutnost vysoké bezpečnosti při výrobě. [2]

4.1.5. Metoda roztavením obsahující částice zpěňovadla

Do roztaveného hliníku se přidá zpěňovací prášek TiH_2 , který bývá tepelně zpracován. Po rychlém vmíchání prášku do taveniny se odlije ingot, a níž by se začal uvolňovat vodík. Pro získání homogenní struktury se do taveniny přidávají částice Al_2O_3 nebo SiC , které zde slouží jako stabilizátory.

4.1.6. Metoda ALULIGHT

Jedná se o práškovo-metalurgický způsob výroby pěnového hliníku. Hliníkový prášek se smíchá s zpěňovadlem, kterým bývá nejčastěji TiH_2 nebo ZrH_2 . Polotovar se vyrábí ve formě tyčí, drátů, které vznikají izostatickým lisováním za studena a následně protlačovacím lisováním za tepla. Polotovar se následně roztaví a vlivem zpěňovadla se začne v tavenině uvolňovat vodík, který způsobuje vznik pórů v tavenině. Po následném ochlazení hliníkové pěny pod teplotu tavení dosáhneme tuhého pěnového hliníku. Polotovar může vložit do zpěňovací formy a ohřát na teplotu tavení, přičemž dochází k vyplňování dutiny formy. Tímto způsobem můžeme vyrábět pěnový hliník jak ze slévarenských slitin tak i z tvárných slitin. [2]

4.2. Použití pěnového hliníku

- Lehké a tuhé konstrukce dopravních prostředků, dopravníků, robotů
- Deformační zóny vozidel, výtahů,
- Trvalá jádra hliníkových odlitků
- Kryty elektronických přístrojů sloužící k pohlcování elektromagnetického záření
- Zvukoizolační panely

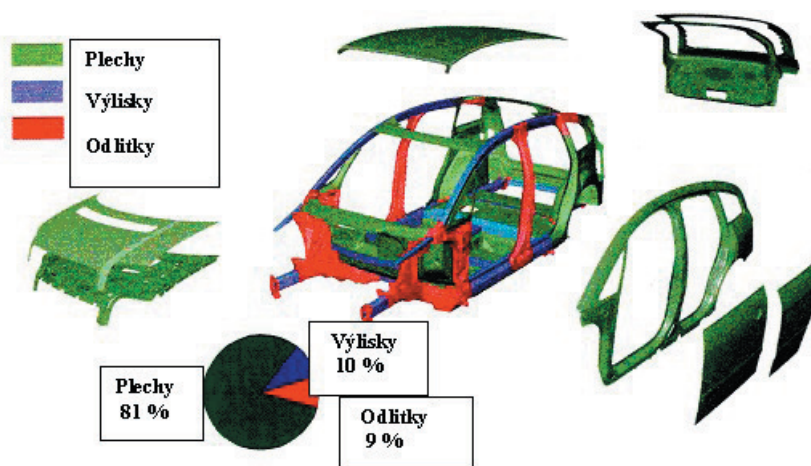
Pěnový hliník si našel hlavní uplatnění v oblasti lehkých konstrukcí. U těchto konstrukcí je výhodou nízká hmotnost při zachování ohybové tuhosti. Absorpce mechanické energie je způsobena jeho porézní strukturou. Této schopnosti se využívá typicky u deformačních zón automobilu. Při havárii automobilu má schopnost tlumit vibrace a během jízdy dochází ke snížení hlučnosti vozidla.

V současnosti existuje mnoho způsobů výroby pěnového hliníku, jimiž lze vyrábět vysoce kvalitní součástky složitého tvaru i značné velikosti. Výroby těchto součástek dosahujeme i při poměrně nízkých výrobních nákladech. Do budoucna je stále mnoho vlastností, které lze u kovových pěn zlepšovat, ať už mezi ně patří vyšší tuhost, nižší hmotnost nebo třeba odolnost vůči velmi vysokým teplotám.

5. HLINÍK V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

Hliník se začíná objevovat v automobilovém průmyslu čím dál častěji a hlavním faktorem je jeho nízká měrná hmotnost. Porovnáme-li stejný objem součástek z oceli a hliníku, získáme výraznou hmotnostní úsporu při použití hliníku a jeho slitin. Univerzita v Aachenu provedla výpočet, jaká by byla úspora hmotnosti u běžného rodinného automobilu o pohotovostní hmotnosti 1229 kg při co nejoptimálnějším využití slitin hliníku. Konečná hmotnost tohoto vozu činila 785 kg. To by znamenalo, že rozsáhlejší použití hliníku může snížit spotřebu automobilů o dalších zhruba deset procent bez jakýchkoli vlivů na pevnost. Výpočty ukázaly, že rozsáhlejší použití hliníku ve voze nižší střední třídy je cenově srovnatelné například s použitím hybridních technologií a i úspory na palivu jsou víceméně shodné. Lehčí hliníkové vozy mají přitom daleko lepší jízdní vlastnosti než těžké hybridy z ocelových materiálů. Snížení hmotnosti použitím hliníku rovněž umožňuje snížit i náklady a nároky na pohonné jednotky. [9]

V úvahu však musíme brát nejen nízkou měrnou hmotnost hliníku a jeho slitin, ale zároveň i nižší pevnost. Měrná hmotnost hliníku je 2700 kg/m^3 , což je přibližně třetina hodnoty měrné hmotnosti oceli. Ale takové redukce hmotnosti je dosaženo pouze teoreticky, neboť pro většinu dílů je nutné zvýšit nosný průřez součástí z hliníku ve srovnání s tímtož dílem z oceli. Například pokud je nahrazena součást z oceli původní tloušťky 0.8 mm dílcem ze slitiny hliníku s tloušťkou 1,2 mm, je dosaženo redukce hmotnosti o 50%. Nicméně vztah mezi vlastnostmi materiálu (pevnost, tuhost a hmotnost komponent) je velmi komplexní a může být silně ovlivněna tvarem a geometrií dílce, takže neexistuje absolutní pravidlo určující hmotnostní úsporu. V praxi je nutné zvážit každou součást individuálně a určit skutečnou možnost redukce hmotnosti. Např. reálná úspora hmotnosti karoserie vyrobené ze slitin hliníku (obr.11) je 40% v porovnání se stejnou karosérií vyrobenou z oceli. Z celkové pohotovostní hmotnosti automobilu lze díky hliníkové karosérii snížit hmotnost automobilu asi o 12%.

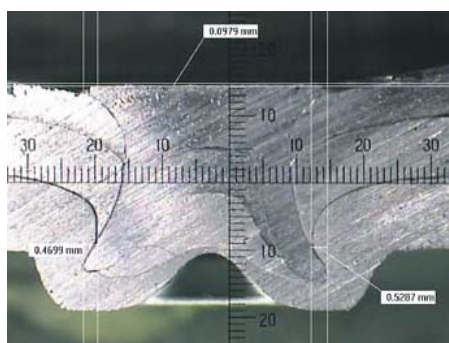


Obr.11: Koncepte vozu Audi 100 (C3) vyrobeného z hliníkového plechu [2]

Avšak ne všechny díly automobilu je vhodné ze slitin hliníku vyrábět. Velmi namáhané součásti jako např. nápravy je výhodnější vyrábět z oceli. Kromě nižší pevnosti je nevýhodou hliníku i jeho vyšší cena v porovnání s ocelí, čímž se zvyšuje

celková cena vozu. Na druhou stranu se hliník snadno recykluje a to až 95% hmotnosti hliníkových částí automobilu.

Dalším důvodem, proč není hliník v automobilovém průmyslu používán v maximální míře, je jeho obtížnější spojování. Např. ke spojování ocelových plechů se používá bodové svařování. U hliníku je svařování mnohem obtížnější z důvodu nízké teploty tání. Další možností spojování je nýtování. Společnost Henrob vyvinula novou technologii, jejíž výsledný produkt je znázorněn na obr.12. Při této technologii se provrtají pouze vrchní pláty. Speciální nýt se totiž nastřelí do spodního plechu a zbývající jeden, dva či více plechů zůstanou pevně spojeny. Problém nastává v tom, že tyto nýty musí být vyrobeny z té nejlepší oceli a jak známo, hliník není dobré dávat do kontaktu s ocelí. Vzniká tak tzv. elektrochemická koroze, která dokáže spojení znehodnotit. Nýty se tedy musí upravit speciální látkou, která tomuto jevu zabraňuje. [10]



Obr.12: Detailní foto snýtování tří hliníkových panelů [10]

Důvody použití hliníku pro kostru a karosérii automobilu

- Snížení hmotnosti → snížení spotřeby paliva, zvýšení výkonu, snížení emisí
- Delší doba životnosti
- Odolnost proti korozi
- Možnost kombinace s jinými materiály
- Separace odpadů

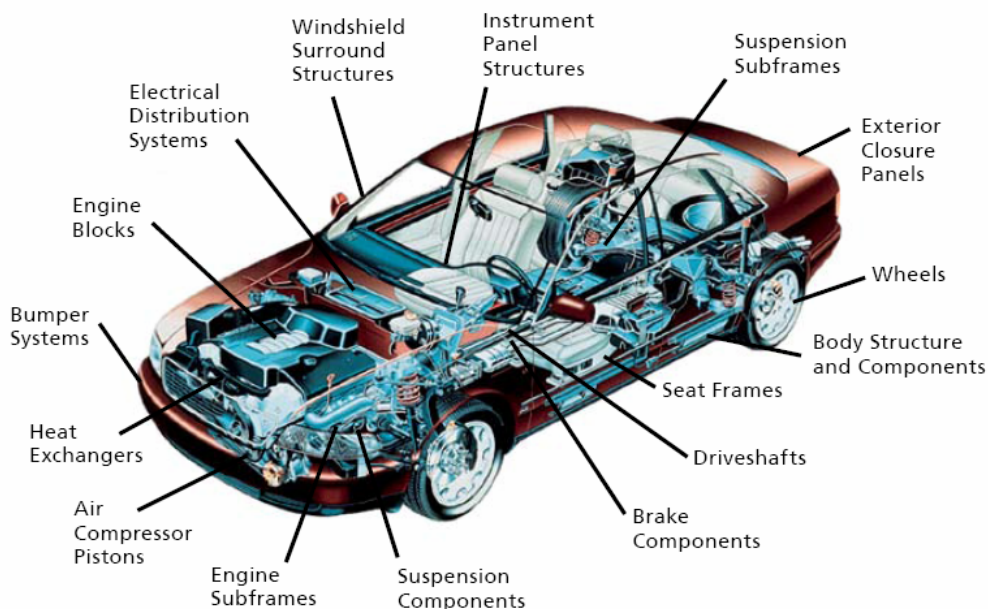
5.1 Příklady použití hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu:

Hliník a jeho slitiny se v konstrukci automobilů využívají stále častěji. Jeho aplikace jsou velmi rozmanité a každý výrobce má své vlastní způsoby a použití těchto slitin. Základním důvodem pro použití slitin hliníku v konstrukci automobilu je samozřejmě jejich nízká měrná hmotnost a také dobrá korozní odolnost. S jejich využitím však souvisí i některá negativa, jako je problematictější spojování než u oceli a také vyšší cena.

- *Interiér automobilu*
součásti sedadel, palubní deska, lomené podpěrky, součásti sloupku řízení, volant, ramena pedálů, schránky pro air bag, rámeček pro odvod tepla z rádia, kryty rádia, součásti posuvné střechy, ramena zrcátek, schránky pro dálková světla, vnitřní rámy dveří, vyztužené sloupky, odlitky pro systém ovládání oken a pro navijáče pasů, atd.

- *Exteriér automobilu*

Karoserie, kryt motoru, střešní panely, ráfky kol, součásti chladiče, skříň převodovky, rozdělovač, sací potrubí, držáky příslušenství pohonu, elektrické konektory, písty, blok motoru, kryty hlav válců, olejová vana, skříň startéru a alternátoru, vodní pumpy, střešní nosiče, odlitky pro stěračový systém

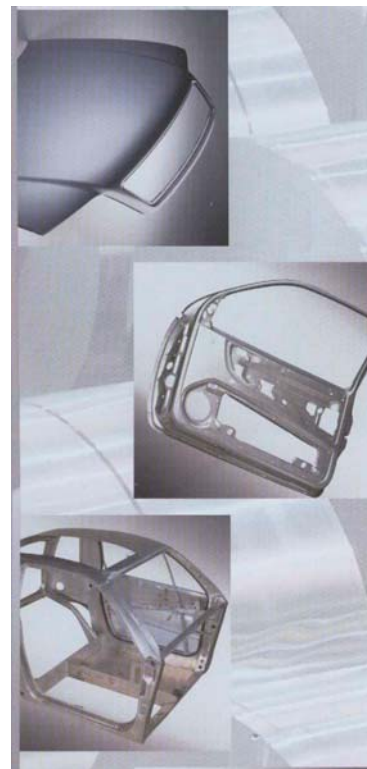


Obr. 13: Ukázka použití slitin hliníku v konstrukci automobilu [9]

Hliníkový rám

Pionýrem a technologickým průkopníkem použití hliníkové technologie při velkosériové výrobě karoserií je automobilka Audi. U automobilů této značka se používá prostorový rám ASF (Audi Space Frame), což je vysoce tuhá rámová struktura, do které jsou integrovány plošné karosářské panely. Výsledkem je optimální lehká konstrukce při nejvyšším komfortu, kvalitě a bezpečnostní úrovni.

Modely Audi A8 a Audi A2 mají prostorový hliníkový rám Audi Space Frame (ASF). Jde o vysoce pevnou strukturu s hliníkovým rámem (obr. 14), do něhož je každý plochý díl upevněn tak, aby se podílel na její únosnosti. Ve spojení s těmito vysoce pevnými hliníkovými plechy se hliníková karoserie vyznačuje mimořádně vysokou tuhostí, a tím i nadprůměrnou bezpečností při srážce. Zároveň je velice lehká. Pro srovnání: Audi A2 váží 895 kg, což je o zhruba 150 kg méně než srovnatelná vozidla kompaktní třídy s konvenčními ocelovými karoseriemi.



Obr.14: Celohliníková karosérie [2]

U Audi A8 (obr. 15) je použita nejnovější generace ASF. V porovnání s předchůdci má o 60% vyšší pevnost v krutu a je zárukou větší bezpečnosti a dynamiky jízdy. Karoserie nového Audi A8 je pokládána za nejlehčí v luxusní třídě. Výhody ASF spočívají nejen v nižší hmotnosti a vysoké tuhosti karoserie, ale také v možnosti libovolně tvarovat odlévané díly a složité profily, což u ocelového plechu nepřichází v úvahu.



Obr:15: Audi model A8 s hliníkovým ASF nosným rámem [10]

Rámy automobilů se nejčastěji svařují, např. metodou MIG nebo laserem. Ke spojování se používají také speciální metody nýtování. Nevýhodou těchto prostorových rámu je jejich cena opravy při případné nehodě.

Litá kola

Výhodou litých kol není pouze elegantnější vzhled (obr. 16), ale zejména lepší užité vlastnosti. Ráfky ze slitin hliníku jsou lehčí než klasické ocelové disky, nabízí se tedy použití větších průměrů a šířek oproti standardním rozměrům ráfků. Větší průměr zvyšuje komfort jízdy a větší šířka zaručuje vyšší stabilitu v zatáčkách. Předností těchto kol také je, že jsou dobře odolné vůči korozi a tím je z tohoto pohledu vyšší i jejich životnost v porovnání s klasickými ocelovými ráfků. Litá kola se vyrábějí ze slitin typu Al-Si-Cu a Al-Si-Mg [11, 12].



Obr.16: Ráfek osobního automobilu [2]

Postup výroby litých kol:

Nejdříve se vytvoří návrh v 3D grafickém softwaru. Následně se zhotoví skutečný model ze dřeva nebo plastu, na kterém se provádí teplotní simulace polí pro získání ideálních podmínek pro chladnutí, zohledňující veškerá namáhání, která při chladnutí vznikají. Vlastní výroba ráfků se provádí tlakovým litím do přehřáté kokily a hotové odlitky se poté tepelně zpracovávají. Následně se kola obrábějí a lakují. Během celé výroby jsou ráfky kontrolovány a testovány. Kontrolují se rentgenem na přítomnost vad (např. bublin) v odlitku, dále se kontroluje jejich chemické složení a rozměry. [2]

Písty

Písty spalovacích motorů (obr. 17) se vyrábějí ze siluminů s obsahem křemíku (12-18%) a dalších prvků v konstrukčním provedení podle požadovaného použití. Písty můžeme rozlišovat pro dieselové nebo benzinové motory, písty pro dvoutakty, pro nákladní automobily, příp. pro další dopravní prostředky.

Písty se nejčastěji vyrábějí metodou gravitačního lití do kovových forem na licích strojích. Odlévaná slitina hliníku bývá modifikována a odplyněna. Jednostupňové a dvoustupňové písty se většinou tepelně zpracovávají. Jejich opracování se provádí na NC strojích. Jako poslední krok výroby se provede úprava povrchu, kam lze zařadit např. fosfátování nebo eloxování. U pístů se rovněž provádí důkladná kontrola na přítomnost vad v odlitcích (rentgenem), analýza chemického složení (spektrometrem) a kontrola rozměrů.



Obr.17: Píst spalovacího motoru [2]

Turbodmychadla

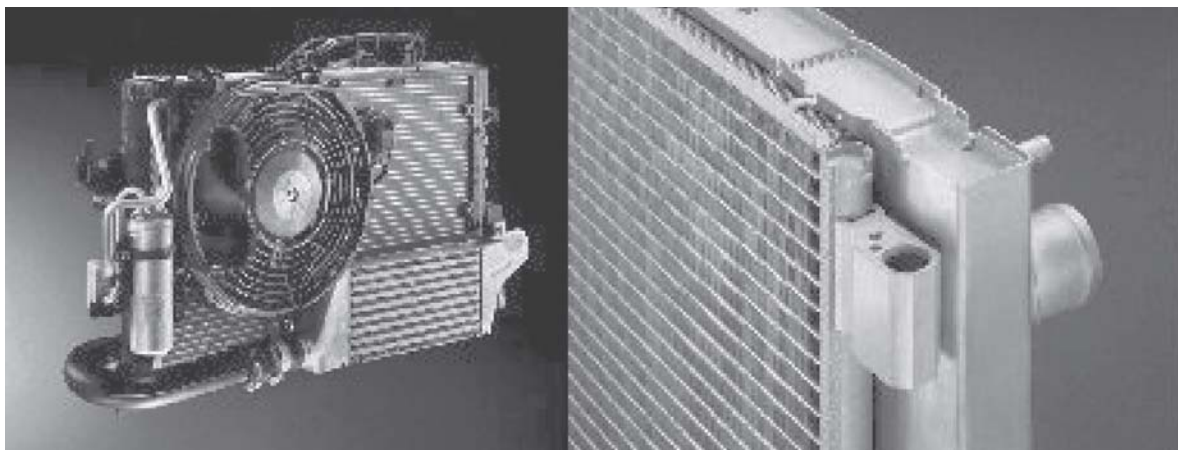
Turbodmychadlo (obr. 18) slouží ke snížení spotřeby paliva a snížení emisí. Komponenty turbodmychadla, které jsou vyráběné ze slitin hliníku, jsou oběžné kolo dmychadla a skříň dmychadla.



Obr.18: Turbodmychadlo [2]

Chladiče

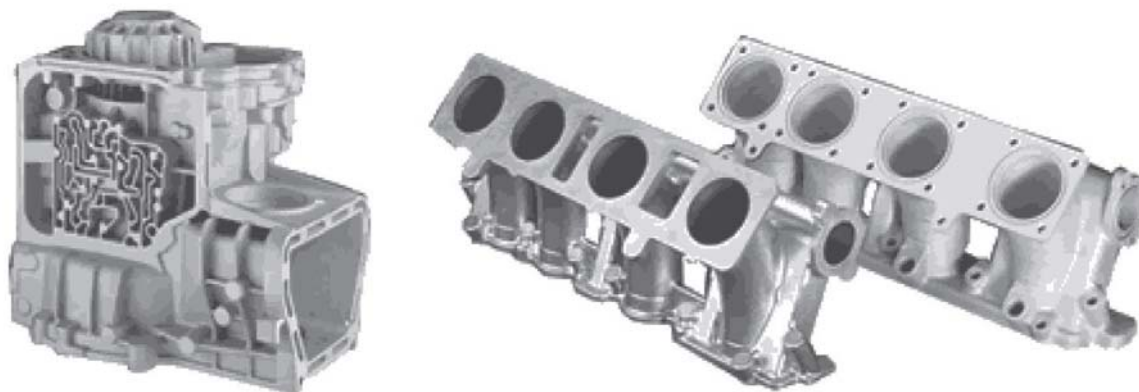
Chladiče (obr. 19) slouží k ochlazení chladicí kapaliny spalovacího motoru a případně k ochlazení nainstalované klimatizace. Pro správný chod této jednotky se používají výměníky ze slitin hliníku.



Obr.19: Chladící jednotka osobního automobilu [2]

Blok motoru a kliková skříň

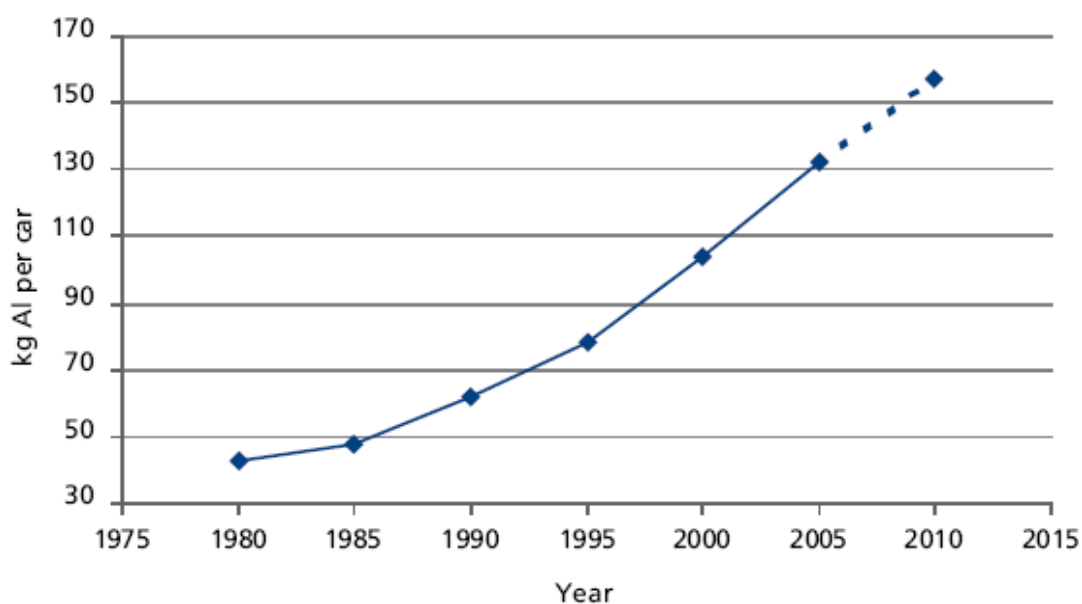
Hliníkových slitin se u těchto součástí používá především z důvodu snížení hmotnosti automobilu. Mezi další výhody patří snadná obrobitelnost a nízká cena. Hliníkové slitiny se výborně hodí pro přesné odlitky sacích potrubí (obr. 20).



Obr.20: Blok motoru a hliníkové sací potrubí [2]

5.2 Podíl slitin hliníku v hmotnosti konstrukce automobilů

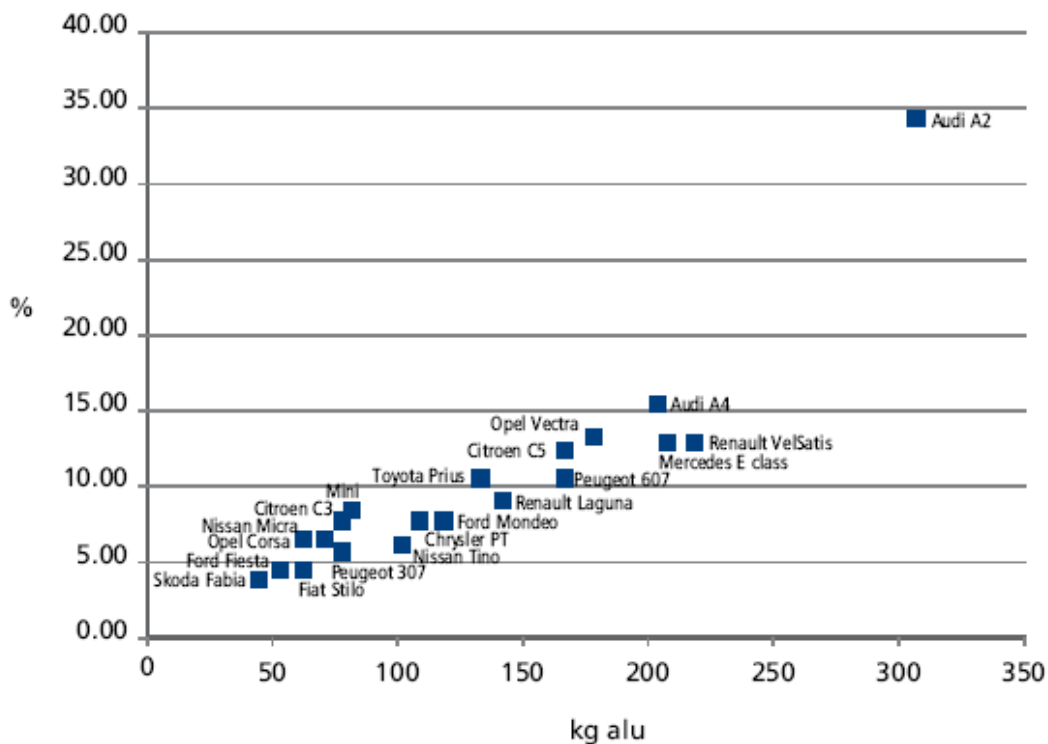
Z dostupných údajů o evropských automobilech (obr. 21) vyplývá, že množství hliníku používané při výrobě evropských automobilů se zvýšilo z 50 kg v roce 1990 na 132 kg v roce 2005 a do současnosti vzrostlo o dalších cca 20kg. V současné době tedy evropské automobily obsahují průměrně okolo 150 kg součástí ze slitin hliníku [9].



Obr. 21: Hmotnost součástí ze slitin hliníku v evropských automobilech [9]

Primární snížení hmotnosti při zachování výkonu automobilu umožňuje rovněž redukcí hmotnosti dalších dílů (pohon, brzdy, palivová nádrž, atd. ...), což vede k tzv.

sekundární úspore hmotnosti. V případě, že dosažená primární úspora hmotnosti bude malá, sekundární snížení hmotnosti není pravděpodobné. Naopak pokud je hliníku v konstrukci vozu intenzivně využito, může být i sekundární úspora hmotnosti značná. Jako příklad lze uvést Audi A2 (obr. 22), kde bylo díky intenzivnímu používání hliníku dosaženo přímé úspory hmotnosti 134 kg, která umožnila další sekundární snížení hmotnosti o 75kg, zejména na motoru, hnacím ústrojí a podvozku.



Obr. 22: Podíl hmotnosti součástí ze slitin hliníku ve vybraných automobilech [9]

6. ZÁVĚR

Tématem předložené bakalářské práce bylo využití hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu. Hliník hraje v dnešní době v konstrukci automobilu nezastupitelnou roli a oblasti jeho použití se neustále rozšiřují. Ocelové komponenty jsou nahrazovány lehčími hliníkovými, zejména odlitky litými pod tlakem. V automobilovém průmyslu se využívá mnoha druhů slitin hliníku a stává se, že na stejný díl se používají jednotliví výrobci různé druhy slitin.

Hnacím motorem používání slitin hliníku je snižování hmotnosti automobilu. Hmotnost vozidla totiž přímo ovlivňuje spotřebu paliva. Redukce hmotnosti přímo snižuje spotřebu energie, protože energie potřebná k pohybu vozidla, kromě aerodynamického odporu, přímo úměrná jeho hmotnosti. Snížení hmotnosti v průměru o 100 kg dosažené u osobního automobilu má za následek snížení spotřeby o 0,35 litrů paliva na 100 km a snížení emisí CO₂ o 9 gramů na km. Když do emisí započteme výrobu paliv a energie, tak snížení hmotnosti o 100 kg dosažené u osobního automobilu sníží emise o 10 g CO₂ na km.

V současné době evropské automobily obsahují průměrně 130-150 kg hliníkových součástí. V blízké budoucnosti se předpokládá i nadále nahrazování ocelových součástí za hliníkové a tím tedy dojde k dalšímu snížení hmotnosti průměrně o 30-40 kg. Automobilový průmysl se snaží o snižování hmotnosti především u karosérie vozu, podvozku a dílech zavěšení. Těchto lehkých komponentů se využívá ve sportovních a luxusních automobilech a postupně se uplatňují i v sériové výrobě běžných vozů.

Hliník umožňuje úsporu až 50% hmotnosti a více v porovnání s materiály na bázi Fe a je používán v mnoha aplikacích. Např.

- motor a části převodovky
- podvozek a díly zavěšení
- ráfky kol
- karoserie
- nárazníky
- součásti brzd

Konkrétním příkladem vhodnosti použití slitin hliníku jako náhrady oceli mohou být litá kola. U kol ze slitin hliníku je díky nižší měrné hmotnosti slitin použit větší průměr a šířku ráfků. Tyto rozměry nám otevírají cestu k montáži větších a nízkoprofilových pneumatik. Větší průměr má obecně příznivý vliv na komfort jízdy, větší šířka zase zvyšuje stabilitu vozu v zatáčkách (za sucha). Nízký profil zase snižuje třecí odpor, což pozitivně ovlivňuje spotřebu paliva. Navíc ráfky ze slitin hliníku velmi dobře odolávají korozi.

Velkou výhodou hliníku je také fakt, že ho lze snadno recyklovat, což velmi šetří energii a výrobní suroviny. Hliník má tu vynikající vlastnost, že se dá 100% znovu použít bez jakékoliv ztráty kvality. Výroba nového hliníku z bauxitu je o 95 % energeticky náročnější než jeho výroba z vytríděného hliníku.

Slitiny hliníku jsou v současnosti z hlediska chemického složení víceméně uzavřenou skupinou materiálů a další zásadní vývoj se zde nepředpokládá. Proto se vývoj zaměřuje spíše na možnosti zlepšení jejich vlastností pomocí tepelného zpracování a technologií výroby.

Kromě klasických slitin hliníku nelze opomenout ani další variant postupně se prosazující u automobilů, a to pěnový hliník, který zvyšuje zejména bezpečnost automobilu. Aplikace pěnového hliníku lze využít zejména v případech, kdy konstrukční součástka využívá současně všechny jeho přednosti, tj. např. nízkou hustotu, schopnost absorpce nárazové energie, tlumení hluku a vibrací, poměrně vysokou specifickou tuhost pěnového hliníku. Zde lze očekávat ještě poměrně značný vývoj.

7. LITERATURA

- [1] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. S.r.o. Brno : CERM, 2002. 396 s.
- [2] MICHNA, Š., et al. *Encyklopedie hliníku*. Prešov : Adin, 2005. 701 s. ISBN 80-89041-88-4.
- [3] VOJTĚCH, D. *Kovové materiály*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze : Praha, 2006. 185 s. ISBN 80-7080-600-1.
- [4] Píšek, F. *Nauka o materiálu I: Nauka o kovech. 3. svazek. Neželezné kovy*. 2. přepracované vydání. Praha: Academia, 1973. 595 s.
- [5] KRÍŽ, R.; VÁVRA, P. *Strojírenská příručka-3.svazek*. Praha : Scientia, 1993. 254 s. ISBN 80-85827-23-9.
- [6] SEDLÁČEK, V. *Únava hliníkových a titanových slitin*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 351 s.
- [7] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. Úvaly* : ALBRA – pedagogické nakladatelství, 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [8] Grgač P., Janovec, J., Dománková, M. *Nové materiály a technologie*, 1. vyd. Bratislava: STU. 2007, 217 s. ISBN 978-80-227-2599-6
- [9] Aluminium in cars. *European aluminium association* [online]. 2008, 9, [cit. 2011-05-17]. Dostupný z WWW: http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/Aluminium_in_cars_Sept2008.pdf.
- [10] Hliník, materiál budoucnosti?. *Auto rating* [online]. 2003, 5, [cit. 2011-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.automotorevue.cz/auto/technika/hlinik-material-budoucnosti.html>.
- [11] C.Bosi, G.L. Garagnani, R. Tovo. *Fatigue Properties of a Cast Aluminium Alloy for Rims Of Car Wheel*. In: Metallurgical science and technology, 2002. dostupné z <http://www.teksidaluminum.com/pdf/20-1-1.pdf>
- [12] Bonollo, F., Urban, J., Bonatto, B., and Botter, M., *Gravity and Low Pressure Die Casting of Aluminium Alloys: a Technical and Economical Benchmark*. In: Alluminio E Leghe, 2005.dostupné z http://www.aimnet.it/allpdf/pdf Pubbl/6_05/Bonollo.pdf