



Hliník a jeho slitiny (vytvrditelné a nevytvrditelné)

Hliník a jeho slitiny

- ▶ K objevení hliníku došlo ve dvacátých letech 18. století. V té době byl vzácným kovem a byl používán k výrobě šperků.
- ▶ Na konci 19. století (1890) dochází k používání hliníku v konstrukcích a to díky zjednodušení a zlevnění výroby. 1886 – patentování výroby hliníku
- ▶ V průběhu 20. století se stávají slitiny hliníku nejpoužívanějším neželezným konstrukčním materiálem a jeho spotřeba stále roste.
- ▶ V současné době je tato spotřeba umocněna zvýšenými nároky na co nejvyšší ekologii především v automobilovém a leteckém průmyslu. Použitím Al slitin se snižuje hmotnost konstrukce, což vede k redukci spotřeby konvenčních paliv na ropné bázi a tím se snižuje produkce skleníkových plynů.
- ▶ Slitiny hliníku dávají dobrou možnost nahradit konstrukční ocele, protože poměr mezi mechanickými vlastnostmi a měrné hustoty je pro to vhodný.
- ▶ Aktuálně se vývoj zaměřuje na vylepšení technologie odlévání, chlazení taveniny, tváření a tepelnému zpracování slitin hliníku, aby se zlepšily mechanické vlastnosti (pevnost a tvrdost).

Hliník a jeho slitiny – výroba a použití

- ▶ Hliník je třetím nejrozšířenějším prvkem (po kyslíku a křemíku) v zemské kůře [82g/kg] a v čistém stavu se v přírodě nevyskytuje – tvoří sloučeniny/minerály zejména s křemíkem a kyslíkem (více jak 270 – nejznámější - spinel, böhmit, kaolin a korund).
- ▶ Bauxit – základní surovina – je to červená až červenohnědá hornina obsahuje směs hydroxidů hliníku, nejvíce böhmitu, gibbsitu nebo diasporu, často obsahuje také minerály železa a jílu. Bauxity slouží jako jediná surovina pro výrobu hliníku, mimo to jsou také zdrojem galia, germania, vanadu, scandia a dalších prvků.
- ▶ V případě vazby na kyslík vytváří Al_2O_3 – drahé kameny rubín a safír. Rubín – červený – příměs oxidu chromu, safír – modrý – příměs oxidu titanu a železa. Obě formy jsou ceněné v oblasti výroby šperků, ale používají se též technické praxi. Safírové hroty (dříve též v mechanických hodinkách). Rubín byl použit v konstrukci prvního laseru. Safír s příměsí titanu vyniká extrémně krátkými pulsy.

Rubín

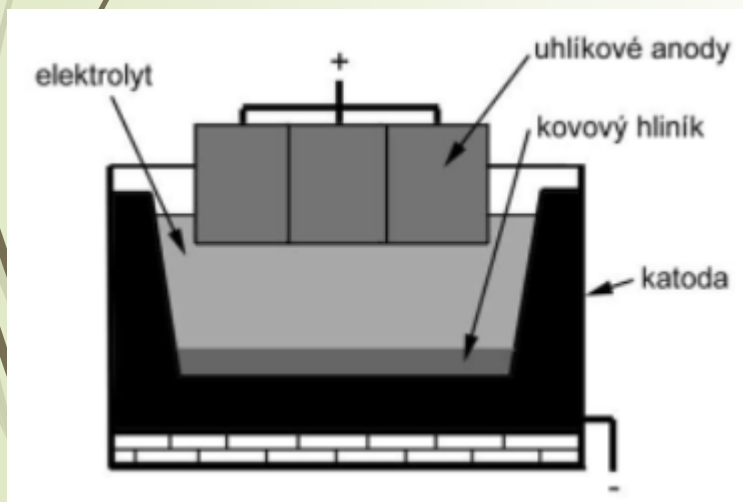


Safír



Hliník a jeho slitiny – výroba a použití

- ▶ Nejlevnější výroba spočívá v elektrolýze Al_2O_3 rozpuštěného v tavenině kryolitu a Na_3AlF_6 . Tento proces téměř současně objevili americký chemik Charles Martin Hall a francouzský chemik Paul Héroult – metoda se jmenuje Hall-Héroultův proces a s menšími úpravami se používá dodnes. Výrobní proces je komplikovaný – zjednodušeně ho můžeme rozdělit do dvou etap:
 - výroba Al_2O_3 z bauxitu – použití zásaditých metod (mletí a následné loužení rud v NaOH resp. Na_2CO_3 a žhání v rozsahu teplot $1200\text{-}1300^\circ\text{C}$)
 - Výroba hliníku elektrolýzou Al_2O_3 – redukce pomocí zdokonaleného Hall-Héroultův procesu v tzv. elektrolýzéro – přesnější řízení výroby



Země	Složka [%]			Nositel hliníku
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	
Jamajka	47-52	0,3-0,9	19-22	gibbsit, böhmit
Guinea	40-55	1-5	6-20	gibbsit
Francie	56-60	2-5	20-35	böhmit
USA	40-52	10	6	gibbsit
Řecko	50-59	1-4	25-30	diaspor
Indie	36-60	1-10	6-39	gibbsit
Austrálie	35-55	4-10	6-17	gibbsit, böhmit
Brazílie	30-60	2,5-5,5	7-10	gibbsit
Rusko	42-60	5-15	12-22	gibbsit, böhmit

Čistý hliník

- ▶ Je nepolymorfní, neušlechtilý kov stříbrobílé barvy s atomovým číslem 13. Krystalizuje v soustavě krychlové plošně středěné, je velmi kujný a má vynikající tepelnou a elektrickou vodivost - lepší jsou jen Cu, Ag a Au.
- ▶ Hliník o čistosti 99,7% ve vyžíhaném stavu má $R_{p0,2} = 20-30$ MPa, $R_m = 60-70$ MPa a tažnost $A_{10} = 30-45$ %.
- ▶ Hliník je jeden z nejméně ušlechtilých kovů, ale je velmi stabilní v oxidačních prostředích jako jsou: vzduch, voda, pára – a to z důvodu tvorby tenké kompaktní vrstvy Al_2O_3 – toho se využívá – eloxování. Odolává také mořské vodě, neutrálním a oxidačním roztokům solí a koncentrované kyselině dusičné. Částečně se rozpouští v kyselině sírové a podléhá silnějším zásadám.

Vlastnost	Hodnota	Jednotka
Atomové číslo	13	-
Relativní atomová hmotnost	26,982	-
Krystalová mřížka	FCC	-
Parametr mřížky	0,404958	nm
Hustota	2698 (20 °C)	kg.m ⁻³
Teplota tavení	660,37 (Al 99,996 %)	°C
Teplota varu	2494	°C
Tepelná vodivost	2,37 (25 °C)	W.cm ⁻¹ .K ⁻¹
Tepelná kapacita	0,90	J.g ⁻¹ .K ⁻¹
Elektrický odpor	0,02655 (Al 99,99 %; 20 °C)	μΩ.m
Teplota supravodivosti	1,2	K
Modul pružnosti	70	GPa

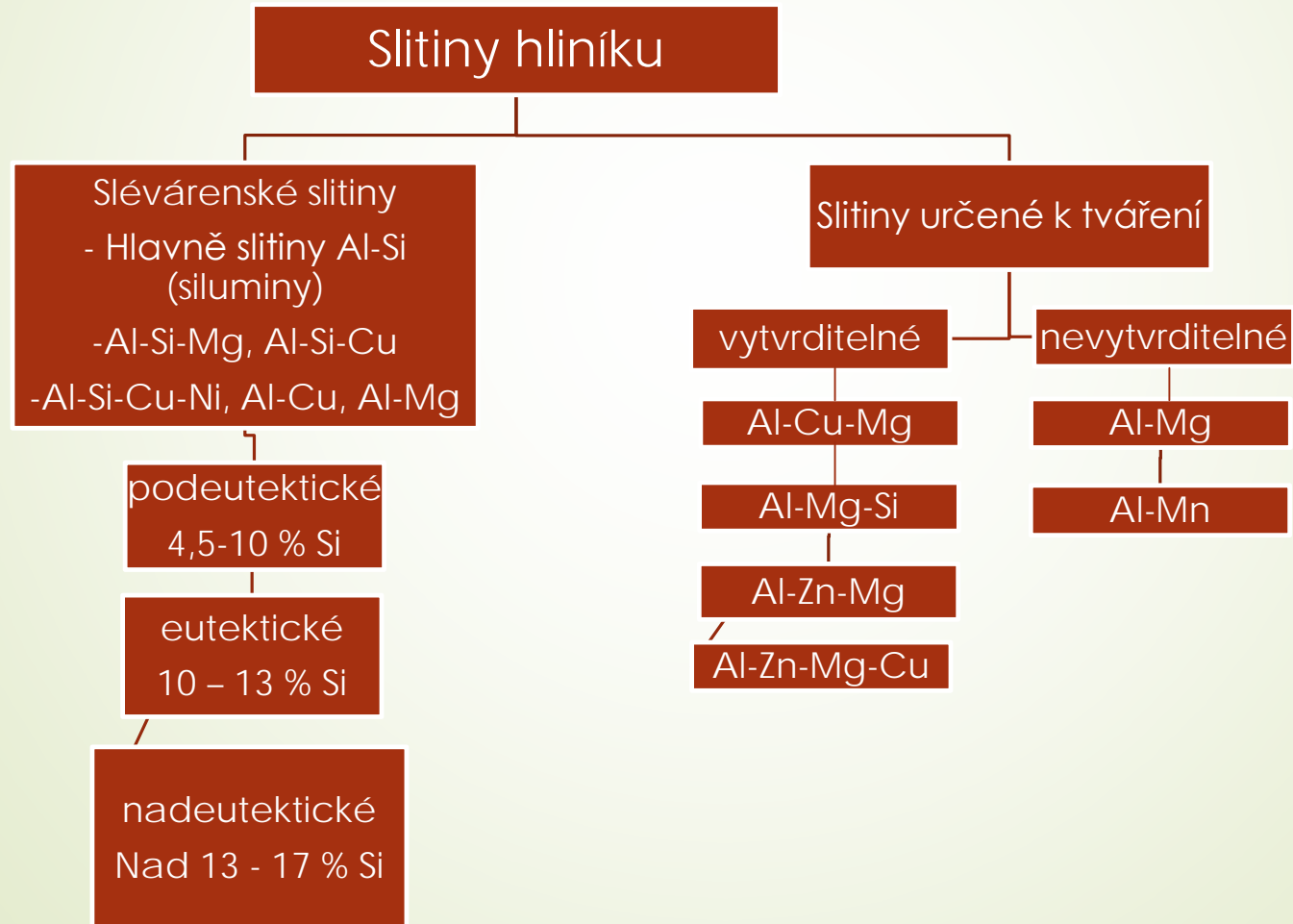


Použití hliníku

- ▶ pro elektrovedné účely a na výrobu kondenzátorů (technická čistota),
- ▶ uplatnění v potravinářském a chemickém průmyslu (folie, plechovky, tuby, nádobí, nádoby). Nápojové plechovky jen v EU 50 miliard ks, 6 miliard plechovek na barvy, laky, kosmetiku,
- ▶ Použití na plátování ocelových plechů, plnič do barev a plastů, a také jako dezoxidovadlo při výrobě oceli a na výrobu slitin,
- ▶ Z celkové výroby Al se spotřebuje asi 37 % na polotovary z čistého Al, 15% na výrobu tvářených slitin a 47% na slévárenské slitiny a 1% na zvláštní výrobky jako prášky, plniva apod.

Slitiny hliníku

- Jsou nejpoužívanější spolu s oceli. První slitina hliníku byla vyvinuta v roce 1906 a je známá po názvem dural AlCu_4Mg



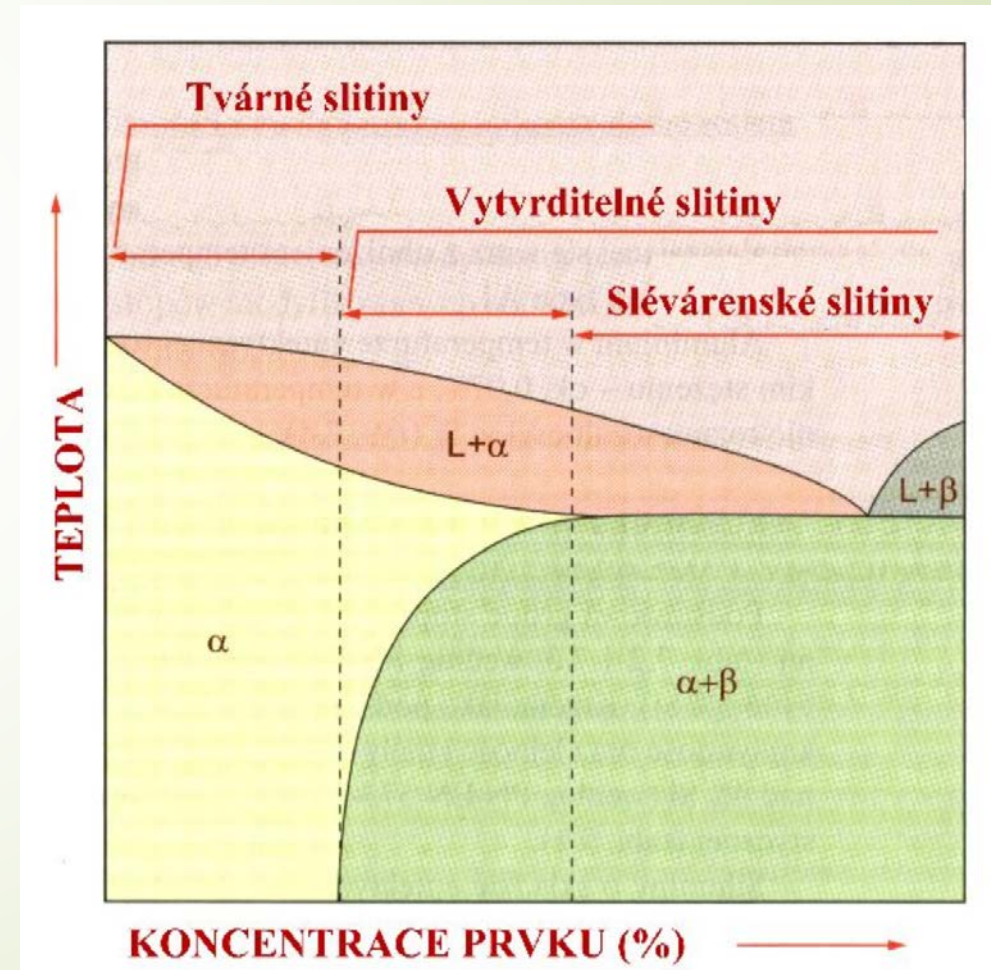
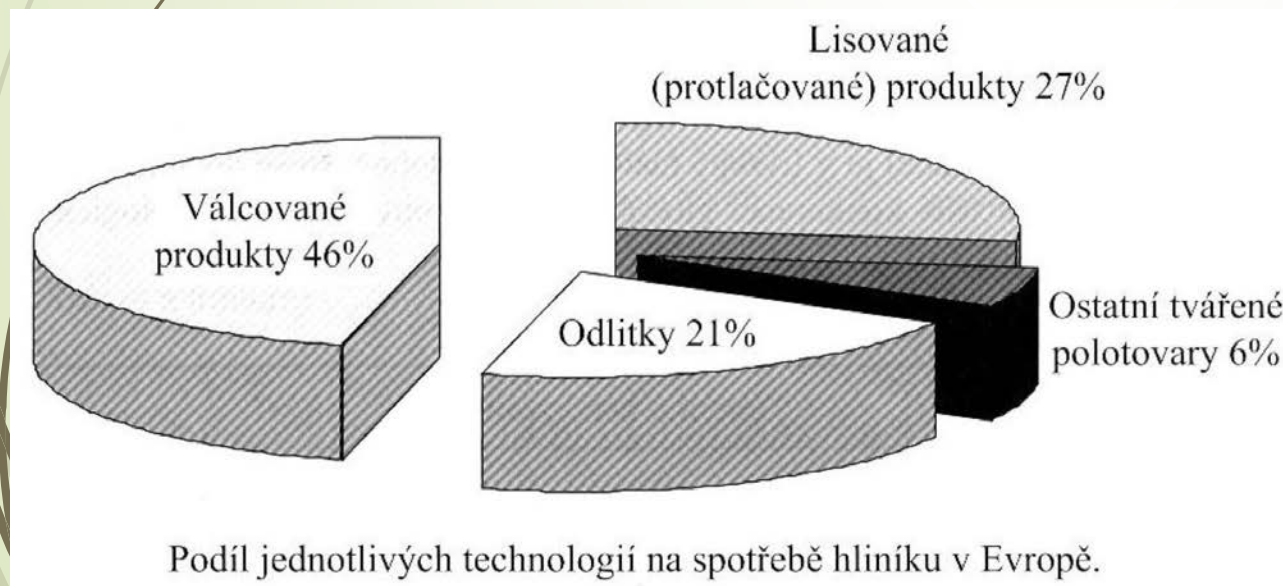
Slitiny hliníku

► Rozdělení podle způsobu zpracování:

- Slitiny hliníku pro tváření
- Slévárenské slitiny hliníku

Dle možnosti tepelného zpracování:

- Nevytvrditelné
- Vytvrditelné



Slitiny hliníku slévárenské

- ▶ Siluminy patří k nejvýznamnějším slitinám. Nejlepší slévárenské vlastnosti mají siluminy s eutektickým složením (cca 12 % Si). Jsou dobře odolné proti korozi, avšak pro tvarově složitě odlitky se používají zřídka. Většinou se používají pevnější siluminy speciální.

Největší vliv na zvýšení pevnosti mají přísady Mg a Cu. Tyto slitiny lze vytvrzovat.

- ▶ Cu, Ni, popř. některé další prvky - dostáváme slitiny, které mají příznivé vlastnosti za vysokých teplot, tyto slitiny se vyznačují zvláště nízkou teplotní roztažností a dobrými kluznými vlastnostmi, které se zlepšují s rostoucím obsahem křemíku ve slitině
- ▶ Slitiny Al-Mg – mají nejvyšší měrnou pevnost a rázovou houževnatost, lepší obrobitelnost, mají horší slévárenské vlastnosti, větší pórovitost snížené těsnosti odlitku, přísada Si zlepšuje zabíhavost, zvyšuje hustotu odlitků, s přísadou Zn mají slitiny lepší odolnost proti korozi

Slitiny hliníku slévárenské – typ Al-Si

Podeutektické siluminy

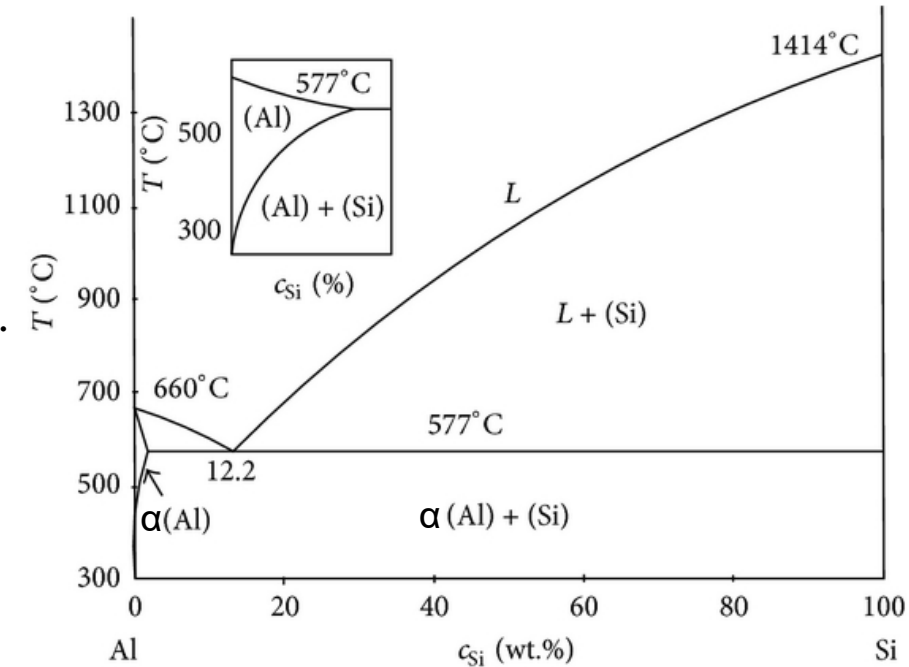
Ve své struktuře obsahují dendrity tuhého roztoku $\alpha(\text{Al})$ a eutektikum, které je vyloučeno v mezidendritických prostorech. Podeutektické siluminy mají poněkud nižší zabíhavost, než eutektické, i přesto jsou jejich slévárenské vlastnosti dostatečně dobré a používají se pro výrobu tvarově jednodušších a mechanicky méně namáhaných součástí.

Eutektické siluminy

Mají čistě eutektickou strukturu a jejich největší předností je vynikající zabíhavost, která umožňuje výrobu tenkostěnných a tvarově složitých odlitků. Tyto siluminy jsou vhodné jak pro lití do kovových forem tak pro tlakové lití nebo lití do vytavitelného modelu. Velké využití v současné době nachází v automobilovém a leteckém průmyslu.

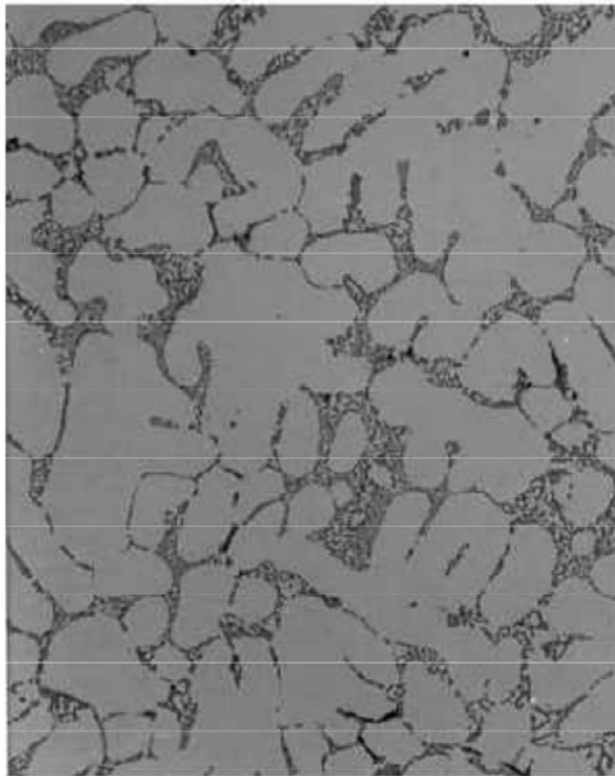
Nadeutektické siluminy

Ve své struktuře obsahují eutektikum a hrubé krystaly křemíku. Tyto hrubé jehlicové krystaly vznikají v důsledku větší krystalizační schopnosti křemíku oproti hliníku (Si začíná krystalizovat za menšího přechlazení taveniny). Tyto krystaly Si způsobují křehkost a tyto siluminy je tedy nutné modifikovat. Mezi hlavní přednosti nadeutektických siluminů patří velmi nízký koeficient tepelné roztažnosti a abrazivzdornost. Tyto výhody se uplatňují například při použití na odlitky pístů spalovacích motorů.



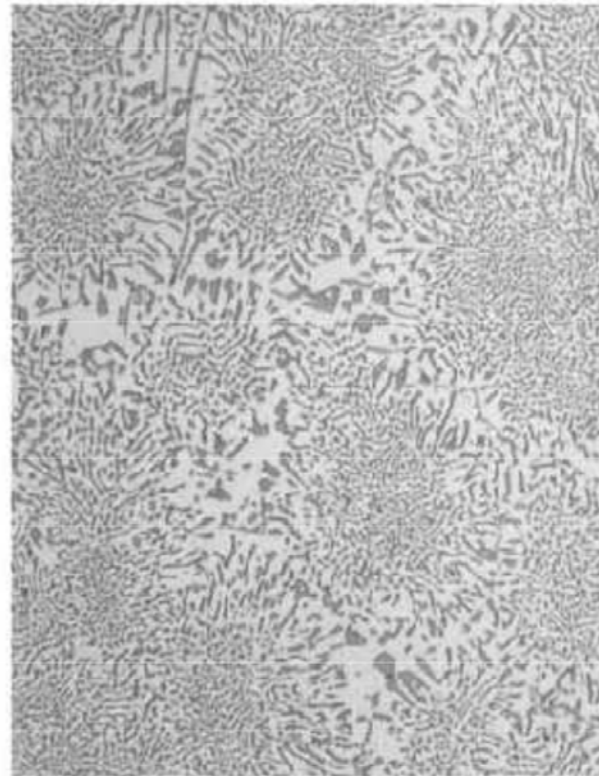
Slitiny hliníku slévárenské – typ Al-Si

- Mikrostruktura siluminu: a) podeutentický
b) eutektický
c) nadeutektický



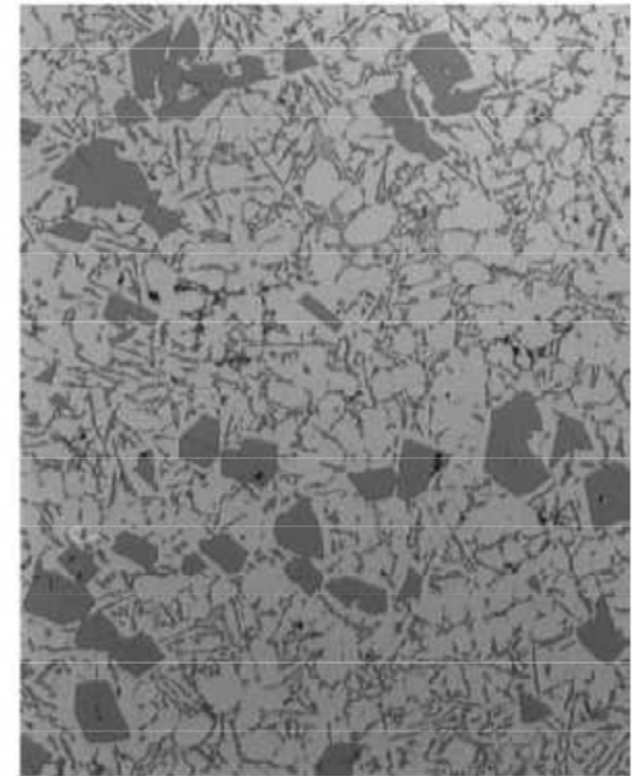
(b)

75 μm



(c)

25 μm



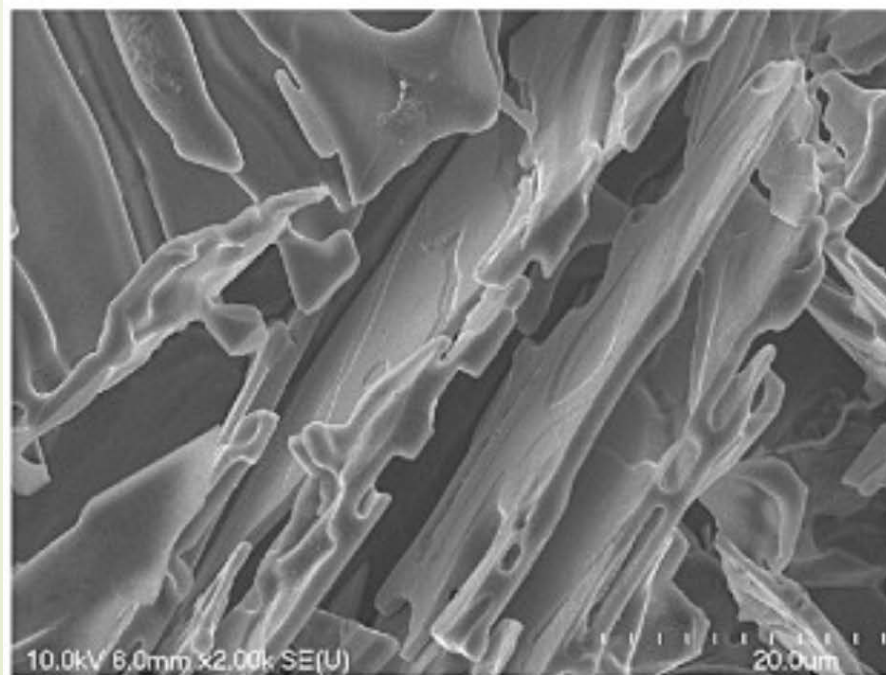
(d)

75 μm

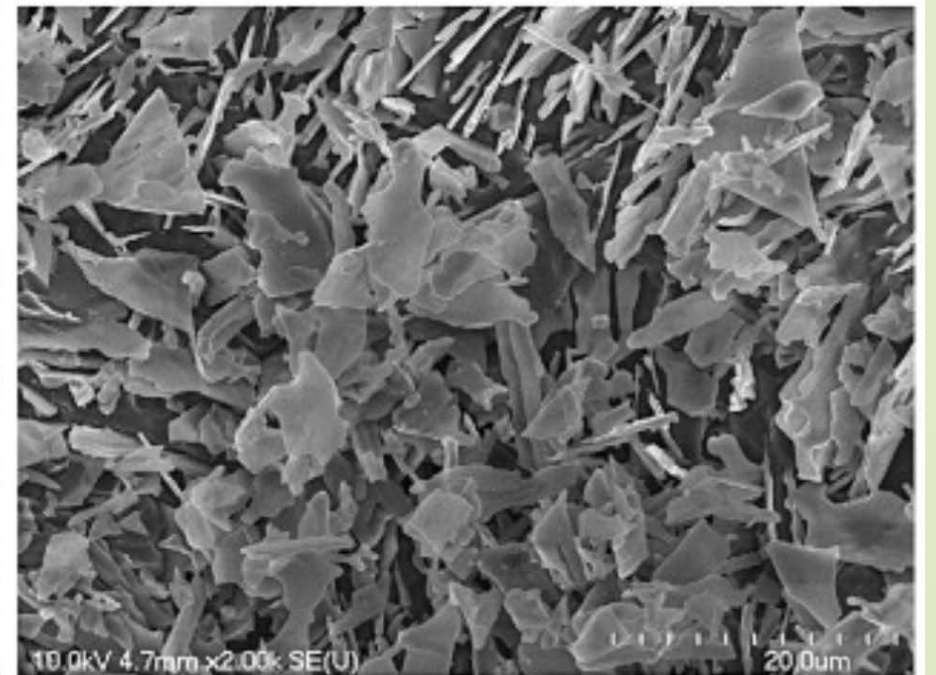
Slitiny hliníku – vliv odlévací formy na tvorbu Si desek

Dvoufázová slitina Al7Si je tvořena dendrity fáze α (Al) a deskami eutektického křemíku s různou prostorovou orientací. Tvar a velikost Si desek závisí na mnoha faktorech a také na intenzitě chlazení taveniny.

- a) odlito do uhlíkové formy
- b) odlito do ocelové formy



a)



b)

Slitiny hliníku slévárenské – modifikace

- Změna struktury desek eutektického křemíku pomocí **modifikace** vede k vyloučení tyčinek až vláken na místo deskových útvarů, které snižují mechanické vlastnosti siluminů – ostré hrany jsou koncentrátoři napětí.

Po modifikaci se zvýší mez pevnosti v tahu R_m , tažnost A_5 , kontrakce Z a houževnatost.

Jako modifikátory se používají:

Sodík – nejsilnější modifikační prvek – stačí 50-100 ppm, vakuové patrony čistého sodíku nebo solemi (NaCl+KCl+NaF) či exotermické modifikační tablety

Stroncium – delší účinek (jednotky hodin – prodloužení přidáním Be), dávkování ~400 ppm Sr ve formě předslitin $AlSi_{13}Sr_{10}$, $AlSr_5$ nebo ve formě uhličitanu strontnatého $SrCO_3$

Antimon – vzniká jemná lamelární struktura křemíku -> není to pravá modifikace. Antimon ruší vliv Na a Sr. Přidává se do základního materiálu již v hutích (0,1-0,3%)

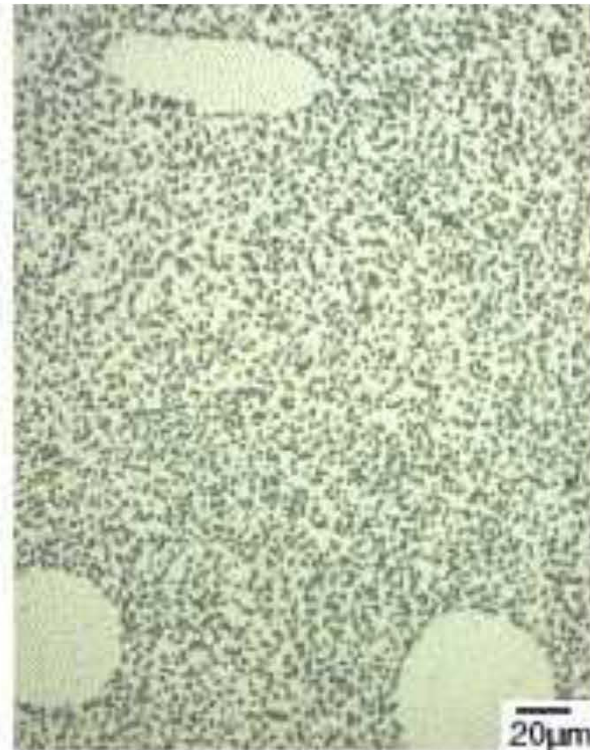
Slitiny hliníku slévárenské – modifikace

Mikrostruktura podeutektického siluminu:

- a) Nemodifikovaného
- b) Modifikovaného stronciem - 300 ppm
- c) Modifikovaného antimonem - 2400 ppm



(a)



(b)



(c)

Slitiny hliníku slévárenské

Tabulka 5.8 Slévárenské slitiny hliníku

Slitina	R_m (MPa)	Tvrlost HB	Způsob liti	Možnost vytvrzení	Použití
AlSi13Mn	140 až 240	50 až 65	P, K, T	ne	Složité, tenkostěnné korozivzdorné odlitky
AlSi10MgMn	160 až 300	50 až 100	P, K, T	ano	Značně namáhané korozivzdorné odlitky
AlSi10Mn	150 až 190	50 až 65	P, K, T	ne	Méně náročné odlitky, dobrá obrobiteľnosť, malá korozivzdornost
AlSi7Mg	200 až 280	50 až 80	P, K	ano	Dynamicky namáhané součásti korozně odolné
AlSi5Cu4Zn	150 až 180	60 až 75	P, K	ne	Méně náročné odlitky, malá korozivzdornost
AlSi8Cu2Mn	220 až 260	80 až 90	T	ne	Odlitky pro motorová vozidla
AlSi10Cu1MnMg	150 až 190	50 až 80	P, K, T	ne	Složité, tenkostěnné odlitky – malá korozivzdornost
AlSi12CuMgNi	160 až 300	100 až 130	P, K	ano	Pistý motorových vozidel (LOEX)
AlSi20Cu2MnNiMg	160 až 220	80 až 110	K	ano	Vysokonamáhané pistý motorových vozidel
AlCu4NiMg	220 až 280	80 až 110	P, K	ano	Odlitky namáhané za tepla, hlavy válců
AlMg5Si1Mn	160 až 220	55 až 80	P, K	ne	Odlitky namáhané za tepla, dobře leštitelné, korozně odolné
AlMg10	180 až 280	60 až 80	P, K, T	ano	Vysoce korozně odolné odlitky, nádobí

P – liti do písku; K – liti do kokily; T – liti pod tlakem

Slitiny hliníku – tepelné zpracování odlitků

Tepelné zpracování odlitků ze slitin hliníku se provádí zejména pro zvýšení jejich mechanických vlastností, snížení vnitřního pnutí a také pro zrovnoměrnění rozložení prvků ve struktuře. Zejména gravitačně lité odlitky do pískových i kovových forem mají často hrubou strukturu a nerovnoměrně rozložené přísadové a doprovodné prvky. V některých případech se tepelné zpracování odlitků využívá pro zlepšení obrobitelnosti nebo korozivzdornosti

- žíhání na odstranění vnitřního pnutí,
- stabilizační žíhání,
- žíhání na měkko,
- homogenizační žíhání

Slitiny hliníku - vytvrzování

Tepelné zpracování slitiny AlCu₄ za účelem vytvrzení

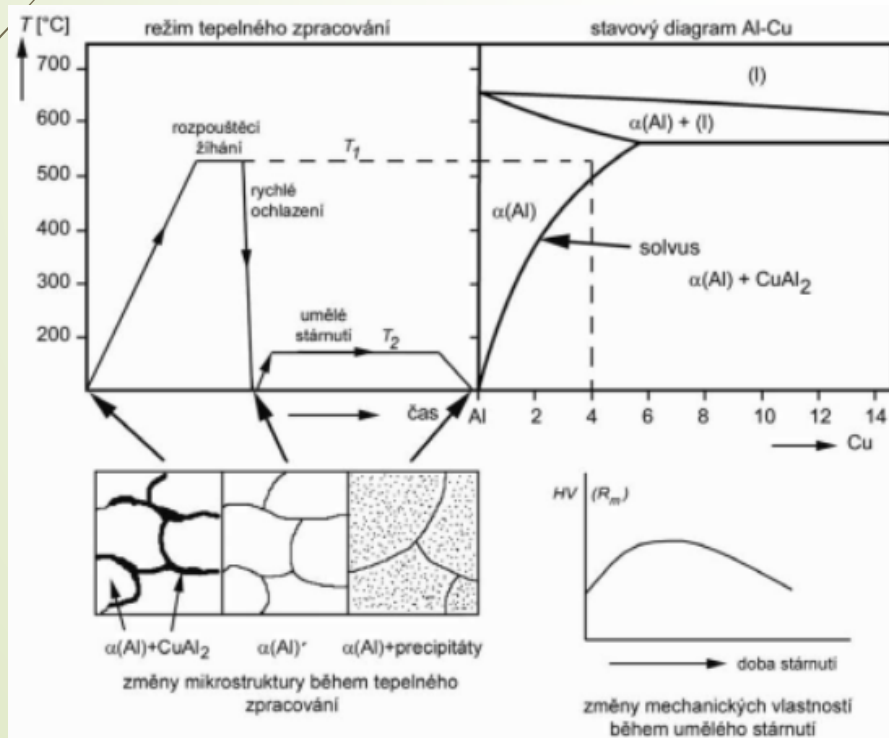
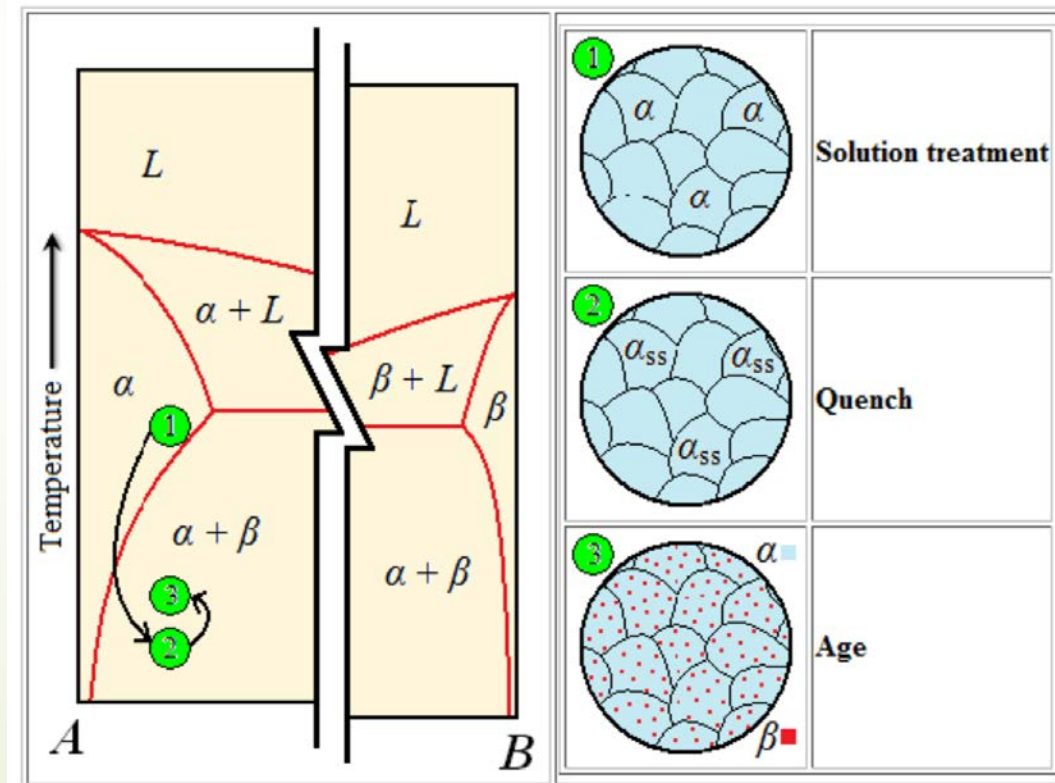
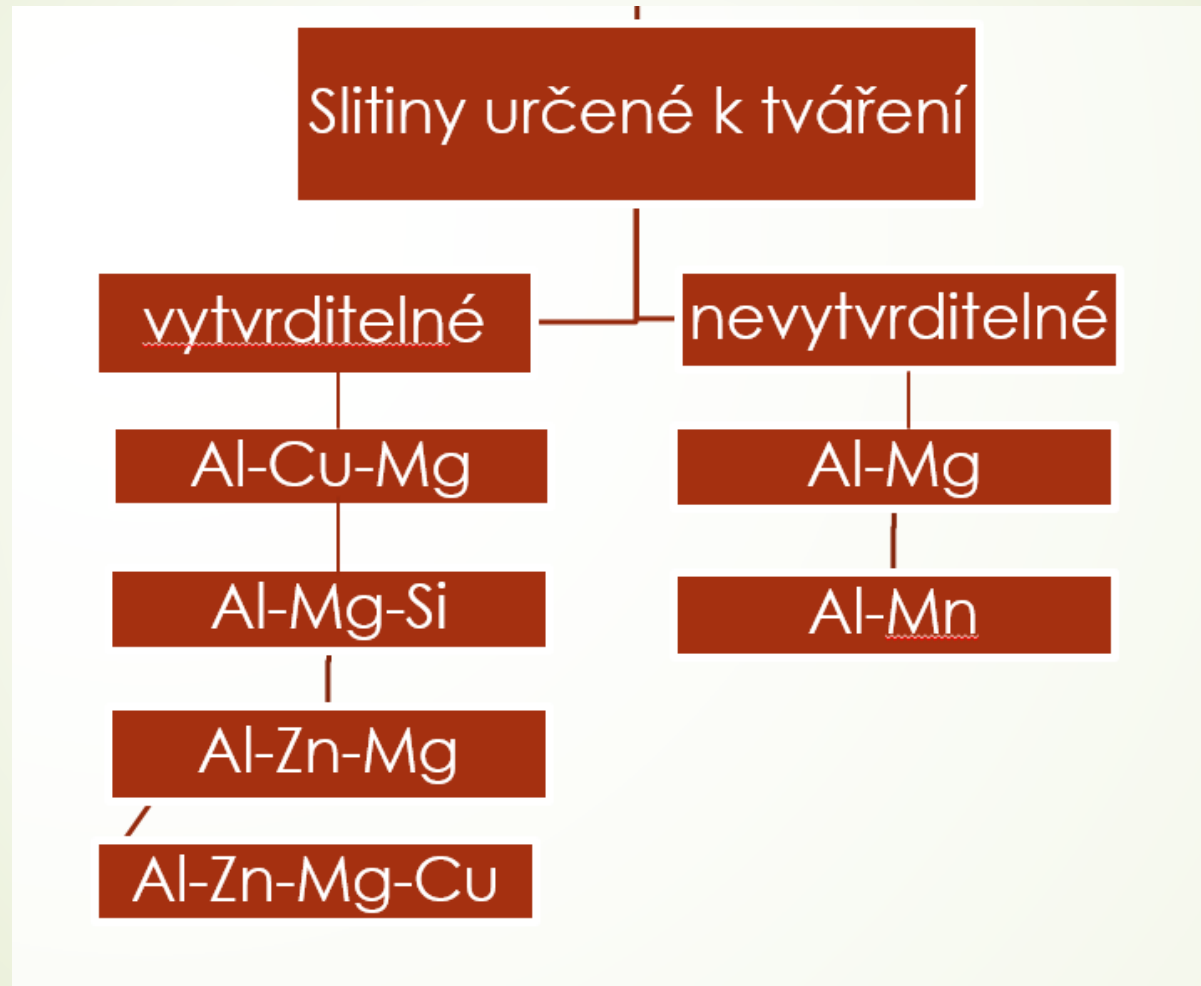


Schéma principu **vytvrzování**

(Temperature – teplota, Solution treatment – rozpouštěcí žhání, Quench – rychlé ochlazení, Age – stárnutí, α_{SS} – přesycený tuhý roztok)



Slitiny hliníku pro tvářeni



Slitiny hliníku pro tváření

- Mají obsah legujících prvků obvykle v rozsahu tuhého roztoku, většina slitin je tedy poměrně málo legována, obsah legujících prvků zpravidla nepřekročí 10%. Slitiny Al-Mg – tyto slitiny se nevytvrzují, protože i při velmi rychlém ochlazení se dosáhne malého stupně přesycení a při stárnutí se pevnost jen málo zvýší, tyto slitiny mají výbornou odolnost proti korozi, zejména v mořské vodě a jsou významným konstrukčním materiálem i ve strojírenství a chemii
- **nízkopevnostní slitiny** s dobrou odolností proti korozi (Al-Mg, Al-Mn) tyto slitiny mají dobrou odolnost proti korozi díky tomu, že ve své struktuře **neobsahují měď**. Jejich hlavními přednostmi je dobrá svařitelnost a lomová houževnatost. Nevýhodou pak, že je nelze precipitačně vytvrzovat.
- **slitiny s vyšší pevností** a nízkou odolností proti korozi (Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ni) mezi nejznámější slitiny z této podskupiny patří slitiny na bázi Al-Cu-Mg, známé pod názvem duraly. Duraly po **precipitačním vytvrzování** dosahují značné pevnosti (R_m až 530MPa). Nevýhodou duralů je jejich nižší korozní odolnost, proto se duralové plechy plátují čistým hliníkem, aby došlo ke zvýšení korozní odolnosti.

Slitiny hliníku pro tvářeni

- Hliníkové slitiny pro tvářeni lze zařadit podle EN 573-1 do těchto skupin, včetně hliníku čistoty minimálně 99.00% a výše.

Hlavní legující prvek Označení série

Hliník čistoty min. 99.00% **1XXX**

- nízké mechanické vlastnosti, výborná odolnost proti korozi, - obaly izolačních vrstev, plátování slitin s obsahem Cu, voštinová jádra sendvičů

Měď **2XXX**

- další prvek je Mg (AlCuMg) – duraly (2014,2017,2024), slitiny jsou tepelně zpracovatelné – dosažení maximálních pevnostních vlastností – zpevňující fázi je Al_2Cu , používá se umělé i přirozené stárnutí. Malá odolnost proti (interkrystalické) korozi – důvodem je obsah mědi.

Mangan **3XXX**

- další prvek Mg (AlMnMg), vysoká tvárnost a odolnost proti korozi, vyšší pevnost oproti čistému hliníku, dobrá svařitelnost, nejsou vytvrditelné, použití: palivová a olejová potrubí

Křemík **4XXX**

- většinou nejsou tepelně zpracovatelné, slitiny s vysokým obsahem Si do 12% se používají na svařecí dráty.

Hořčík **5XXX**

- poměrně dobrá pevnost, vysoká odolnost proti korozi, odolnost proti vibračnímu namáhání, dobrá svařitelnost, nejsou vytvrditelné, deformačně zpevňují slitiny s 5-6% Mg, použití: potravinářský průmysl, lodní a letecká doprava, architektura, kryogenní zařízení.

Slitiny hliníku pro tváření

Hlavní legující prvek

Označení série

Hořčík a křemík

6XXX

- další prvky jsou Mn nebo Cr pro zvýšení pevnosti, jsou vytvrditelné, zpevňující efekt má fáze Mg_2Si , mají nižší pevnost než duralové slitiny, ale lepší korozní odolnost a tvárnost a svařitelnost. Mají nízkou kritickou rychlost ochlazování – chlazení na vzduchu – vytvrzování přirozené cca 14 dnů

Zinek

7XXX

- další prvky Mg a Cu (Al-Zn-Cu-Mg), nejpevnější konstrukční slitiny za pokojové teploty, jsou vytvrditelné – používá se umělé stárnutí (někdy i mírné přestárnutí pro lepší lomovou houževnatost), vyšší pevnost v porovnání s duraly, ale rychlý pokles pevnosti se zvyšující se teplotou, citlivé na korozi pod napětím. Univerzální slitina 7075, slitiny 7175 a 7475 – vyšší pevnost, lomová houževnatost a odolnost proti korozi, avšak menší tvárnost a vyšší citlivost na vruby. Použití v automobilovém a leteckém průmyslu (potahy křídel, žebra, přepážky, podélníky)

Jiné prvky (Li)

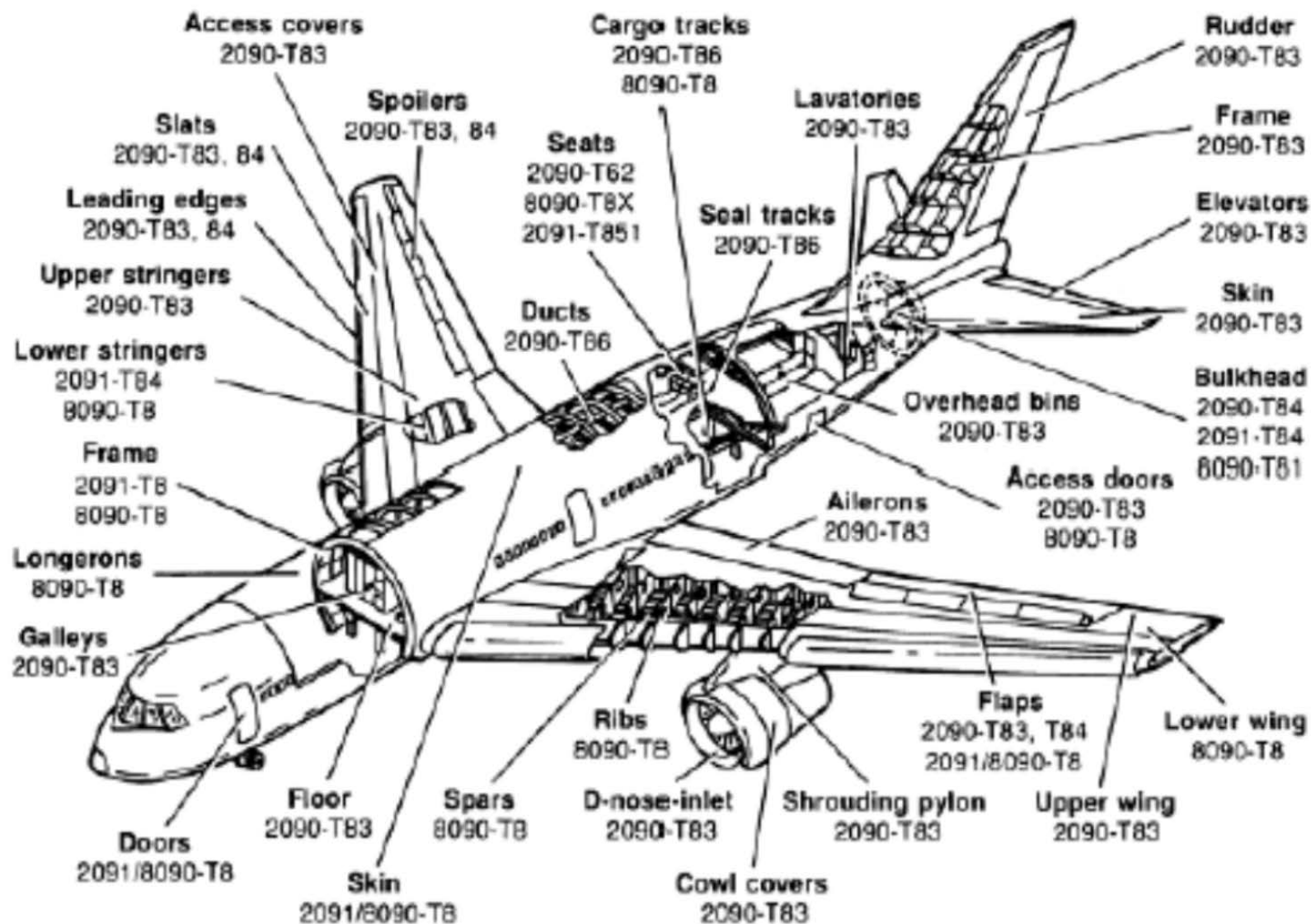
8XXX

- Al-Li, Al-Li-Cu – speciálně vyvinuty pro letecký a raketový průmysl, nízká hustota $2.47-2.6\text{kg/dm}^3$, přísada 1% Li snižuje hustotu asi o 3% a zvyšuje modul pružnosti o 6% (do obsahu 4% Li), vždy se jedná o komplexní slitiny Al-Li-Mg-Cu-Zr-Mn, Přednosti: mají vysokou pevnost, únavovou odolnost, houževnatost za nízkých teplot a superplasticita. Nevýhody: koroze pod napětím a následné praskání, vysoká cena. Nahrazují 2XXX, 6XXX a 7XXX při současné úspoře hmotnosti

Nepoužitá skupina

9XXX

Použití slitin Al – Li na dopravním letadle



Slitiny hliníku - nové

Slitiny s přísadou skandia (Sc)

- Výrazný vliv malého množství Sc na mechanické a technologické vlastnosti
- Jsou vytvrditelné, přítomnost precipitátu Al_3Sc zlepšuje pevnost, odolnost proti rekrytalizaci, zjemňuje zrna a zlepšuje odolnost proti vzniku trhlin za tepla (např. při svařování)
- Skandiem se legují hlavně slitiny Al - Mg a Al - Li, u slitin série 2XXX a 7XXX se malou přísadou Sc zlepšuje svařitelnost
- Relativně nízká cena ve srovnání se slitinami Al - Li
- Dostupné polotovary – plechy a lisované profily
- Použití: Běžná aplikace u letounů MIG 29 a u řízených střel, použití na nové generaci letounů AIRBUS, např. na klapkách letounu A 350.

Nejdůležitější stavy tepelně zpracovatelných hliníkových slitin

- T3 - rozpouštěcí žíhání + kalení + tváření za studena + přirozené stárnutí
- T31 - rozpouštěcí žíhání + kalení + tváření za studena (1% deformace) + přirozené stárnutí
- T351 - rozpouštěcí žíhání + kalení + uvolnění vnitřního napětí řízenou deformací (většinou 0,5 až 3 %) + přirozené stárnutí
- T4 - rozpouštěcí žíhání + kalení + přirozené stárnutí
- T5 - ochlazení ze zvýšené teploty tváření + umělé stárnutí
- T6 - rozpouštěcí žíhání + kalení + umělé stárnutí
- T651 - rozpouštěcí žíhání + kalení + uvolnění vnitřního napětí řízenou deformací (většinou 1 až 3 %) + umělé stárnutí
- T7 - rozpouštěcí žíhání + kalení + umělé **přestárnutí**
- T73 - rozpouštěcí žíhání + kalení + umělé **přestárnutí** pro dosažení nejlepší odolnosti proti korozi za napětí
- T76 - rozpouštěcí žíhání + kalení + umělé **přestárnutí** pro dosažení dobré odolnosti proti vrstevnaté korozi
- T8 - rozpouštěcí žíhání + kalení + tváření za studena + umělé stárnutí