



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POUŽITÍ HLINÍKU A JEHO SLITIN VE SLÉVÁRENSTVÍ

USE OF ALUMINIUM AND ITS ALLOYS IN FOUNDRY INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR LAŠTOVICA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARKÉTA ŘÍHOVÁ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Laštovica

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:

Použití hliníku a jeho slitin ve slévárenství

v anglickém jazyce:

Use of aluminium and its alloys in foundry industry

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor vlastností Al a jeho slitin a zjištění využití ve slévárenském průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

Popsat vlastnosti hliníku a jeho slitin a zmapovat jejich použití ve slévárenství.

Seznam odborné literatury:

1. MICHNA, S., aj. Encyklopedie hliníku. Děčín: ALCAN, 2005. 699 s. ISBN 80-89041-88-4.
2. ROUČKA, J. Metalurgie neželezných slitin. Skripta VUT. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
3. PTÁČEK, L. aj. Nauka o materiálu I. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 503 s. ISBN 80-7204-193-2.
4. PTÁČEK, L. aj. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 391 s. ISBN 80-7204-248-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Markéta Říhová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na popis vlastností a použití hliníku a jeho slitin ve slévárenství. Autor se nejprve krátce věnuje hliníku technické čistoty a poté popisuje vlastnosti, rozdělení a technologie výroby hliníkových slitin. Po základní charakteristice všech používaných slévárenských slitin hliníku, zmiňuje použití hliníkových slitin v různých oborech průmyslu.

Klíčová slova

Slévárenství, hliník, hliníkové slitiny, technologie

ABSTRACT

This bachelor work is focused on description of characteristics and uses of aluminium and its alloys in foundry industry. The author briefly focuses with technical pure aluminium, and then describes the characteristics, distribution and technology of aluminium alloys. After the basic characteristics of all major aluminium casting alloys, the author mentions the use of aluminium alloys in a variety of industrial sectors.

Key words

Foundry industry, aluminium, aluminium alloys, technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LAŠTOVICA, Petr. *Použití hliníku a jeho slitin ve slévárenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. s. 45. Vedoucí práce Ing. Markéta Říhová.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Použití hliníku a jeho slitin ve slévárenství** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum:

.....
Petr Laštovica

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Markétě Říhové za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Poděkování patří i rodině, která mi byla při studiu a zpracování bakalářské práce velkou morální a finanční oporou.

OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah	6
Úvod	7
1 Hliník.....	8
1.1 Vlastnosti hliníku.....	8
1.1.1 Fyzikální vlastnosti	9
1.1.2 Chemické vlastnosti	9
1.1.3 Mechanické vlastnosti	10
1.1.4 Slévárenské vlastnosti.....	10
1.2 Použití hliníku	10
2 Vlastnosti slitin hliníku.....	12
2.1 Chemické složení slitin hliníku.....	12
2.2 Slévárenské vlastnosti.....	13
2.3 Technologické vlastnosti	13
2.4 Mechanické vlastnosti	14
3 Technologie výroby odlitků	16
3.1 Odlévání do netrvalých forem.....	16
3.2 Odlévání do trvalých forem.....	16
4 Slitiny hliníku.....	18
4.1 Rozdělení slitin hliníku.....	18
4.2 Slévárenské slitiny hliníku	19
5 Slitiny Al – Si.....	21
5.1 Základní charakteristika slitin Al – Si	21
5.2 Slitiny Al – Si	22
5.3 Slitiny Al – Si – Cu	23
5.4 Slitiny Al – Si – Mg.....	23
6 Další slitiny hliníku	25
6.1 Slitiny Al – Cu	25
6.2 Slitiny Al – Mg.....	25
6.3 Slitiny Al – Zn.....	26
6.4 Slitiny Al – Zn – Mg.....	27
6.5 Slitiny Al – Li.....	27
7 Použití slitin hliníku	28
7.1 Doprava.....	28
7.1.1 Automobilový průmysl	28
7.1.2 Další oblasti použití hliníku v dopravě	36
7.2 Strojírenství	37
7.3 Stavebnictví.....	37
Závěr.....	39
Seznam použitých zdrojů	40
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43

ÚVOD

Od patentování výroby hliníku z bauxitu v lázni roztaveného kryolitu je to něco málo přes 125 let, do pěti let nato byla jeho výroba zahájena v průmyslovém měřítku. Tento stříbřitý kov má mnoho významných vlastností jako je nízká hustota, plastické vlastnosti či odolnost proti korozi, jeho použití však limitovala nízká pevnost a tvrdost. Tyto špatné vlastnosti byly odstraněny výrobou slitin, z nichž první byl dural (AlCu4Mg) s tvrdostí jež byla čtyřnásobkem tvrdosti čistého hliníku.

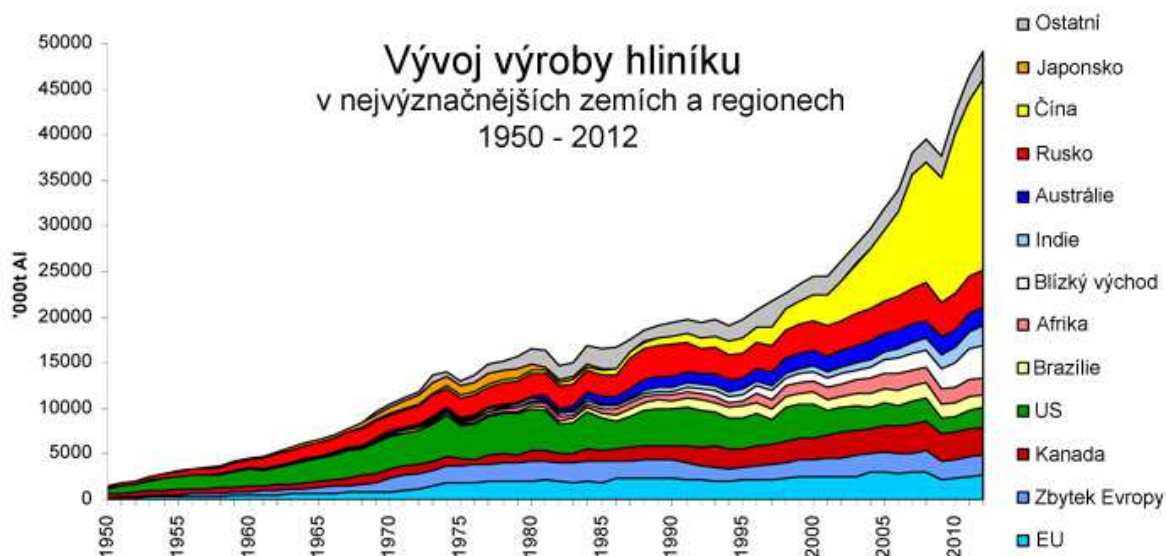
V první polovině 20. století přispěla k výraznému nástupu výroby hliníku hlavně možnost jeho využití v oblasti vojenské techniky za druhé světové války. Po jejím skončení nastal exponenciální růst jeho výroby zejména z důvodů rozšíření technologie odlévání do kovových forem a to především tlakovým litím.

V dnešní době již není oblasti průmyslu či každodenního života, kde bychom se nesečkali s výrobky z hliníku a jeho slitin.

1 HLINÍK

1.1 Vlastnosti hliníku

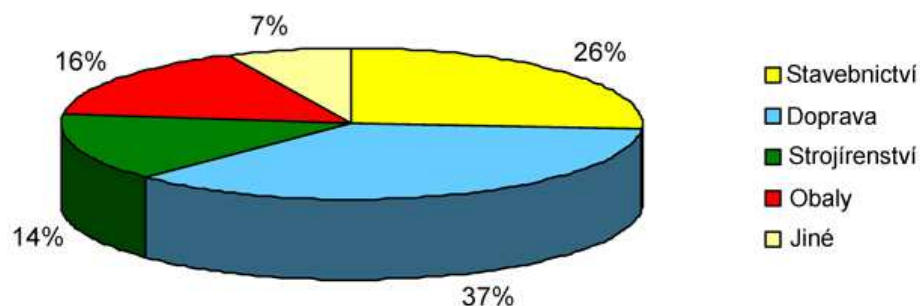
Hliník je unikátní, poměrně mladý materiál, jehož výroba trvale vykazuje větší roční přírůstky, než je běžné u ostatních kovů, viz obr. 1.



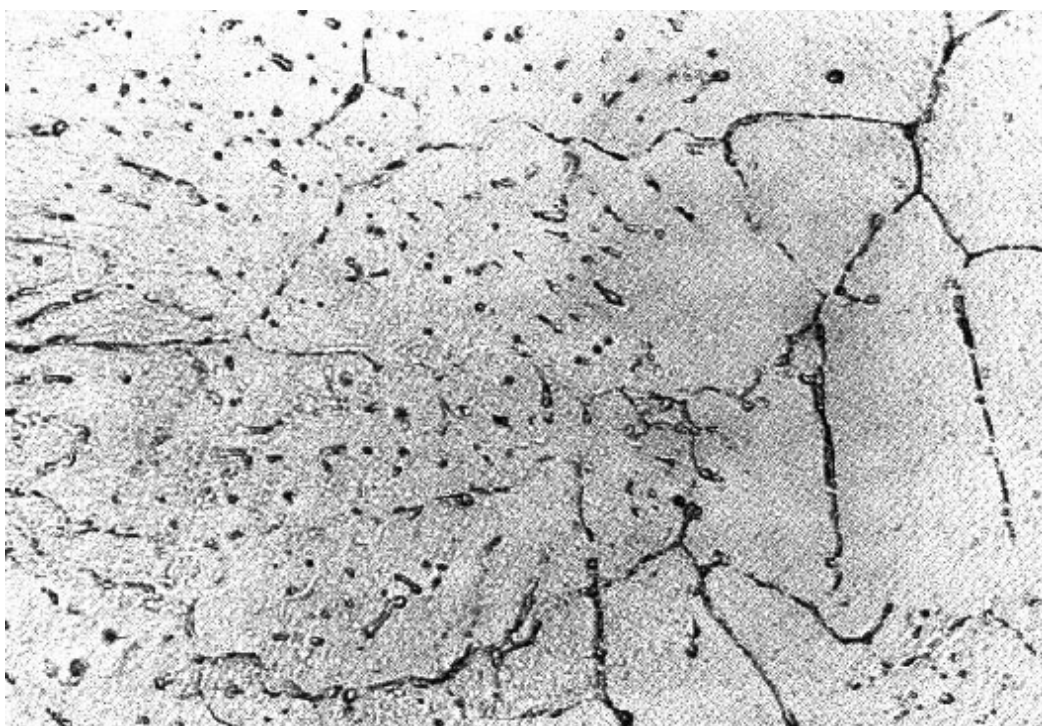
Obr. 1 Vývoj výroby hliníku [1]

Stejně tak v posledních letech neustále vzrůstá i význam slitin hliníku jako konstrukčního materiálu. Je to dáno velmi výhodnou kombinací fyzikálních, mechanických, chemických a technologických vlastností těchto slitin, které umožňují aplikaci téměř ve všech oblastech lidské činnosti [2]. Na obr. 2 jsou uvedeny nejvýznamnější oblasti uplatnění hliníkových slitin.

Průmyslová odvětví využívající výrobky z hliníkových slitin v Evropě 2010



Obr. 2 Oblasti použití hliníkových slitin [1]



Obr. 3 Struktura litého stavu hliníku čistoty Al99,6 při zvětšení 100x [3]

1.1.1 Fyzikální vlastnosti

Hliník má plošně centrovanou kubickou mřížku. V důsledku toho má dobré plastické vlastnosti jak za tepla, tak za studena. Hodnoty některých fyzikálních vlastností jsou uvedeny v tabulce 1 [2].

Tab. 1 Některé fyzikální vlastnosti hliníku [2]

Vlastnosti	Hodnoty
Parametr mřížky	$a=0,404958 \text{ nm}$
Hustota	$2,6989 \text{ g.cm}^{-3}$ (při 20 °C)
Teplota tavení	660,4 °C
Tepelná vodivost	$235 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ (při 20 °C)
Elektrická vodivost	$2,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ (při 20 °C)
Latentní teplo tavení	397 kJ.kg^{-1}
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Elektrický odpor	$26,2 \text{ n } \Omega \cdot \text{m}$ (Al 99.999+ při 20 °C) $26,55 \text{ n } \Omega \cdot \text{m}$ (Al 99.8 při 20 °C)
Teplota supravodivosti	1,2K

1.1.2 Chemické vlastnosti

Na povrchu hliníku se při kontaktu s kyslíkem tvoří vrstva oxidu hlinitého (Al_2O_3). Tato vrstva, o tloušťce přibližně 10 nm za normální teploty, brání hloubkové oxidaci a zajišťuje velmi dobrou odolnost proti vlivu prostředí. Oxidickou vrstvu lze elektrolyticky dále zesílit (eloxování), čímž se ochranné

účinky zlepši a povrch získá i zvýšenou tvrdost. Tímto postupem lze vrstvu zvětšit až na sílu 5 – 25 μm [4].

1.1.3 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti čistého hliníku jsou špatné – pevnost v tahu pod 100 MPa, tvrdost 20 –30 HB, naopak plastické vlastnosti jsou velmi dobré, s tažností nad 20 %. Jako konstrukční materiál je hliník prakticky nepoužitelný, legováním se mechanické vlastnosti výrazně zlepšují [5].

1.1.4 Slévárenské vlastnosti

Ze slévárenského hlediska je významná poměrně vysoká měrná tepelná kapacita hliníku přibližně $0,9 \text{ kJ.kg.K}^{-1}$ a vysoké skupenské teplo tání 396 kJ.kg^{-1} . Jejich důsledkem je vysoká energetická náročnost na roztavení hliníku a jeho slitin [5].

1.2 Použití hliníku



Obr. 4 Ukázka některých hliníkových výrobků

Navzdory faktu, že čistý hliník je používán výrazně méně než jeho slitiny, se s výrobky z tohoto materiálu setkáváme denně. Asi 60 % hliníku technické čistoty se zpracovává na plechy. Ostatními hutními výrobky jsou tyče a dráty.

Nejvíce používaným je hliník Al99,5, který nachází uplatnění ve všech oblastech průmyslu na konstrukční prvky a uzly, které jsou málo mechanicky namáhané, vyžadují materiál vysoce tvárný, dobře svařitelný, značně korozně odolný, tepelně i elektricky vodivý i neflexibilní. Typickými výrobky z tohoto kovu jsou např. výměníky chemických zařízení, chladiče automobilů, reflektory, zrcadla, nádrže, nádoby, domovní fasády, voštinové konstrukce a další [6].

Z hliníkových plechů tvářením vznikají profily okenních rámců nebo lehká střešní krytina. V potravinářském průmyslu se používají pro výrobu nejrůznějších obalů, od plechovek pro nápoje až po tenkou fólii (alobal). Používá se pro

plátování plechů ze slitin hliníku obsahující měď nebo jako alitovaná povrchová vrstva na výrobcích z ocelí a slitin niklu proti korozi a okujení [7].

Díky měrnému elektrickému odporu se hliník Al99,5–E používá v elektrotechnickém průmyslu pro vnitřní i venkovní holé vodiče rozvodných zařízení. Dále se hliník používá pro výrobu kondenzátorů. Společně se stříbrem slouží jako záznamové médium na kompaktních discích [6].

Díky jeho nízké hmotnosti se s hliníkem často setkáváme u předmětů denní potřeby, jako jsou pásky, hodinky nebo klíče.

2 VLASTNOSTI SLITIN HLINÍKU

2.1 Chemické složení slitin hliníku

Každá slitina obsahuje následující prvky:

Základní prvek

Prvek, jenž určuje druh slitiny, v našem případě je tímto prvkem hliník.

Hlavní přísadové prvky

Prvky klíčové pro určení vlastností slitiny. Spolu se základním prvkem definují typ slitiny. Obsah těchto prvků ve slitině je obvykle druhý nejvyšší po základním prvkem. Hlavními přísadovými prvky ve slitinách hliníku jsou křemík, měď a hořčík. Podle těchto tří prvků se slitiny hliníku dělí na tři základní skupiny:

Slitiny Al – Si	– siluminy
Slitiny Al – Cu	– duraluminium
Slitiny Al – Mg	– hydronalium

Vedlejší přísadové prvky

Takové prvky, jež příznivě ovlivňují některé vlastnosti slitin. Vedlejších přísadových prvků může být ve slitině několik a jejich obsah bývá obvykle nižší než obsah hlavního přísadového prvku. Pokud mají tyto prvky výrazný vliv na slitinu, bývají podle nich rozdělovány do dalších podskupin, např. Al – Si – Mg nebo Al – Si – Cu.

Doprovodné prvky

Tyto prvky se do slitin dostávají neúmyslně v průběhu tavení z vyzdívky pecí nebo z použitých tavících přípravků či náradí – jsou považovány za nečistoty. Jejich přítomnost obvykle degraduje mechanické, chemické nebo technologické vlastnosti základního kovu. U některých slitin se přidávají jako hlavní či vedlejší přísadové prvky, příkladem může být měď, která sice snižuje odolnost proti korozi hliníku a je nepřipustná ve slitinách pro potravinářský průmysl, ale u slitin Al – Si výrazně zlepšuje pevnostní vlastnosti a zlepšuje obrobiteľnosť [5].

Podle počtu přísadových prvků se slitiny dělí:

- binární – obsahují pouze základní a hlavní přísadový prvek
- ternární – kromě základního a hlavního prvku obsahují i jeden vedlejší přísadový prvek
- vícesložkové – obsahují několik vedlejších přísadových prvků

2.2 Slévárenské vlastnosti

Jako slévárenské vlastnosti jsou označovány vlastnosti, které přímo souvisejí s procesem odlévání. Tyto vlastnosti úzce souvisí s šířkou intervalu tuhnutí dané slitiny. Ty slitiny s úzkým intervalem tuhnutí mají nejlepší vlastnosti, naopak slitiny s širokým intervalem tuhnutí mají slévárenské vlastnosti špatné [5].

Zabíhavost

Zabíhavost je technologická vlastnost, která udává schopnost slitiny zaplňovat dutinu formy. Je nutno rozlišovat mezi tekutostí a zabíhavostí. Tekutost je charakterizována viskozitou tekutého kovu a se zabíhavostí souvisí pouze částečně. Přítomnost oxidických vměstků v tavenině zabíhavost výrazně snižuje. Na zabíhavost má vliv také povrchové napětí, smáčivost formy, modifikace taveniny apod. Zabíhavost, jako technologická vlastnost určuje, jak tenkostěnné odlitky je možno odlévat a jak přesně bude kov kopírovat dutinu formy [5].

Sklon ke vzniku staženin

Sklon ke vzniku staženin charakterizuje úbytek kovu během tuhnutí a tendenci ke vzniku soustředěných staženin, nebo rozptýlených staženin a ředin. Slitiny se sklonek ke vzniku soustředěných staženin lze dobře nálitkovat, odlitky mají dobrou těsnost. Takto tuhnou zejména slitiny s chemickým složením blízkým složení eutektickému. Slitiny se širokým dvoufázovým intervalem mají naopak sklonek ke vzniku rozptýlených staženin a obtížně se nálitkují. Takové odlitky mají horší těsnost [5].

Sklon k naplynění

Sklon k naplynění je charakterizován rozpustností plynů v tekutém stavu. Úroveň naplynění taveniny rozhoduje o tvorbě plynových bublin v odlitku.

Odolnost proti vzniku trhlin a prasklin

Odolnost proti vzniku trhlin a prasklin je schopnost odolávat napětí, které vzniká vlivem smršťování v oblasti teplot tuhnutí a během ochlazování. Tato vlastnost je zejména důležitá u odlitků s nerovnoměrnou tloušťkou stěn, tvarově složitých odlitků, odlitků s tuhou konstrukcí a v případech, kdy je smršťování brzděno tuhou formou [5].

2.3 Technologické vlastnosti

Obrobitelnost

Obrobitelnost je v technologii obrábění kovů široce rozšířený výraz. Je to systémová vlastnost, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek. I když je obrobitelnost ovlivněna mnoha faktory (materiál obrobku, rezné nástroje a rezné podmínky, strojní vybavení, strategie rezného procesu, upnutí obrobků a nástrojů, způsob

chlazení, odborné znalosti technologů atd.), obvykle se hovoří o obrobiteľnosti jako o vlastnosti materiálu [8].

Odolnost proti korozi

Odolnost proti korozi je schopnost odolávat chemickým vlivům plynných nebo kapalných prostředí. Elektrochemická koroze způsobuje povrchové nebo hloubkové reakce mezi některými fázemi slitiny a korozním médiem, eventuelně rozpouštění některých složek slitiny v korozním prostředí [5]. Všechny přísadové prvky snižují odolnost proti korozi, protože tuto vlastnost má nejlepší čistý hliník. V tab. 2 je uvedeno přibližné pořadí některých slitin od chemicky nejodolnějších k nejméně odolným:

Tab. 2 Odolnost proti korozi slitin hliníku [2]

Pořadí	Slitinový systém	Pořadí	Slitinový systém
1.	Al	5.	Al-Si
2.	Al-Mn	6.	Al-Zn-Mg
3.	Al-Mg	7.	Al-Cu-Mg
4.	Al-Mg-Si	8.	Al-Cu

Svařitelnost

Svařitelnost je schopnost spojování různými technologiemi svařování a dosažitelnost pevnosti a kvality spojů. Svařitelnost hliníku a jeho slitin je ovlivněna několika podstatnými činiteli, to vyžaduje odlišný přístup ke svařování ve srovnání s nejběžnějšími konstrukčními materiály [9].

Nepropustnost

Nepropustnost je schopnost bránit pronikání tlakového média – plynu nebo kapaliny skrze stěny odlitku. Těsnost odlitků souvisí zejména s výskytem mikrostaženin nebo prasklin. Rovněž přítomnost oxidických vměstků v kovu těsnost významně zhoršuje. Nepropustnost se zjišťuje tlakovými zkouškami [5].

2.4 Mechanické vlastnosti

Mechanické pevnostní vlastnosti patří díky velkému praktickému významu k vlastnostem, které jsou nejčastějším kritériem, podle kterého se rozhoduje o vhodnosti určitého materiálu a jeho předpokládaného použití. Ve většině případů jsou samozřejmě požadovány i další vlastnosti, málokdy se však setkáme s případem, kdy znalost mechanických vlastností nebude hrát žádnou roli.

Mez pevnosti

Mez pevnosti běžných hliníkových slitin se v litém stavu (podle slitiny, způsobu lití a tloušťky) pohybuje v rozmezí asi 150–250 MPa. Pevnostní vlastnosti se velmi podstatně zvyšuje vytvrzováním, vytvrditelné slitiny obsahují obvykle měď nebo hořčík a vytvrzením lze např. u slitiny Al-Cu dosáhnout pevnosti až 350 MPa [5].

Tažnost

Tažnost běžných hliníkových slitin je řádu 1–4 %. Značného zvýšení tažnosti slitin Al – Si lze dosáhnout modifikací eutektika. Pevnostní vlastnosti se modifikací zvyšují jen poměrně málo – maximálně asi o 50%, ale tažnost roste mnohem výrazněji, až o 200% [5].

Tvrдость

Tvrдость je definována jako odpor, který materiál klade proti vnikání cizího tělesa. Tato vlastnost je v technické praxi velmi důležitá. Tvrдость lze zjistit pomocí řady zkoušek, které prakticky neporušují měřenou součást. Pomocí empirických koeficientů se dá podle tvrdosti odhadnout další vlastnosti materiálu [10].

Pružnost

Schopnost materiálu deformovat se před porušením pružně. Pružná deformace je vratná, při odlehčení se rozměry tělesa vrátí na původní hodnoty. Při pružné deformaci neplatí zákon zachování objemu [11].

Plasticita

Schopnost materiálu deformovat se před porušením plasticky. Plastická deformace je deformace nevratná, při odlehčení se rozměry tělesa nevrátí na původní hodnoty. Při plastické deformaci platí zákon zachování objemu [11].

Houževnatost

Houževnatost materiálu je definována jako odolnost materiálu vůči vzniku deformace nebo porušení. Mírou houževnatosti je množství mechanické práce potřebné k vytvoření deformace nebo k porušení materiálu [12].

3 TECHNOLOGIE VÝROBY ODLITKŮ

Pro výrobu odlitků z hliníkových slitin se používají téměř všechny známé slévárenské metody. Struktura a vlastnosti slitin hliníku jsou velmi úzce závislé na intenzitě ochlazování při tuhnutí. Při rychlém tuhnutí odlitků dochází k mnoha příznivým efektům:

- vzniká jemnozrnná struktura
- menší heterogenita struktury
- nižší výskyt vad typu mikrostaženin a ředin
- omezuje se vylučování rozpustitelných plynů a vznik plynových dutin
- zvyšuje se disperzita intermetalických částic

Vzhledem ke všeobecně příznivému vlivu rychlého ochlazování by měly být odlitky konstruovány jako tenkostěnné a z výrobních technologií se preferují takové, které rychlé ochlazování podporují – zejména odlévání do kovových forem [5].

3.1 Odlévání do netrvalých forem

Lití do pískových forem

Lití do pískových forem je velmi flexibilní metoda, která je vhodná pro všechny hmotnostní kategorie odlitků [5]. Z důvodů ekonomických hledisek se používají především pro kusovou a malosériovou výrobu. Velikost ani hmotnost odlitků prakticky není omezena.

V – proces

Metoda, jež se stále více uplatňuje pro výrobu tvarově složitých odlitků s vnitřními dutinami, které by bylo nutno vyrobít komplikovanými jádry. Typické je použití v automobilovém průmyslu pro výrobu hlav válců, výfukového potrubí nebo složitých skříňových odlitků [5].

Lití do skořepinových forem

Metoda je vhodná především pro tvarově komplikované a menší odlitky ve velkých sériích. Výsledný povrch je velmi dobrý a touto metodou lze odlévat „nahotovo“.

3.2 Odlévání do trvalých forem

Do trvalých forem se odlévají zejména odlitky menších rozměrů. Náklady na jejich výrobu jsou vysoké a tím pádem také omezují jejich použití na velké série. Tyto náklady se ještě zvyšují při metodách za působení tlaků, kdy jsou zvláštní požadavky na mechanické vlastnosti forem.

Gravitační lití do kovových forem

Oproti lití do pískových forem je tato metoda dražší, ale výsledné odlitky mají lepší mechanické vlastnosti, dobré rozměrové hodnoty a hladší povrch. Touto metodou nelze odlévat tenkostěnné odlitky a maximální hmotnost odlitku je omezena na 15 kg.

Vysokotlaké lití

Tlakové lití je nejdůležitější technologií výroby hliníkových odlitků. Principem výroby je vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové formy pod vysokým tlakem. Za těchto podmínek lze vyrábět tvarově komplikované odlitky s tloušťkou stěn od 1–2 mm, přičemž rozměry odlitků jsou velmi přesné [5].

Funkční části forem jsou z důvodů mimořádně vysokým mechanickým i tepelným nárokům vyráběny z vysoce legovaných Cr – Mo ocelí a jsou tepelně zpracovány. Vzhledem k vysoké ceně forem se vyžaduje jejich dlouhá životnost.

Nízkotlaké lití

Metoda nízkotlakého lití spočívá ve vytlačování roztaveného kovu přetlakem z udržovací pece. Přetlak je vyvozován plynným médiem nebo vysušeným vzduchem. Tímto přetlakem se tavenina dostává do dutiny formy pomocí plnicí trubice, kde pod tímto přetlakem i tuhne [13]. Touto metodou jsme schopni využít více než 90 % kovu. Kvalita takto vyrobených odlitků je velmi vysoká při téměř úplné absenci vměstků a plynových dutin.

Lití s krystalizací pod tlakem – Squeeze casting

Progresivní a dosud málo rozšířená metoda, která v sobě kombinuje výhody pomalého plnění formy a vysokého tlaku během tuhnutí. Metody lití s krystalizací pod tlakem potlačují vznik staženin, proto jsou vhodné při výrobě odlitků s tepelnými uzly nebo rozdílnou tloušťkou stěn [13]. Mezi další výhody této metody patří vznik jemnozrnné struktury a zvýšení přesnosti odlitků. Na druhou stranu mezi nevýhody patří značná investiční i provozní náročnost.

Lisování v polotuhém stavu - Thixocasting

Progresivní metoda, založena na tixotropním stavu materiálu, nejčastěji používaná na speciální slitinu AISi10MgCu. Slitina se ohřívá do polotekutého stavu (578 °C) a v takto se vtlačuje do formy. Takto vyrobený odlitek má jemnou strukturu a tudíž i dobré mechanické vlastnosti a nízký výskyt mikrostaženin a plynových dutin [13].

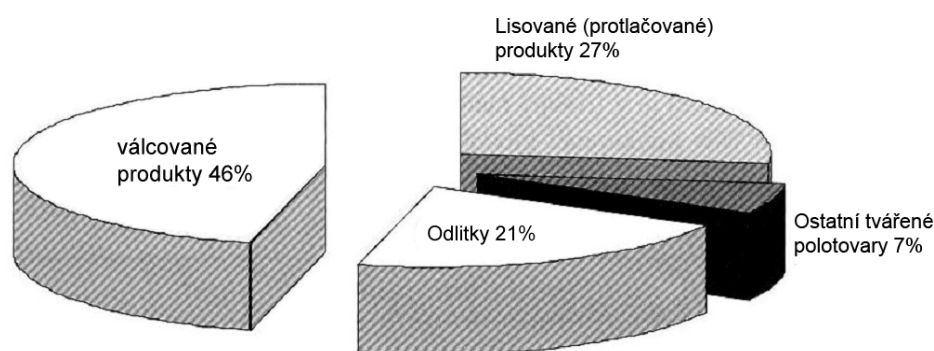
Tab. 3 Vliv technologií na mechanické vlastnosti hliníkových slitin [14]

Slitina	Technologie	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A (%)	Lomová houževnatost (MPa)
A 356 (AlSi7Mg0,4)	Lití do kokil	250	210	7,0	15,2
	Squeeze casting	345	300	9,3	28,5
	Thixocasting	340	285	8,9	26,3
A 2024 (AlCu4Mg1)	Lití do kokil	450	380	4,2	19,6
	Squeeze casting	460	400	6,3	27,2
	Thixocasting	465	410	6,5	27,0

4 SLITINY HLINÍKU

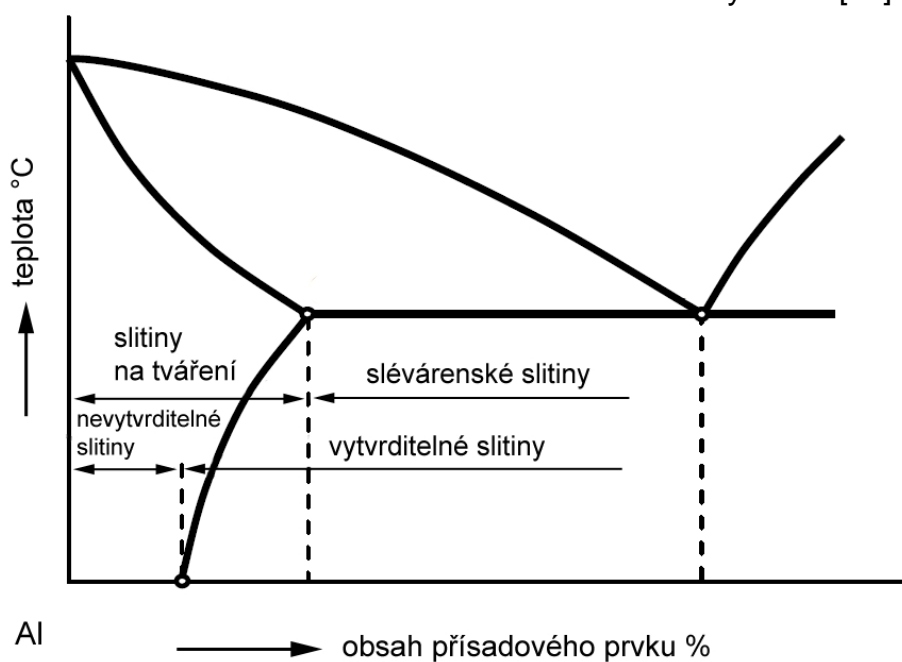
4.1 Rozdělení slitin hliníku

Všechny vlastnosti, o kterých byla řeč v 2. kapitole, mají samozřejmě vliv na použití dané slitiny. Existuje sice snaha o vytvoření univerzální slitiny, ale dosud neexistuje slitina, jež by byla tak optimální, že by její použití bylo vhodné ve všech průmyslových odvětvích [7]. Je to dáno vlivy legujících prvků, jež mají mnohdy kladné i negativní vlastnosti. Na obr. 5 je rozdělení výrobků z hliníkových slitin podle použité technologie zpracování.



Obr. 5 Zastoupení různých technologií při zpracování hliníkových slitin [3].

Ne všechny slitiny jsou vhodné pro přípravu odlitků. Nejvýhodnějšími materiály pro jejich výrobu jsou tzv. slévárenské slitiny. Slitiny se dělí podle chemického složení právě na slitiny slévárenské a na slitiny určené k tváření. Na obr. 6 je toto rozdělení ukázáno na binárním eutektickém systému [15].



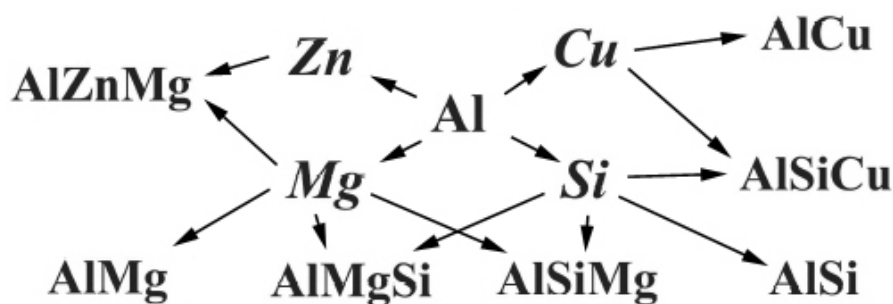
Obr. 6 Rozdělení slitin [15]

4.2 Slévárenské slitiny hliníku

Slévárenské slitiny mají oproti slitinám jiných kovů celou řadu výhod [2]:

- dobrá slévatelnost, která se výrazně zlepšuje se zvyšujícím se podílem eutektika podle chemického složení
- nízká teplota tavení
- malý interval krystalizace
- obsah vodíku v odlitku, který je jediným rozpustným plynem v hliníku, lze minimalizovat vhodnými technologickými podmínkami
- dobrá chemická stabilita (odolnost vůči korozi)
- dobré povrchové vlastnosti odlitku
- u většiny slitin je nízká náchylnost k tvorbě trhlin za tepla

Tyto slitiny se dále rozdělují podle čtyř hlavních legujících prvků a ty jsou křemík, hořčík, měď a zinek, jak je znázorněno na obr. 7.



Obr. 7 Rozdělení slévárenských slitin hliníku podle legur

Značení slévárenských slitin hliníku

Slitiny hliníku na odlitky se značí podle normy ČSN EN 573-3. Tato norma označuje slitinu písmeny AC a pěti číslicemi, např. AC – 43000 [2].

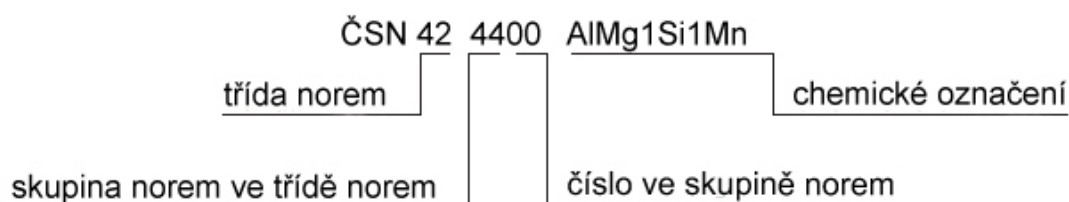
- písmeno A označuje slitinu hliníku
- písmeno C označuje odlitky
- první číslice označuje řadu slitin (hlavní přísadový prvek)
- druhá číslice označuje skupinu slitin
- třetí číslice je doplňující číslo
- čtvrtá a pátá číslice je nula

V tab. 3 jsou vypsány řady hliníkových slitin pro odlitky a jejich značení podle normy ČSN EN 573-3 a podle ČSN.

Tab. 3 Řady slitin hliníku a jejich značení [16]

řada	slitiny	označení			
		dle ČSN EN 573-3		dle ČSN	
		číselné	podle chem. Složení	číselné	podle chem. Složení
20000	Al-Cu	AC-21000	AC-AlCu4MgTi	–	–
40000	Al-Si	AC-42100	AC-AlSi7Mg0,3	424334	AlSi7Mg
		AC-43000	AC-AlSi10Mg	424331	AlSi10MgMn
		AC-44100	AC-AlSi12	424330	AlSi12Mn
50000	Al-Mg	AC-51200	AC-AlMg9	424519	AlMg10SiCa
		AC-51300	AC-AlMg5	–	–
70000	Al-Zn	AC-71000	AC-AlZn5Mg	–	–

Dalším možné značení je podle normy ČSN. V ČSN normách jsou jednotlivé typy hliníku a slitin hliníku označovány vždy samostatnou normou ČSN a šestimístním číslem [2]. Význam značení je vysvětlen na obr. 8.



Obr. 8 Značení slitin hliníku na odlitky dle ČSN [2]

V tab. 4 je uveden přehled vybraných slitin se současným srovnáním těchto slitin podle norem ČSN EN, ČSN a DIN 1725 – 2.

Tab. 4 Přehled vybraných slitin [2]

Slitiny hliníku na odlitky			
dle ČSN EN		dle ČSN	dle DIN 1725-2
číselné značení	chemické značení	číselné značení	číselné značení
EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	ČSN 42 4331	3.2381
EN AC-43300	EN AC-Al Si9Mg	ČSN 42 4331	3.2373
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	ČSN 42 4330	3.2373
EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)	ČSN 42 4330	3.2582
EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(a)	ČSN 42 4339	3.2163
EN AC-47000	EN AC-Al Si12(Cu)	ČSN 42 4330	3.2583
EN AC-51200	EN AC-Al Mg9	ČSN 42 4519	3.3292
EN AC-51400	EN AC-Al Mg5(Si)	ČSN 42 4515	3.3261

5 SLITINY Al – Si

5.1 Základní charakteristika slitin Al – Si

Siluminy jsou nepočtenější skupinou slévárenských slitin a představují drtivou většinu produkce hliníkových odlitků [5]. Norma ČSN 1706 rozlišuje 29 druhů těchto slitin. Tyto siluminy se dělí do tří základních skupin podle slitinových bází:

- podeutektické – obsah Si pod 11,7 hm. %
- eutektické – obsah Si kolem 11,7 hm. %
- nadeutektické – obsah Si od 11,7 do 24 hm. %

Nejpočetnější skupinou jsou podeutektické siluminy. Jsou tvořeny dendrity α a eutektikem (obr. 9a). Jsou dobře slévateľné, ale mají sklon k tvorbě trhlin za tepla.

Nejlepší slévárenské vlastnosti mají eutektické slitiny s obsahem křemíku 11,7 hm. % (některé prameny udávají 12,5 hm. % Si). Eutektikum v binárních siluminech představuje směs tuhého roztoku α a krystalů téměř čistého křemíku (Obr. 9b). Tyto siluminy mají úzký interval tuhnutí, což jim zaručuje výborné slévárenské vlastnosti, jako je např. výborná zabíhavost. Také mají ze všech siluminů nejvyšší pevnost [17].

Poslední skupinou jsou nadeutektické siluminy. Jejich struktura se skládá z primárních krystalů křemíku a eutektika (obr. 9c). Tyto siluminy nejsou zakotveny v normách a jsou používány na speciální aplikace. Díky své tvrdosti nacházejí využití např. v kluzných aplikacích [17].



Obr. 9 a) podeutektická, b) eutektická a c) nadeutektická struktura Al – Si [17]

Modifikace je jakostní změna v krystalizaci slitin Al – Si. V praxi to znamená přidání stopových množství některých prvků ovlivňujících tvar eutektického křemíku a tím se zlepšuje pevnost a tažnost slitiny. Právě u siluminů má tato metoda nejlepší výsledky.

V chemickém složení všech druhů slitin Al – Si je vždy jako nečistota přítomno železo. Proto se do nich jako přísada přidává mangan, jehož úkolem je kompenzovat nepříznivý vliv železa na mechanické vlastnosti [18].

Se zvyšujícím se obsahem křemíku klesá obrobiteľnost odlitků. Tato jeho vlastnost bývá v případě potřeby kompenzována přidáním mědi.

5.2 Slitiny Al – Si

Z těchto siluminů se převážně používají eutektické slitiny. Binární siluminy mají díky příměsi křemíku výborné slévárenské a technologické vlastnosti, dobrá odolnost proti korozi, ale horší už jsou vlastnosti mechanické.

Jako zástupce této skupiny uvádím slitinu **AlSi11**. Tato slitina je vhodná pro výrobu složitých, tenkostěnných a nepropustných odlitků s vysokou odolností proti korozi, střední pevností a vysokou tažností. S maximálním obsahem Mg se pevnost zvyšuje stárnutím. Naopak s nižším obsahem Mg ve slitině se po žíhání zlepšuje tažnost [19].

Hodnoty maximálního chemického složení udávám v tab. 5. Mechanické vlastnosti jsou výrazně závislé na druhu odlévání tab. 6.

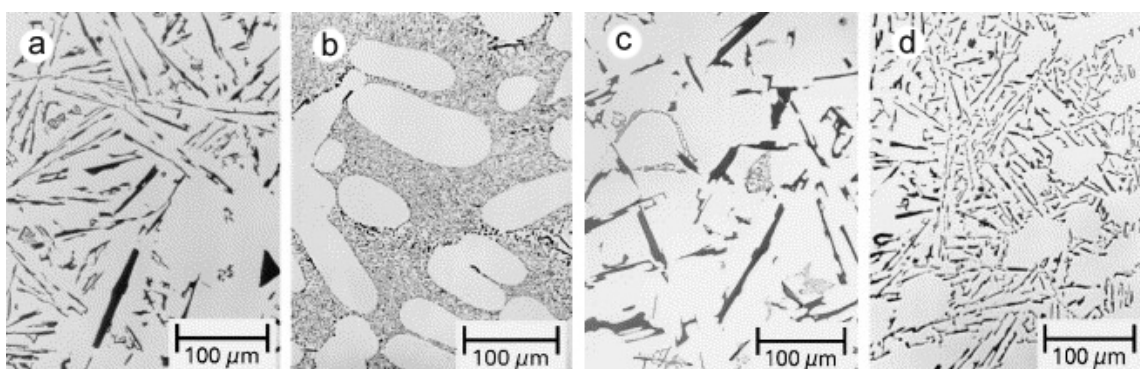
Tab. 5 Chemické složení slitiny AlSi11 [20]

Slitina	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
AlSi11	10.0 – 11.8	0.15	0.01	0.05	0.10 – 0.45	0.07	0.15

Tab. 6 Mechanické vlastnosti AlSi11 v závislosti na metodě lití [19]

Metoda lití	Smluvní mez pružnosti Rm [MPa]	mez pevnosti Rm [MPa]	prodloužení As [%]	Tvrdość [HB]
lití do písku	80 – 130	160 – 220	2 – 7	60 – 75
obsah Mg 0,25 – 0,45 hm. %	180 – 290	120 – 310	2 – 5	60 – 75
obsah Mg pod 0,3 hm. %	80 – 110	140 – 210	8 – 14	80 – 100
gravitační lití	90 – 150	170 – 240	4 – 12	70 – 90
obsah Mg 0,25 – 0,45 hm. %	190 – 300	240 – 320	4 – 12	90 – 110
obsah Mg pod 0,3 hm. %	100 – 150	170 – 240	8 – 18	85 – 105

Na slitiny Al – Si, nazývané také binární siluminy, má velký vliv modifikace. Binární siluminy se prakticky modifikují pouze dvěma prvky – sodíkem a stronciem [2]. Na obr. 10 je znázorněna změna struktury u slitiny AlSi11 v závislosti na obsahu hořčíku a stroncia.



Obr. 10 Struktura AlSi11 a) 0.1 % Mg a 0 ppm Sr, b) 0.1 % Mg a 200 ppm Sr, c) 0.45 % Mg a 0 ppm Sr, d) 0.45 % Mg a 200 ppm Sr [21]

5.3 Slitiny Al – Si – Cu

Nejvíce používaný typ slitin hliníku. Tvoří asi jednu polovinu celkové produkce hliníkových odlitků a je dominantním typem ve výrobě automobilových odlitků. Chemické složení skupin slitin je uvedeno v tab. 8

Tab. 8 Chemické složení slitin Al – Si – Cu dle DIN 1706 [22]

Slitina	Chemické složení [%], zbytek Al									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
EN AC-45000*	5,0-7,0	1	3,0-5,0	0,20-0,65	0,55	0,45	2	0,3	0,15	0,25
EN AC-45100	4,5-6,0	0,6	2,6-3,6	0,55	0,2-0,55	0,1	0,2	0,1	0,05	0,25
EN AC-45200	4,5-6,0	0,8	2,5-4,0	0,20-0,55	0,55	0,3	0,55	0,2	0,1	0,2
EN AC-45300	4,5-5,5	0,65	1,0-1,5	0,55	0,55	0,25	0,15	0,15	0,05	0,05-0,25
EN AC-45400	4,5-6,0	0,6	2,6-3,6	0,55	0,55	0,1	0,2	0,1	0,05	0,25
EN AC-46000*	8,0-11,0	1,3	2,0-4,0	0,55	0,15-0,65	0,55	1,2	0,35	0,25	0,25
EN AC-46200	7,5-9,5	0,8	2,0-3,5	0,15-0,65	0,15-0,65	0,35	1,2	0,25	0,15	0,25
EN AC-46600	6,0-8,0	0,8	1,5-2,5	0,15-0,65	0,35	0,35	1	0,25	0,15	0,25

*) slitiny obsahují také Chrom o obsahu 0,15%

Z pohledu *slévárenských vlastností* se snižuje stahování kovu při tuhnutí a zlepšuje nepropustnost odlitků. Měď tvoří ve slitině ternární eutektikum, které tuhne až v závěru tuhnutí [5].

Z *mechanických vlastností* je, v porovnání s Al – Si, zvýšená pevnost a tvrdost v litém stavu, snižují se však plastické vlastnosti. Tento vliv se ještě zvyrazňuje za přítomnosti hořčíku a mědi. Tyto slitiny se sice nevytvrzují, ale díky příměsi mědi a zinku dochází k samovolnému vytvrzování, proto odlitky získávají finální mechanické vlastnosti až po několika dnech [5].

Obrobitelnost se vlivem mědi výrazně zlepšuje. Třísky jsou dobře lámavé a dosahuje se kvalitního povrchu [5].

Měď má negativní vliv hlavně na *odolnost proti korozi*. Při nízkém obsahu (do 2 hm. %) v atmosférických podmínkách není zhoršení výrazné, při vyšším obsahu se však doporučuje použít nějaký druh povrchové úpravy.

5.4 Slitiny Al – Si – Mg

Tyto slitiny jsou charakteristické obsahem Mg v množství 0,25 – 0,45 % (u některých slitin až 0,7%), které umožňuje provádět vytvrzování za tepla. V litém stavu mají tyto slitiny pouze průměrné vlastnosti, vysoké mechanické vlastnosti dosahují až díky vytvrzování. Slitiny Al – Si – Mg jsou podeutektické a podle obsahu křemíku se dělí na dvě skupiny a to jsou AlSi7Mg a AlSi10Mg. Slitiny s vyšším obsahem křemíku mají lepší slévárenské vlastnosti a rovněž lepší svařitelnost [5]. Obsah dalších slitin je omezen na velmi nízké hodnoty, viz: tab. 9.

Tab. 9 Chemické složení slitin Al – Si – Mg dle DIN 1706 [22]

Slitiny	Chemické složení [%], zbytek Al									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti
EN AC-42100	6,5-7,5	0,19	0,05	0,1	0,25-0,45	–	0,07	–	–	0,08-0,25
EN AC-42200	6,5-7,5	0,19	0,05	0,1	0,45-0,70	–	0,07	–	–	0,08-0,25
EN AC-43000	9,0-11,0	0,55	0,05	0,45	0,20-0,45	0,05	0,1	0,05	0,05	0,15
EN AC-43200	9,0-11,0	0,65	0,35	0,55	0,20-0,45	0,15	0,35	0,1	–	0,2
EN AC-43300	9,0-10,0	0,19	0,05	0,1	0,25-0,45	–	0,07	–	–	0,15
EN AC-43400	9,0-11,0	1	0,1	0,55	0,20-0,50	0,15	0,15	0,15	0,05	0,2

6 DALŠÍ SLITINY HLINÍKU

6.1 Slitiny Al – Cu

Měď tvoří s hliníkem slitiny s omezenou rozpustností v tuhém roztoku $\alpha(\text{Al})$ a s eutektikem, které je tvořeno fázemi $\alpha(\text{Al})$ a intermetalickou fází Al_2Cu . Rozpustnost mědi v hliníku při eutektické teplotě je maximálně 5,7 % a při ochlazování se snižuje, čímž umožňuje provádět vytvrzování za tepla i za studena. Slitiny mědi obsahují obvykle 4 – 5 % mědi. Slitiny, jež obsahem mědi převyšují maximální rozpustnost v hliníku, nemají technický význam [5].

Normalizované slitiny Al – Cu obsahují nebo mohou obsahovat další přísady:

- Ti – pro zjemnění primárního zrna, do 0,3 % Ti
- Mg – zvýšení pevnosti, do 0,35 % Mg
- Ni – při vytvrzování vzniká precipitát fáze NiAl_3 , který zvyšuje pevnost a tvrdost při vyšších teplotách, 2 % Ni a 1,5 % Mg
- Ag – po vytvrzování vysoké mechanické vlastnosti při normální i zvýšené teplotě, 0,4 – 1 % Ag

Mechanické vlastnosti se velmi liší v závislosti na slitině. V porovnání s duraly, které mají výborné mechanické vlastnosti, mají slévárenské slitiny tyto vlastnosti horší, i přesto se však řadí k vysokopevným slitinám (pevnost a 400 MPa). Tažnost a lomová houževnatost je až dvojnásobná oproti slitinám Al – Si. Odlitky z těchto slitin jsou vhodné pro použití za zvýšených teplot [23].

Z důvodů velmi špatných slévárenských vlastností se použití těchto slitin omezuje a nahrazují se slévárensky příznivějšími slitinami typu Al – Si.

6.2 Slitiny Al – Mg

Hořčík tvoří s hliníkem slitiny s maximální rozpustností 17,4 % Mg při eutektické teplotě 450 °C. S poklesem teploty a vlivem přísadových prvků se rozpustnost rychle snižuje. Eutektikum je tvořeno fázemi $\alpha(\text{Al})$ a $\beta(\text{Al}_8\text{Mg}_5)$. Pokud je ve slitině obsažen křemík v množství cca 1 %, váže se hořčík především do sloučeniny Mg_2Si . Ta se vylučuje jako intermetalická fáze, která umožňuje provádět vytvrzování [5].

Tyto slitiny se obvykle tvoří z velmi čistého hliníku (99,7 a vyšší) z důvodů získání co nejlepší odolnosti proti korozi proto obvykle obsahují méně železa a křemíku než je obvyklé u ostatních hliníkových slitin. Do slitin jsou přidávány přísady [23]:

- Fe a Zn – pro zvýšení rekrytalizační teploty
- Si – pro zvýšení zabíhavosti
- Mn a Cr – pro vyrovnání špatné odolnosti proti korozi železa
- Cu – pro zlepšení odolnosti proti pittingu
- Zn – pro zlepšení slévárenských vlastností a pevnosti

Tab. 10 Obsah legujících prvků ve slitinách Al – Mg [23]

Mg	0,5 – 13 %	Zn	do 3 %
B	do 0,05 %	Li	do 3%
Si	do 2 %	Cr	do 0,5 %
Ni	do 0,5 %	Zr	do 0,5 %
Fe	do 0,8 %	Ti	do 0,2 %
Be	do 0,01 %	Mn	do 2 %
Cu	do 0,2 %	–	–

Měrná pevnost a rázová houževnatost je nejvyšší ze všech slévárenských slitin hliníku [7]. Modul pružnosti je vlivem hořčíku snižován, ale tento vliv je až do 5 – 6 % kompenzován ostatními legurami a jeho hodnota zhruba odpovídá modulu pružnosti čistého hliníku. Při vyšším obsahu hořčíku se však začíná snižovat [23].

Při vysokých teplotách neprobíhá snižování mechanických vlastností tak rychle jako u jiných slitin hliníku. Díky dobrým vlastnostem byly slitiny Al – Mg zkoušeny jako pístové slitiny. Tomuto použití však nevyhovují kvůli snižování pevnosti vlivem cyklické změny teploty [23].

Slitiny Al – Mg mají dvě nejdůležitější vlastnosti ovlivňující jejich použití. První z nich je vysoká odolnost proti korozi zvláště v mírně alkalickém prostředí a proti mořské vodě, např. při stavbě lodí, v chemickém a potravinářském průmyslu.

Druhá vysoce ceněná vlastnost slitin Al – Mg je možnost povrchové úpravy. Pokud mají slitiny obsah Mg menší než 4 %, je možno provádět anodickou oxidaci a odlitky leštit. Díky tomu jsou odlitky ze slitin Al – Mg vhodné pro dekorativní účely [5].

Oblastí použití slitin Al – Mg není mnoho, používají se prakticky pouze kvůli odolnosti proti korozi a možnosti dosažení výborného vzhledu povrchu žádaného u dekorativních předmětů. Pokud na tyto vlastnosti není kladen velký důraz, používají se slitiny Al – Si [5]. Přísada křemíku však zlepšuje slévárenské vlastnosti, proto se ze slitin Al – Mg – Si vyrábějí odlitky mechanicky namáhané za vyšších teplot, např. žebrované hlavy válců nebo odlitky vystavené povětrnostním vlivům [7].

6.3 Slitiny Al – Zn

Hliník tvoří se zinkem eutektický systém s eutektickou teplotou 382 °C a obsahem zinku 94,5 %. V oblasti vysokých teplot je rozpustnost zinku v $\alpha(\text{Al})$ až 70%, s poklesem teploty se snižuje až na 2 % při pokojové teplotě. Za přítomnosti mědi se zvyšuje rozpustnost zinku na 5,5 %, proto v technických slitinách zůstává zinek v tuhém roztoku [5].

Technické slitiny obsahují obvykle 5 – 7 % zinku a do 1 % hořčíku. Tyto slitiny se samovolně vytvrzují za studena a po době 20 – 30 dní dosahují pevnosti v tahu až 250 MPa při tažnosti kolem 5 %, tvrdost je přibližně 70HB. Z technického hlediska je však důležitá zejména vysoká rozměrová stabilita, dobrá odolnost proti korozi a dobrá obrobitelnost. Kvalita povrchu po obrobení, případně po eloxování je vynikající. Nevýhoda těchto odlitků je nízká odolnost proti korozi pod napětím [5].

Slitiny mají značný sklon ke vzniku staženin a zejména velký sklon k praskání za tepla. Vzhledem k ostatním dobrým vlastnostem je tato skupina slitin stále předmětem zájmu a snaha se zaměřuje na snížení sklonu k praskání za tepla. Předpokládá se, že kombinací vhodných legur je reálně dosáhnout pevnosti až kolem 500 MPa [5].

6.4 Slitiny Al – Zn – Mg

Slévárenské vlastnosti mají lepší než slitiny Al – Cu nebo Al – Mg. Ve srovnání se slitinami Al – Cu je lepší jejich odolnost proti korozi, může se však projevit vyšší sklon ke korozi pod napětím, který se potlačuje přísadou 0,8 – 1,2 % železa. Slitiny Al – Zn – Mg jsou méně citlivé na změnu tloušťky stěn než jiné slévárenské slitiny hliníku a dobře se svařují. Nejsou však zařazeny v ČSN [7].

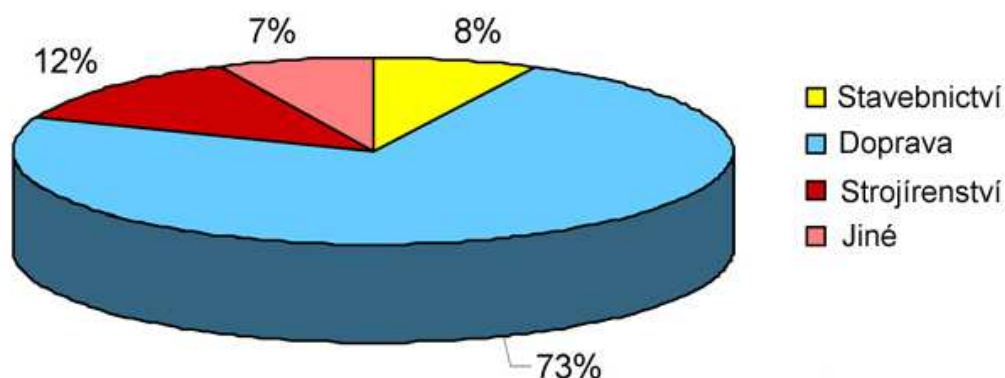
6.5 Slitiny Al – Li

Tyto slitiny jsou určeny přednostně pro tvářené hutní polotovary, avšak dle potřeby mohou být použity i pro odlitky. Vzhledem k vysoké reaktivitě lithia s kyslíkem ve vzduchu se tavení a odlévání těchto slitin provádí pod krycí struskou v ochranné atmosféře [7].

7 POUŽITÍ SLITIN HLINÍKU

Existuje obrovské množství slévárenských slitin hliníku. Každá oblast, ve které se tyto materiály používají, má specifické požadavky na jejich vlastnosti. Na obr. 11 uvádím graf, znázorňující hlavní oblasti použití odlitků ze slitin hliníku v Evropě v roce 2006.

Hlavní odběratelé odlitků z hliníkových slitin v Evropě
2006



Obr. 11 Použití odlitků z hliníkových slitin [1]

7.1 Doprava

Jak je z předchozího obrázku patrné, největším spotřebitelem hliníkových slitin je doprava, kterou ještě můžeme rozdělit na několik oblastí a to [2]:

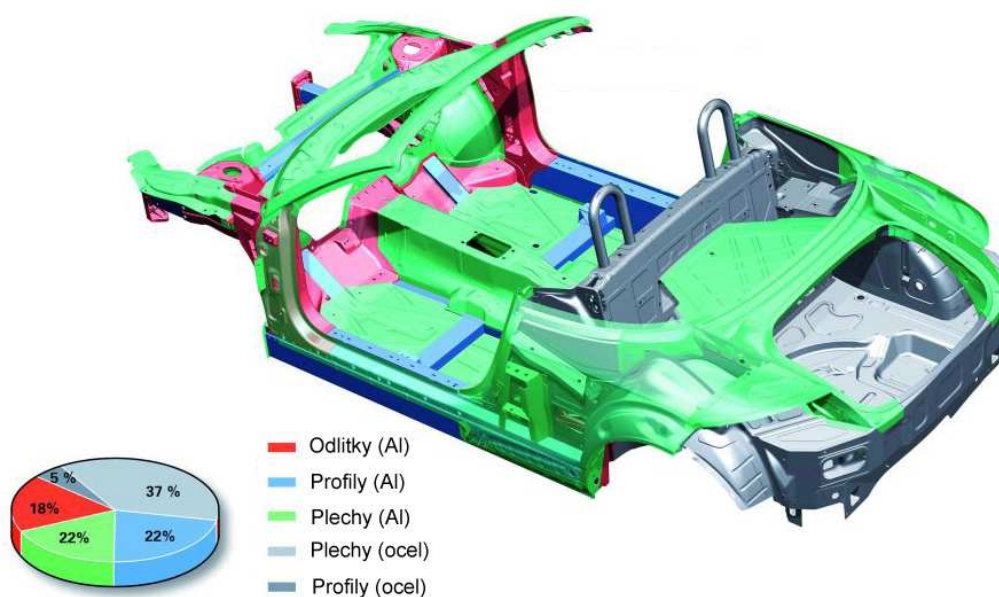
- automobilový průmysl
- letecký průmysl
- kolejová doprava
- konstrukce lodí
- kosmonautika

7.1.1 Automobilový průmysl

Největší uplatnění mají odlitky ze slitin hliníku v automobilovém průmyslu. Stejně jako ve všech oblastech dopravy je zde hlavní důvod pro aplikaci těchto materiálů jejich nízká hmotnost, jež se výrazně odráží ve zlepšení využití paliva a snížení celkových škodlivých emisí produkovaných automobilovou dopravou. Snaha o co největší využití a aplikaci hliníkových materiálů v automobilovém průmyslu vede k tomu, že se začíná uvažovat o výrobě auta z hliníkových plechů a o náhradě hliníkových odlitků za hliníkové plechy a profily. Důvodem pro výrobu karoserie a kostry z hliníku není pouze jeho hmotnost [2]:

- žádné korozní problémy
- dobrá možnost oprav
- vyšší užitkové životnost
- dobrá možnost kombinace s jinými materiály
- vynikající deformační schopnosti (pohlcování energie)
- lehká konečná separace odpadů

Na obr. 12 je vidět, že stejně jako u letadel se na kostře a karoserii aut podílí převážně hliníkové materiály ve formě plechů a profilů, ale vyskytuje se zde i určité procento hliníkových odlitků.



Obr. 12 Kostra vozu Audi TT Roadster [24]

A) Pohonná soustava

Materiály na bázi hliníku se používají také v pohonné soustavě, to je skupina komponent, které generují energii a rozvádějí ji na kola. Hlavní komponenty patřící do této skupiny jsou motor, spojka, převodovka, diferenciál a další. Většina hliníku, jež je spotřebována v automobilovém průmyslu, je využívána v této oblasti – u aut vyráběných v Evropě je to průměrně 55 – 60 % hmotnosti hliníkových materiálů. V této oblasti je také výrazná převaha hliníkových odlitků vzhledem k ostatním technologiím zpracování hliníku, udává se 80 – 85 % [1].

Blok motoru

Blok motoru z hliníkových materiálů má oproti šedé litině několik lepších vlastností [1]:

- tepelná vodivost
- pevnost za zvýšených teplot
- pevnost/tvrdoost za normální teploty
- únavová pevnost

Hliníkové slévárenské slitiny použité při výrobě takto komplexní součásti musí splňovat kombinaci vlastností, jež zahrnují nízkou cenu, výbornou slévatelnost, dobrou obrobitelnost, alespoň průměrnou pevnost za zvýšených teplot [1]. Mezi slitiny běžně používané pro výrobu těchto součástí patří:

- EN AC – AISI8Cu3
- EN AC – AISI4Cu4
- EN AC – AISI9Cu3(Fe)
- EN AC – AISI7Mg0.3
- EN AC – AISI7Mg
- AISi17Cu4Mg



Obr. 13 Blok motoru [25]

Hliníkové slitiny postupně vytlačují ostatní materiály z této oblasti a odhaduje se, že v severní Americe má blok motoru z tohoto materiálu asi 85 % vozů [25].

Vložky válců

Vnitřní stěny válců musí vydržet vysoké tlaky a velké pracovní rychlosti pístů. Musí také tvarově přesně odpovídat pístu a pístovým kroužkům. Nejdůležitější funkce válcové vložky je tvořit výbornou kluznou plochu pro pístové kroužky. Materiál musí být odolný proti otěru a mít co nejmenší spotřebu maziva. Pro odvádění tepla z válců je nutná dobrá tepelná vodivost. Mezi další vlastnosti, jež jsou důležité při konstrukci těchto součástí, patří [1]:

- tloušťka stěn
- nízká hmotnost
- ekologická produkce
- možnost recyklace
- nízká cena



Obr. 14 Blok motoru a vložky válců [26]

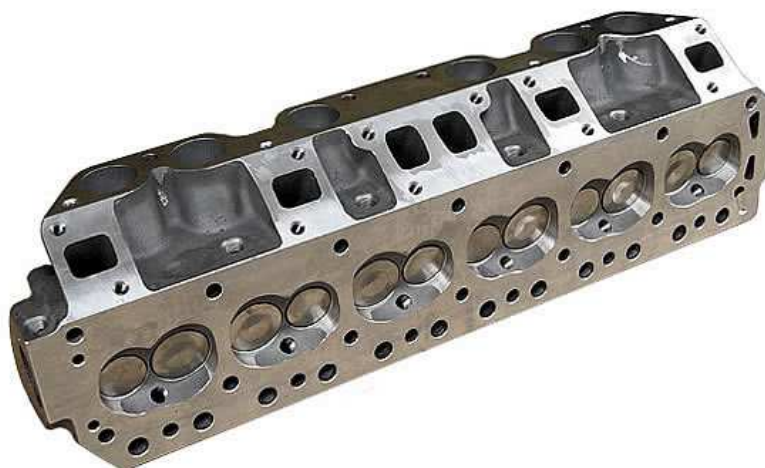
Hlava válců

Hlava válců je nedílnou součástí motoru. Uzavírá spalovací prostor, čímž umožňuje zvýšení tlaku potřebného pro chod motoru. Ve většině 4 – taktních motorů jsou na hlavě válců upevněny ventily a tvoří základní rám pro umístění sání, svíček, vstřikování a části chladicího systému [1].

Pro uspokojení všech požadavků na kvalitu těchto odlitků je potřeba:

- pevnost za zvýšené teploty (250 °C)
- tepelná vodivost
- kvalita povrchu
- slévatelnost
- dobré únavové vlastnosti

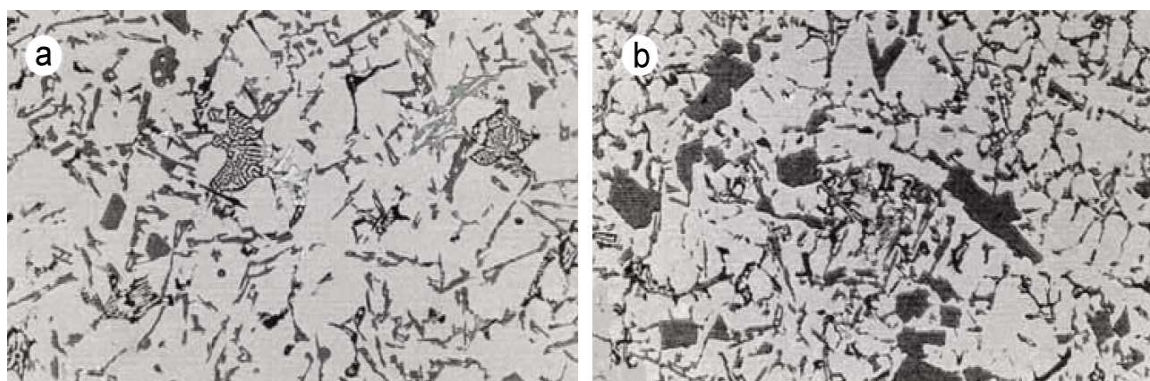
Nejlepší kombinaci pevnosti a houževnatosti pro tuto součást mají slitiny s nízkým obsahem železa jako je AlSi7Mg0.3 . I přesto, že je důležité omezit nečistoty, používají se i slitiny vyráběné z recyklovaného hliníku, jako jsou slitiny AlSi10Mg a AlSi7Mg . V důsledku špatných vlastností těchto slitin za vysokých teplot byly vyvinuty slitiny obsahující měď a nikl. Tyto slitiny jsou používány speciálně pro hlavy válců vznětových motorů (AlSi7MgCu0.5 , AlSi9Cu1Mg a AlSi7MgCuFeNi). Ty poskytují vysokou pevnost za vysokých teplot, přičemž si udržují houževnatost a dobré únavové vlastnosti. Pro méně namáhané spalovací motory se mohou použít slitiny AlSi8Cu3 nebo AlSi6Cu4 [1].



Obr. 15 Hlava válců [27]

Písty

Při výrobě pístů jsou využívány binární siluminy. K jejich výrobě se používá zejména eutektická slitina $\text{Al} - \text{Si}$ s obsahem křemíku 12 % a nadeutektické slitiny $\text{Al} - \text{Si}$ s obsahem křemíku 18 % nebo 24 %. Tyto slitiny mívají obvykle nízký obsah dalších prvků – Cu , Mg a Ni (do 1 %). Výrobci používají více slitin, ale všechny jsou založeny na těchto třech základních slitinách. Tyto slitiny jsou obvykle gravitačně lité a mají nízkou hmotnost a vysokou pevnost [1].



Obr. 16 Struktura a) eutektické slitiny AlSi12 , b) nadeutektické slitiny AlSi18 [1]

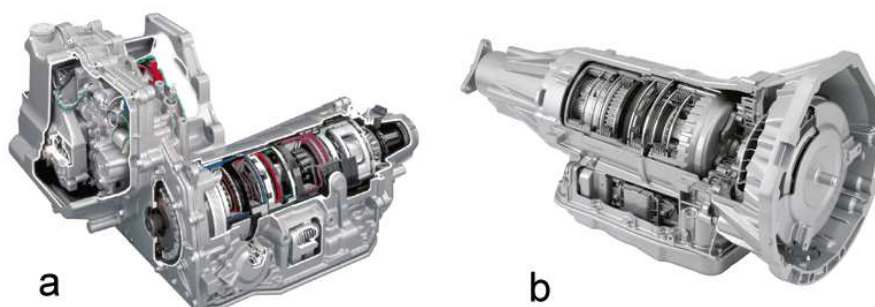
Tab. 7 Mechanické vlastnosti pístových slitin AlSi v závislosti na teplotě [1]

	Teplota [°C]	AlSi12CuMgNi	AlSi18CuMgNi
Smluvní mez kluzu Rp0,2 [MPa]	20	190 – 230	170 – 200
	150	170 – 220	150 – 190
	250	80 – 110	80 – 120
Mez pevnosti Rm [MPa]	20	200 – 250	180 – 230
	150	180 – 230	170 – 210
	250	100 – 150	110 – 140
Tažnost As [%]	20	0,3 – 1,5	0,2 – 1,0

Převodovka

Nejdůležitější použití hliníkových slitin v převodovkách je převodovková skříň, ale používá se i na některé funkční díly. Hlavní důvod pro použití hliníku je jeho nízká váha. Dalšími faktory podporujícími jeho použití je dobré vedení tepla, obrobitelnost a jeho dobrá slévatelnost, umožňující tvorbu komplexních a tenkostěnných odlitků. Nejčastěji používaná metoda odlévání je lití pod tlakem [1].

Převodovky jsou dva typy: manuální a automatická. Zatímco u manuálních převodovek se hliník používá pouze jako kryt, v automatických převodovkách se nacházejí součásti, při jejichž výrobě nachází uplatnění hliníkové slitiny [1].



Obr. 17 Automatická převodovka a) přední náhon, b) zadní náhon [28]

Čerpadla

Při výrobě krytů čerpadel a jejich dalších dílů je v automobilovém průmyslu přednostně používán hliník. Slitiny pro kryty čerpadel jsou většinou vyráběny tlakovým litím. Funkční plochy čerpadel se vyrábějí buďto z hliníkových odlitků nebo výkovek [1]. Čerpadel je v každém voze několik:

- Olejové čerpadla
- Vodní oběhové a chladicí čerpadla
- Vakuové pumpy

Turbodmychadlo

U přeplňovaných motorů je vzduch stlačený ještě před tím, než je vháněn do válce. Proto se spálí víc paliva a zvyšuje se výkon motoru. Každé zařízení, jež zvyšuje tlak v rozvodech vzduchu nad atmosférický, se nazývá turbodmychadlo.

U přeplňovaných motorů se tak využívá část energie výfukových plynů na pohánění turbíny turbodmychadla. Přeplňované motory mají vyšší spotřebu než nepřeplňované verze stejných motorů. Aby turbodmychadlo pracovalo maximálně efektivně, musí být vzduch po stlačení ochlazen, aby více expandoval ve válci [30].

Klíčovou částí tohoto zařízení je rotor, který je obvykle vyroben z hliníku. Na tuto součást jsou kladeny vysoké nároky, a proto to musí být výrobek nejvyšší kvality. Hliníkové rotory proto bývají odlévány velmi sofistikovanými metodami jako je například thixocasting (lisování v polotuhém stavu) [1].



Obr. 18 Turbodmychadlo [29] a rotor turbodmychadla [31]

Hliník se používá při výrobě mnoha dalších součástí, nejčastěji jako nejrůznější kryty. V hnacím systému jsou to např. kryty diferenciálů a os. Pevnost a nepropustnost je důležitá při výrobě krytu hlavy válců a olejových van (obě tyto součásti se vyrábějí ze slitiny AlSi9Cu3).

B) Podvozek a zavěšení

Podvozky a tlumiče vozů vyráběných v Evropě, obsahují 40 – 45 kg hliníku, to je asi 30 % váhy hliníku v celém voze. Z toho 80 % je ve formě odlitků [1].

Díky trendu používat co nejlehčí materiály se v budoucnu očekává větší použití hliníkových materiálů. Největší potenciál mají tyto materiály ve výrobě disků kol, převážně díky jejich estetickým vlastnostem. Dalším důvodem pro používání hliníku je snaha o snížení neodpružené váhy a tím zlepšení jízdních vlastností a spotřeby paliva [1].

Na druhou stranu tyto součásti jsou velmi důležité z hlediska bezpečnosti. Kola a odpružení jsou dynamicky namáhána, jsou pod vlivem prostředí a často musí vydržet špatné zacházení. Proto musí být na odlitky pro tyto komponenty používány pouze vysoce kvalitní hliníkové slitiny [1].

Náprava

Použití náprav má několik účelů [32]:

- rozložení váhy vozidla a její přenesení na kola
- přenesení hnacích, brzdných a bočních sil mezi kolem a rámem
- odpružení vozidla pomocí pružin uložených mezi nápravami a vozidlem

Použitím rozdílných metod zpracování hliníku bylo vyvinuto mnoho rozdílných rámců náprav, mezi nimiž jsou i rámy z hliníkových odlitků.



Obr. 19 Přední a zadní nosné rámy [1]

Zavěšení

Zavěšení zahrnuje odpružení, tlumiče a spojení vozidla s koly. Zavěšení podpírá váhu vozidla a chrání ho před poškozením a opotřebením. Požadavky, jež mají tyto součásti plnit, jsou dvojí:

- komfort cestujících – izolováním kabiny od různých nerovností vozovky, vibrací, nežádoucího zvuku
- zlepšení ovládní vozidla – snížení houpání a dobrý kontakt mezi pneumatikami a vozovkou

Cílem zavěšení je poté vytvoření dobrého kompromisu mezi těmito dvěma požadavky [1].

V této oblasti se hliníkové odlitky nejvíce používají na klouby. Klouby jsou většinou specificky vyráběné pro použití podle daného vozidla a zatížení. Aby hliníkové odlitky splnily přísné mechanické požadavky, musí být odlévány složitými licími metodami.

Na tyto součásti se nejčastěji používají slitiny Al – Si – Mg a Al – Cu:

- EN AC – AlSi7Mg0.3
- EN AC – AlSi7Mg0.5
- EN AC – AlCu4MgTi

Kola

Litá kola z hliníkových materiálů se používají zejména kvůli atraktivnímu vzhledu. Snížení hmotnosti oproti ocelovým kolům není výrazná a není hlavním důvodem pro nahrazování oceli. Odlitky také nabízejí vysokou přesnost rozměrů a dostatečné statické a dynamické vlastnosti. Na litá kola se nejvíce používají slitiny Al – Si – Mg (EN AC – AlSi7Mg0.3) a Al – Si (EN AC – AlSi11) [1].

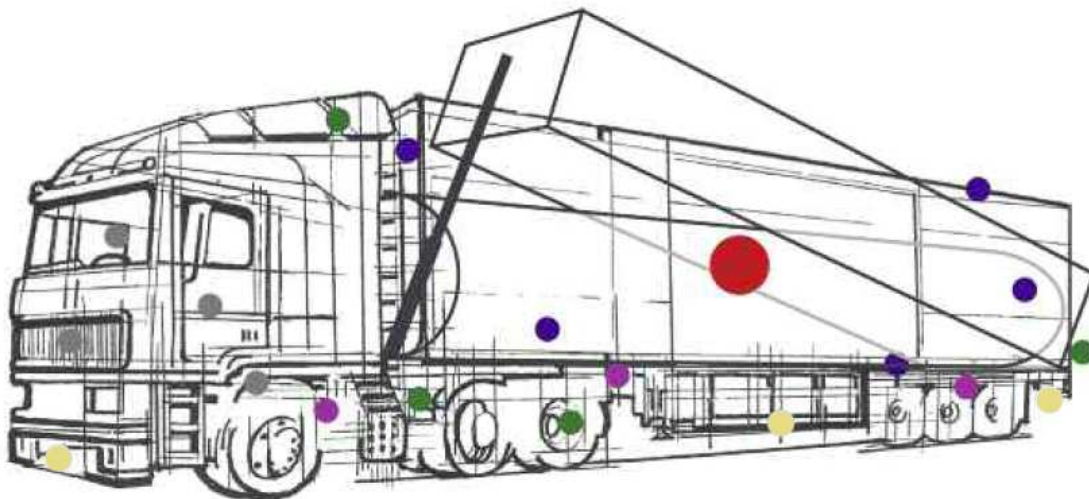


Obr. 20 Litá kola

Toto jsou hlavní oblasti, ve kterých se používají hliníkové odlitky, ale existuje množství dalších menších dílů, běžně používaných v celém vozidle, že není možné věnovat se všem.

Nákladní vozy

Téměř vše o čem byla řeč u osobních vozů, se projevuje i u nákladních vozidel. Velkým zájmem dopravních společností je snížení nákladů na pohonné hmoty a to jde ruku v ruce se snížením váhy. Na obr. 21 jsou uvedeny orientační hodnoty snížení váhy u dopravních vozidel při použití hliníkových materiálů, obrázek zahrnuje jak hliníkové odlitky, tak i plechy a profily.



Obr. 21 Oblasti použití materiálů na bázi hliníku [1]

● kabina, dveře, podvozek, zavěšení	≈ 800 kg
● podvozek, podlaha přívěsu	≈ 2000 kg
● nádrž, kola	≈ 550 kg
● pevné a sklápěcí korby, nádrže	≈ 4000 kg
● části nástavby	≈ 550 kg
● nárazníky	≈ 50 kg

7.1.2 Další oblasti použití hliníku v dopravě

Letecký průmysl

Největší procento použitých hliníkových materiálů z celkového objemu je při výrobě letadel. Pro představu letadlo A340 váží 90 000 kilogramů, je ze 2/3 vyrobeno z materiálů patřících do kategorie slitin hliníku. Hliníkové materiály se používají nejen díky nízké hmotnosti, ale také díky dobrým mechanickým vlastnostem při nízkých teplotách pod bodem mrazu. Největší část hmotnosti letadel zastupují tvářené komponenty namáhané při vyšších napětích, jakými jsou trup a křídla letadla. U komponentů, které nejsou tolik namáhané, je snaha o jejich nahrazení ještě lehčími materiály na bázi hořčíku nebo uhlíkovými a skleněnými vlákny kompozitu [2].

Kolejová doprava

V šedesátých a sedmdesátých letech se začaly používat v osobních vlacích součásti z hliníku. Prvními z nich byly okenní rámy a vnitřní příčky. Později byly hliníkové materiály, z důvodů snižování váhy, používány na výrobu kompletní karosérie tramvají a vozů metra. Příklad výhody použití hliníkových materiálů ukazuje např. TGV – Duplex. Tento vlak váží o 12 % méně než tradiční TGV a přepraví o 40 % cestujících víc. Navíc nabízí lepší pasivní bezpečnostní vlastnosti [33]. Valná většina těchto výrobků jsou hliníkové plechy a profily.

Lodní doprava

Hliník je používán na nejrůznějších typech lodí – od jachet, přes rybářské lodě až k hlídkovým plavidlům. Je používán kvůli nízké hmotnosti, dobré odolnosti proti korozi, lehkému zpracování a skvělému poměru pevnosti a hmotnosti. Nejčastěji používané hliníkové materiály jsou slitiny Al – Mg a Al – Mg – Si díky možnosti eloxování. Jen minimum součástí jsou odlitky [34].

Kosmonautika

Specifickou oblastí dopravy je oblast kosmonautiky, kde se ve velkém množství používají hliníkové materiály. Co se týče celkového objemu použitých hliníkových materiálů, nejedná se o oblast v současné době významnou, ale s dalším očekávaným rozvojem této oblasti lze očekávat významné objemy nárůstu spotřeby hliníkových materiálů. Zajímavým příkladem využití hliníkových materiálů je sestavení sondy Huygens, která byla vyslána k jednomu z měsíců Saturnu, kde 14. 1. 2005 přistála na povrchu. Sonda Huygens má průměr 2.75 m s hmotností 352 kg, kde pouzdro má hliníkovou kostru a aparatura i provozní subsystémy jsou na dvou plošinách z hliníkové voštiny, zakrytých hliníkovým pláštěm [2].



Obr. 22 Sonda Cassini – Huygens [35]

7.2 Strojírenství

Druhým největším spotřebitelem odlitků z hliníkových slitin je strojírenství, kde je nepřeborné množství součástek anebo celých součástí strojů, zařízení a přístrojů. Strojírenství je velmi široký obor, proto vyjmenuji jen několik příkladů použití hliníkových materiálů a to např. armatury, ventilátory, adaptéry, potrubí, skříně, víka, ventily, kohouty, a další součásti manipulační techniky, stavebních strojů, domácích spotřebičů a dalších.



Obr. 23 Ukázka hliníkových odlitků [36]

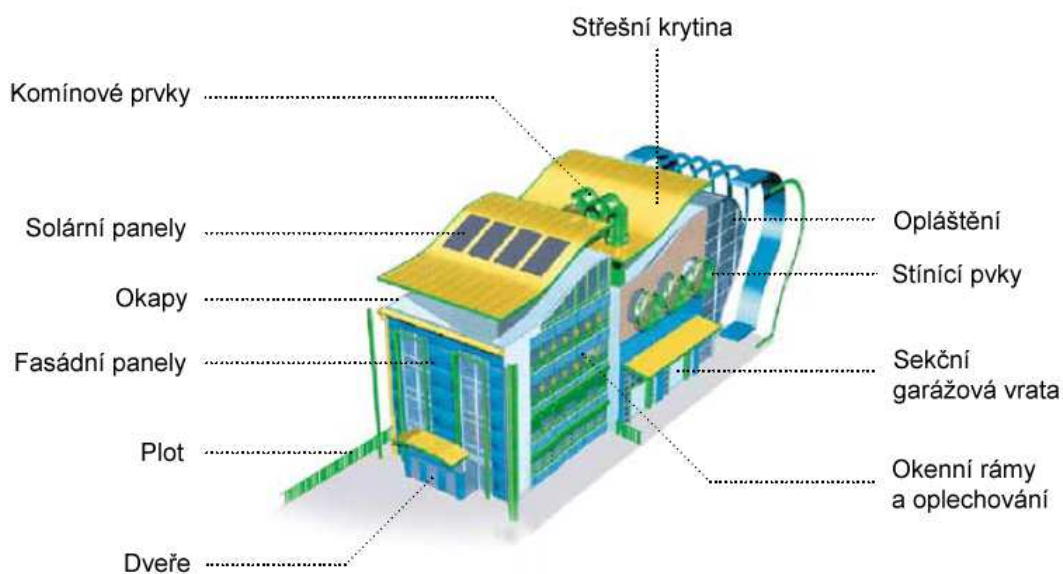
7.3 Stavebnictví

Co do celkového objemu spotřeby hliníku je toto odvětví na druhém místě, ale ve spotřebě hliníkových odlitků až na třetím. V období posledních desetiletí stoupala spotřeba hliníku hlavně vyráběním průmyslových fasádních prvků, které se využívají při budování nákupních center, kancelářských budov firem a společností, bank, vlakových a autobusových nádraží, výstavních pavilonů, benzinových pump a mnoha dalších. Dnes je tedy hliník materiálem, který určuje vzhled různých budov. Téměř v každém městě se objevují stavby, u nichž pro obohacení architektury bylo použito hliníku jak vně tak i uvnitř budov. Výhody použití hliníku jsou následující [2]:

- udržují si bezvadný vzhled po dlouhou dobu
- jednoduchá výroba a levná údržba
- vysoká odolnost proti korozi
- nízká hmotnost

- výborná a rychlá zpracovatelnost při montáži
- možnost barvení na rozdílné barevné odstíny

Na obr. 24 je znázorněno použití hliníkových materiálů na stavbách. Většina hliníkových prvků jsou ve formě profilů či plechů. Odlitků z tohoto materiálu je pouze malé procento vzhledem k celkové hmotnosti hliníku. Typickým použitím jsou dekorativní prvky, jako např. kliky dveří. Pro tyto odlitky se používají slitiny Al – Mg díky dobrým estetickým vlastnostem a možnosti eloxování.



Obr. 24 hliníkové prvky ve stavebnictví [1]

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat vlastnosti a použití hliníku a jeho slitin používaných ve slévárenství. Proto je první kapitola věnována hliníku technické čistoty. Kromě jeho použití jsou zde zmíněny i důležité vlastnosti, jež z tohoto kovu činí jeden z nejdůležitějších prvků v technické praxi.

Ne všechny vlastnosti hliníku jsou dostačující, velmi dobré slévárenské a technologické vlastnosti jsou vyváženy horšími mechanickými vlastnostmi. Právě z důvodů odstranění nebo alespoň zmírnění těchto špatných vlastností byly vyvinuty hliníkové slitiny. Změnám vlastností těchto materiálů vzhledem k čistému hliníku se věnuje další kapitola. Na výsledný odlitek má samozřejmě výrazný dopad i technologie lití. Tomuto tématu se krátce věnuje třetí kapitola. Jedná se o stručný přehled nejpoužívanějších metod odlévání, který by mohl být doplněn mnoha dalšími. V závěru kapitoly jsou porovnány mechanické vlastnosti dvou slitin v závislosti od technologie lití.

Ve čtvrté kapitole je zobrazeno rozdělení hliníkových slitin jak podle způsobu zpracování, tak podle možnosti tepelného zpracování. Tato práce je zaměřena na slévárenské slitiny hliníku a proto jsem se dále věnoval jejich dalšímu rozdělení podle čtyř hlavních legujících prvků, jimiž jsou: křemík, měď, hořčík a zinek. Zbytek této kapitoly je věnován ukázkám a vysvětlení značení těchto slitin podle ČSN, ČSN EN a DIN.

Další kapitola je věnována v praxi nejpoužívanější skupině slitin Al – Si. Nejdříve se věnuji jejich základním charakteristikám podle obsahu křemíku a v malém množství vždy přítomném hořčíku. Zbytek kapitoly je věnován ternárním slitinám Al – Si – Cu a Al – Si – Mg, u kterých se vždy věnuji důležitým vlastnostem, které jsou modifikovány daným přísadovým prvkem a jejich chemickému složení. V následující, šesté kapitole, jsou popsány další používané slitiny.

Poslední kapitola se zabývá použitím hliníkových slitin. Největší pozornost je věnována jeho použití v dopravě, specificky v automobilovém průmyslu. Je to opodstatněno dominantním použitím těchto materiálů v mnoha součástích vozů, např. v evropských moderních vozech je v 60 % hmotnosti pohonné soustavy použit hliník. V malé míře se věnuji použití hliníku v ostatních oblastech dopravy, kde není použití hliníkových odlitků tak výrazné.

Hliník je třetí nejčastější prvek a nejčastější kov vůbec. Je obsažen až v 8 % zemské kůry. V průmyslovém použití patří hliníkovým slitinám druhé místo, používanější je už jen ocel. S hliníkovými výrobky se setkáváme denně, a i když si to možná neuvědomujeme, svět bez hliníku bychom si už ani nedokázali představit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] www.alueurope.eu [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z www: <<http://www.alueurope.eu/>>
- [2] MICHNA, Š. a kol. *Encyklopedie hliníku*. 1. vyd. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005, 700 s. ISBN 80-890-4188-4.
- [3] KŘÍŽ, A. Hliník a jeho slitiny [online]. Publikováno: 2005-11-04, [cit. 2012-03-31]. Dostupné z www: <http://www.benjamin.ic.cz/hlinik_slitiny.pdf>
- [4] www.astronom.cz, [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z www: <<http://www.astronom.cz/procyon/chemistry/elox.html>>
- [5] ROUČKA, J. a kol. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6.
- [6] PROAL, [online]. c2009. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z www: <<http://www.proal.cz/info/slitiny.htm>>
- [7] PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [8] De Vos, P. Příručka pro technology – Obrobitelnost. *MM průmyslové spektrum*. Prosinec 2011, roč. X, č. 12, s. 58, ISSN: 1212- 2572.
- [9] KOLAŘÍK, L. *Svařování hliníkových slitin*, Technický týdeník, č. 13/2010, 2010, s. 36. ISSN 0040-1064.
- [10] BUREŠ, J. www.converter.cz, [online]. [cit. 2012-03-31]. Tvrdost. Dostupné z www: <<http://www.converter.cz/tabulky/tvrdost.htm>>
- [11] Mechanické vlastnosti a charakteristiky materiálů. [online], [cit. 2012-05-02]. Dostupné z www: <ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/5FM/FM%2011.ppt>
- [12] www.Konstrukter.eu [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z www: <<http://www.konstrukter.eu/zajimavosti/materialy/>>
- [13] MICHNA, Š. *Progresivni technologie odlévání*. [online], [cit. 2012-04-05], Dostupné z www: < http://www.stefanmichna.com/download/progresivni-technologie/progresivni_tehnologie_odlevani.pdf >
- [14] POŽÁR, J. *Moderní metody výroby součástek metodami lití s krystalizací pod tlakem a tváření v polotuhém stavu*, Slévárenská ročenka 2000, ČSS, ISBN 80,238-5151-9

- [15] Slévárenství – teorie, [online]. [cit. 2012-04-11]. Dostupné z www: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_slevarenstvi/teorie.htm>
- [16] PODRÁBSKÝ, T, NĚMEC, K, JULIŠ, M. *Neželezné kovy a jejich slitiny: doplnění a rozšíření přednášky "Strojírenské materiály" z předmětu, BUM.* [s.l.] : [s. n.], 2008. 40 s.
- [17] Metalurgie slitin Al, [online]. c2011. [cit. 2012-04-02]. Dostupné z www: <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSL/Slitiny%20Al.pdf>>
- [18] PLACHÝ, J, NĚMEC, M, BEDNÁŘ, B. Teorie slévání. 1. vyd. Praha: Ediční středisko Českého vysokého učení technického, 1986. 108 s. il.
- [19] Technical data sheet, [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z www: <<http://www.hydro.com/upload/Documents/Products/AlSi11.pdf>>
- [20] Silafont20 english, [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z www: <http://www.sag.at/fileadmin/downloads/Silafont20_english_01.pdf>
- [21] HEUSLER, L, SCHNEIDER, W. Influence of alloying elements on the thermal analysis results of Al – Si cast alloys [online]. Publikováno: 2002-08-26. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z www: <[http://dx.doi.org/10.1016/S1471-5317\(02\)00009-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1471-5317(02)00009-3)>
- [22] Chemical composition of cast alloys [online]. Publikováno: 2010-05-03. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z www: <<http://www.handtmann.de/uploads/media/alloy-table.pdf>>
- [23] Key to metals [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z www: <<http://www.keytometals.com>>
- [24] The Auto Channel [online]. [cit. 2012-04-30]. Dostupné z www: <<http://www.theautochannel.com/news/2008/12/01/273579.html>>
- [25] www.Shelmetcastings.com [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z www: <<http://www.shelmetcastings.com/aluminum-engine-blocks.html>>
- [26] Aluminum Cylinder Liner [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z www: <<http://www.tnckorea.co.kr/Silitec.htm>>
- [27] www.classicinlines.com [online]. [cit. 2012-05-03]. Dostupné z www: <<http://www.classicinlines.com/AlumDevelop.asp>>
- [28] www.familycar.com [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z www: <<http://www.familycar.com/transmission.htm>>

- [29] blog.ooyyo.com [online]. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z www: <<http://blog.ooyyo.com/used-cars-blog/turbo-chargers-facts-or-friction.html>>
- [30] www.powerrail.com [online]. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z www: <<http://www.epowerrail.com/PRD%20home.htm>>
- [31] auto.howstuffworks.com [online]. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z www: <<http://auto.howstuffworks.com/turbo.htm>>
- [32] OTIPKA, J., *Nápravy úvod* [online]. Publikováno: 2012-04-21. [cit. 2012-05-07]. Dostupné z www: <http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-07_napravyuvod_tuhenapravy.pdf>
- [33] aluminium.matter.com [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z www: <<http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=93&pageid=2144417167>>
- [34] www.azom.com [online]. [cit. 2012-05-08]. Dostupné z www: <<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=4193>>
- [35] www.abicko.cz [online]. [cit. 2012-05-13]. Dostupné z www: <<http://www.abicko.cz/clanek/3d-modely/8750/kosmicka-sonda-cassini-huygens.html>>
- [36] www.groupe-sab.com [online], [cit 2012-04-25]. Dostupné z www: <http://www.groupe-sab.com/automotive_en/produits.php>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
R_m	MPa	Mez pevnosti v tahu
H	HB	Tvrдость
c	$\text{kJ}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
L_t	$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	Skupenské teplo tání
A	%	Tažnost
T	$^{\circ}\text{C}$	Teplota
$R_{p0,2}$	MPa	Smluvní mez kluzu
a	nm	Parametr mřížky
ρ	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Hustota
Q	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$	Tepelná vodivost
G	$\Omega\cdot\text{m}$	Elektrická vodivost
A_r	–	Relativní atomová hmotnost
R	Ω	Elektrický odpor
A_s	%	Prodloužení

