

HLINÍK A JEHO ZLIATINY

ČISTÝ HLINÍK

Hliník je tretí najrozšírenejší prvok v zemskej kôre- tvorí približne 8 % objemu zemskej kôry. Už Rimania používali síran hlinitodraselný, ktorý nazývali *alumen*, z tohto slova je odvodený aj dnešný chemický názov- *alumínium*. Slovenský názov- *hliník*- označuje jeho prítomnosť v hline, íloch a mineráloch. Najčastejšie sa vyskytuje v kombinácii s kyslíkom (ako oxidy), ale aj inými prvkami.

Základnou surovinou pri výrobe hliníka sú teda tzv. **hliníkové rudy**- horniny, ktoré obsahujú oxid hlinitý. Najznámejšie hliníkové rudy sú **bauxit, kaolín, nefelín a kryolit**.

- **bauxit** ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)- komplexná zlúčenina pozostávajúca z 50- 80% oxidu hlinitého, ďalej obsahuje aj ďalšie oxidy, napr. oxid kremičitý, železitý, titaničitý, draselný, sodný a železo. Najčastejšie sa používa na výrobu hliníka. Má bielu, niekedy červenú farbu (v závislosti od obsahu železa) a vonkajším vzhľadom pripomína hlinu. Ťaží sa v Maďarsku, Taliansku, Grécku, Francúzsku (najkvalitnejší v meste Baux- podľa ktorého bol pomenovaný), Rusku, Indonézii, Afrike a v Guayane.
- **kaolín** ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) a **nefelín** ($\text{KNa}_3[\text{AlSiO}_4]_4$)- používajú sa ako náhradná surovina na výrobu hliníka, v krajinách, ktoré nemajú bauxit; ťažia sa v Rusku a na polostrove Kola.

Výroba hliníka

Hliník je možné vyrobiť dvomi spôsobmi:

1. **výrobou primárneho hliníka z rudy** (najsôr uvoľňovanie Al_2O_3 z hliníkovej rudy, potom nasleduje elektrolýza, pri ktorej sa z Al_2O_3 získava čistý hliník);
2. **recykláciou z hliníkového šrotu a spracovateľného hliníkového odpadu**, t. j. výrobou **sekundárneho hliníka**.

Vlastnosti čistého hliníka

Hliník má kubickú plošne centrovanú mriežku, teplotu tavenia 660°C a mernú hmotnosť 2700 kg/cm^3 (čo je asi 1/3 mernej hmotnosti ocele- čiže napríklad výraznejším používaním hliníka v automobiloch sa znižuje ich hmotnosť a tým aj spotreba paliva a zároveň tak môžeme zvýšiť ich užitočnú hmotnosť v porovnaní s použitím ocele). Hliník má veľmi malú pevnosť v rozmedzí 60 až 70 MPa a je ťažný aj pri nízkych teplotách. Jeho nízka pevnosť sa môže zvyšovať legovaním, deformáciou za studena alebo tepelným spracovaním.

Hliník má dobrú koróznú odolnosť na vzduchu a vo vode. Neodoláva alkáliám a soliam s alkalickou reakciou, pretože sa ľahko mení na hlinitan, účinok alkálií rýchlo vzrastá s koncentráciou a teplotou a klesá s čistotou hliníka. Hliník najlepšie odoláva kyseline dusičnej,

menej zriedeným a koncentrovaným roztokom kyseliny soľnej a sírovej. Dobre s uplatňuje v potravinárstve, pretože odoláva kyseline octovej, mliečnej, citrónovej a vínnej.

Dobrá koróznou odolnosť zapríčiňuje ochranná oxidická vrstva na povrchu hliníkových produktov. Tento oxid Al_2O_3 má rovnaký molekulový objem ako hliník, preto pevne prilne na povrchu a dostatočne ho pasivuje. Tento oxid má vysokú tepelnú stabilitu (nad 2000°C), nerozpúšťa sa v roztavenom kove, a preto sa pri ďalšom technologickom spracovaní hliníka (napr. pri zváraní alebo spájkovaní) musí z povrchu odstrániť. K trvácnosti, a teda aj koróznej odolnosti hliníka prispievajú aj mnohé povrchové úpravy (napr. anodické povlakovanie, lakovanie, atď.).

Má zhoršenú obrábateľnosť, pretože má veľkú húževnatosť. Preto sa častejšie tvárni (ťahanie alebo pretlačovanie), než obrába.

Jedna z veľmi výhodných fyzikálnych vlastností hliníka je dobrá elektrická a tepelná vodivosť. Obe sú však ovplyvnená čistotou hliníka- čím je čistejší, tým má lepšiu elektrickú a tepelnú vodivosť a chemickú stálosť. Hliník je takmer dvojnásobne výkonnejší vodič ako meď, vďaka čomu sa hliník stal najpoužívanejším materiálom vo väčšine energetických prenosových sústav.

Dôležité sú aj vlastnosti optické, najmä schopnosť odrážať svetlo, preto sa hliník používa na výrobu reflektorov a zrkadiel alebo iných produktov, kde je takáto vlastnosť nevyhnutná. Hliník je 100%-ne recyklovateľný a zároveň recyklácia nezhoršuje jeho úžitkové vlastnosti. Navyše pre výrobu sekundárneho hliníka je potrebné len 5% energie v porovnaní s výrobou primárneho hliníka, čo prináša značné výhody jednak ekonomické a najmä ekologické.

Použitie čistého hliníka

Pre konštrukčné účely sa používa **tzv. technický hliník**, ktorý obsahuje **minimálne 99% Al**. Podľa stupňa čistoty sa technický hliník delí do týchto akostí:

- **elektrovodný hliník**- čistoty Al 99,85 (maximálny obsah nečistôt je 0,15%);
- **hliník pre chemický a potravinársky priemysel**- čistoty Al 99,8 (maximálny obsah nečistôt je 0,2%);
- **hliník na špeciálne účely**- čistoty Al 99,75 (maximálny obsah nečistôt je 0,25%);
- **hliník bežnej akosti**- čistoty Al 99,5 (maximálny obsah nečistôt je 0,5%).

Hliník má teda vďaka svojim vynikajúcim vlastnostiam širokú škálu aplikácií. S danou čistotou sa používa predovšetkým pre aplikácie, kde sa vyžaduje kombinácia výbornej koróznej odolnosti a tvárnosti, napr. pri výrobe obalov a tenkých fólií pre potravinársky priemysel (dokáže ochrániť balené produkty pred svetlom, vlhkosťou, oxidáciou, UV žiarením, tukom, mikroorganizmami a inými nežiadúcimi vplyvmi bez zmeny vône, chuti či farby produktov), používa sa v chemickom

priemysle, v automobilovom priemysle (pri výrobe trupov cisternových vozov alebo nákladných áut), v strojárskom a energetickom priemysle, pre nábytkárske, rekreačné a športové účely.

CHARAKTERISTIKA A ROZDELENIE ZLIATIN HLINÍKA

ZLIATINY Al- Cu

- **je možné ich tepelne spracovať**
- pri izbovej, ale aj zvýšených teplotách majú vysokú pevnosť
- dosahujú maximálnu pevnosť v ťahu 190- 430 MPa v tvárnenom stave; po odliatí 120- 390 MPa
- niektoré sú zvariteľné, inak sa dajú spájať len mechanicky

V prípade niektorých zliatin Al- Cu sa spája vysoká pevnosť (zvlášť pri zvýšených teplotách), húževnatosť a v niektorých prípadoch aj zvariteľnosť. Nie sú odolné proti atmosferickej korózii, a preto povrch z nich vyrobených produktov treba zvyčajne upraviť vybranými postupmi povlakovania alebo nátermi. Majú aj zhoršenú zliedateľnosť, a to vzhľadom na náchylnosť na tvorbu mikropórov a horúcich trhlín.

Pre ich vyššiu pevnosť sa často používajú v automobilovom priemysle a leteckom priemysle, kde sa zvyčajne využívajú na konštrukciu trupov a krídiel alebo sa využívajú vo forme rôznych odliatkov.

Špeciálne zliatiny tohto typu sú zvariteľné metódou TIG alebo MIG, a používajú sa v kozmickej technike, kde sú práve tieto metódy zvarovania preferované. Do tejto skupiny patrí napr. zliatina Al- Cu- Li, s vysokým modulom pružnosti a pevnosťou a dobrou zvariteľnosťou.

Zo špeciálnych zliatin Al- Cu sa odlievajú aj hlavy valcov motorov, ktoré majú dobrú odolnosť proti opotrebeniu a nízky koeficient trenia.

Asi najznámejšími zliatinami z tejto skupiny sú tzv. **duraly**- zliatiny Al- Cu- Mg (konkrétne Al- Cu₄- Mg) a **superduraly** (Al- Cu₄- Mg₁), ktorých výborné mechanické vlastnosti s dosahujú **vytvrdzovaním**.

ZLIATINY Al- Mn

- majú vysokú tvárnosť, výbornú koróznú odolnosť
- dosahujú stredné hodnoty pevnosti, maximálna pevnosť v ťahu je 110- 290 MPa
- sú ľahko zvariteľné bežne používanými postupmi, nedajú sa odlievať

Zliatiny tejto skupiny sú vytvrditeľné, majú výbornú koróznú odolnosť a dobrú zvariteľnosť a spájkovateľnosť.

Vzhľadom na ich dobrú znášateľnosť s potravinami a chemikáliami sa používajú na výrobu kuchynského riadu, plechoviek na nápoje (nealko a pivo) a zariadení pre chemický priemysel. Používajú sa aj v stavebníctve, pretože majú výbornú koróznú odolnosť a vzhľadom na ich dobrú zvariteľnosť sa často používajú vo forme plechov a rúr v tepelných výmenníkoch v elektrárňach.

ZLIATINY Al- Si (označujú sa ako *silumíny*)

- zliatiny Al- Si na tvárnenie sa dajú tepelne spracovať, zliatiny na odlievanie sa tepelne nespracovávajú
- dosahujú stredné hodnoty pevnosti, maximálna pevnosť v ťahu je 175- 385 MPa pre zliatiny na tvárnenie, 120- 175 MPa pre zliatiny na odlievanie
- sú ľahko zvariteľné a výborne spájkovateľné
- majú výbornú zabiehavosť

Vzhľadom na vysoký obsah kremíka majú zliatiny hliníka na tvárnenie dve hlavné oblasti aplikácie- používajú sa na výrobu výkoviek (pretože kremík podporuje dokonalé vyplnenie zápustky pri kovaní) a ako plnivo do elektród na zváranie metódami MIG a TIG (pretože kremík podporuje dokonalé vyplnenie zvarovej medzery spájaných materiálov). Zliatiny pre výkoviek dosahujú stredné hodnoty pevnosti a dajú sa tepelne spracovávať. Používajú sa predovšetkým na výrobu piestov pre letecký priemysel. Zliatiny pre zváranie sa využívajú v stavebníctve a automobilovom priemysle.

Zliatiny Al- Si pre odlievanie sa vyznačujú výbornou zlievateľnosťou a zabiehavosťou (zvlášť zliatiny eutektického alebo blízko- eutektického zloženia, teplota tavenia zliatiny s eutektickou koncentráciou je asi 700°C), preto sa používajú na výrobu zložitých odliatkov a tenkostenných odliatkov. Používajú na výrobu dentálnych zariadení, v architektúre a v prevádzkach s morskou vodou.

ZLIATINY Al- Mg

- zliatiny na tvárnenie je možné tepelne spracovať, zliatiny na odlievanie sa tepelne nespracovávajú
- majú výbornú koróznú odolnosť, húževnatosť a zvariteľnosť
- odliatky z týchto zliatin nie sú náročné na konečnú úpravu povrchu, sú dobre obrobitelné
- dosahujú stredné hodnoty pevnosti, maximálna pevnosť v ťahu je 125- 350 MPa pre zliatiny na tvárnenie, 120- 175 MPa pre zliatiny na odlievanie

Zliatiny tejto skupiny určené na tvárnenie majú výbornú koróznú odolnosť, zvlášť v morskej vode. Majú veľmi veľkú húževnatosť, aj pri znížených teplotách. Ľahko sa zvárajú všetkými bežne

používanými procesmi, až do hrúbok 20 cm. Používajú sa v stavebníctve (výstavba diaľnic, mostov), pre výrobu zásobníkov a rôznych skladovacích nádrží- aj pre kryogénne teploty a pre aplikácie v morskej vode.

Zliatiny s vyšším obsahom horčíka majú vyššiu pevnosť, avšak pri obsahoch nad 3% Mg sú zliatiny prevádzkované pri teplotách nad 100°C náchylné na korózne praskanie. Takéto zliatiny sa používajú predovšetkým v automobilovom priemysle.

Zliatiny na odlievanie majú horšiu zlievateľnosť ako zliatiny Al- Si, a to vzhľadom na obsah horčíka a dlhší interval tuhnutia. Pre zlepšenie zlievateľnosti sa dolegovávajú kremíkom (napr. zliatina AlSi5Mg). Odliatky z týchto zliatin sa používajú často na dekoračné účely, pretože sa dajú veľmi ľahko anodicky povlakovávať, s rôznym farebným efektom.

ZLIATINY Al- Mg- Si (označujú sa ako *aviaily*)

- dajú sa tepelne spracovávať
- majú vysokú koróznú odolnosť, dosahujú stredné hodnoty pevnosti, maximálna pevnosť v ťahu je 125- 400 MPa
- sú ľahko zvariteľné metódami MIG a MAG
- majú výbornú vytlačovateľnosť

Zvláštnosťou týchto zliatin je práve ich výborná vytlačovateľnosť, ktorá umožňuje výrobu produktov rôznych aj zložitých tvarov. Prietlačky, ale aj plechy z týchto zliatin sa vo zvarenom stave používajú predovšetkým v automobilovom priemysle, v aplikáciách s morskou vodou, na výrobu železničných vagónov a potrubí.

Špeciálne, tepelne spracované druhy týchto zliatin sa používajú na výrobu rôznych výkoviek.

ZLIATINY Al- Zn

- dajú sa tepelne spracovávať, majú zhoršenú zlievateľnosť
- majú veľmi vysokú pevnosť a húževnatosť, maximálna pevnosť v ťahu je 230- 610 MPa pre zliatiny na tvárnenie, 210- 385 MPa pre zliatiny na odlievanie
- spájať ich možno len mechanicky
- majú dobrú obrobiteľnosť a vzhľad

Historicky najširšia oblasť použitia Al- Zn zliatin na tvárnenie bola v leteckom priemysle, zvlášť pre ich vysokú pevnosť. Používajú sa ešte aj dnes v tvare rôznych výkoviek. Kombinácia vysokej pevnosti a nízkej mernej hmotnosti vybraných zliatin v tepelne spracovanom stave ich predurčila pre výrobu vodiacich potrubí pre hlboké vrty, kde sa vyžaduje pre veľké hĺbky použitie práve kovov s nízkou hmotnosťou.

Odolnosť proti atmosferickej korózii týchto zliatin nie je až taká vysoká ako u zliatin Al- Mg alebo Al- Mg- Si, a teda pre takúto prevádzku sa zvyčajne povlakujú. Na zvýšenie ich odolnosti proti koróznemu praskaniu sa upravujú špeciálnymi postupmi tepelného spracovania, zvlášť pre aplikácie, kde počas expozície pôsobí faktor napätia a sú navyše vystavené atmosfére alebo inému nebezpečnejšiemu koróznemu prostrediu.

Zliatiny Al- Zn- Mg- Cu, patriace do tejto skupiny zliatin, dosahujú najvyššie hodnoty pevnosti spomedzi všetkých zliatin hliníka. Nie sú zvariteľné, ale sú používané v nitovaných konštrukciách.

Zliatiny bez prídavku medi majú nižšiu pevnosť, ale majú vyššiu húževnatosť a sú ľahko zvariteľné a vytlačovateľné. Používajú sa na výrobu nárazníkov automobilov alebo železničných vagónov.

Zliatinu Al- Zn na odlievanie majú zhoršenú zlievateľnosť, a preto sa používajú len vtedy, ak sa od odliatkov nevyžaduje konečná úprava povrchu. Používajú sa pri výrobe nábytku, záhradníckych pomôcok, na výrobu zariadení a nástrojov v poľnohospodárstve a baníctve.

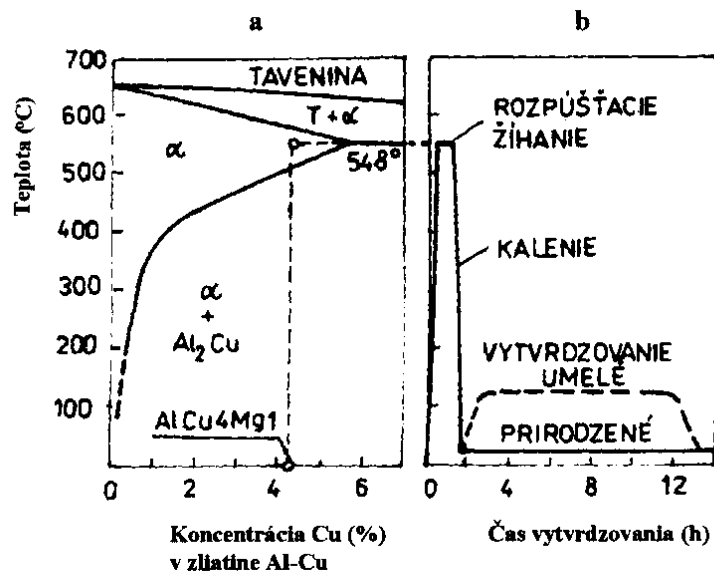
Vo všeobecnosti platí, že **zliatiny hliníka na odlievanie obsahujú viac legujúcich prvkov** (ako napr. Si alebo Cu), než zliatiny určené na tvárnenie. To má za následok dosiahnutie podstatne heterogénnejšej štruktúry, obsahujúcej veľké množstvo sekundárnych fáz. Tieto sekundárne fázy sú často veľmi veľké a hrubé alebo sú krehkou zložkou štruktúry, a preto sa môžu stať zdrojom vnútorných vrubov alebo byť miestom nukleácie trhliny, pokiaľ je odliatok vystavený zaťaženiu. Ďalej, odliatky zo zliatin hliníka majú nižšiu ťažnosť a pevnosť (zvlášť únavovú), než zliatiny na tvárnenie. To je dané prítomnosťou rôznych heterogenít, zvlášť na povrchu alebo pod povrchom odliatku. Prítomnosť takýchto defektov sa však dá vylúčiť správnym hutníckym spracovaním a odlievaním zliatiny.

Tepelné spracovanie zliatin hliníka

Základnou podmienkou pre aplikáciu tepelného spracovania vytvrdzovaním je pokles rozpustnosti legujúceho prvku s klesajúcou teplotou. Tepelne sa spracovávajú zliatiny, ktorých obsah je blízky maximálnej rozpustnosti legujúceho prvku v hliníku.

Tepelné spracovanie vytvrdzovaním sa skladá z nasledovných technologických úkonov:

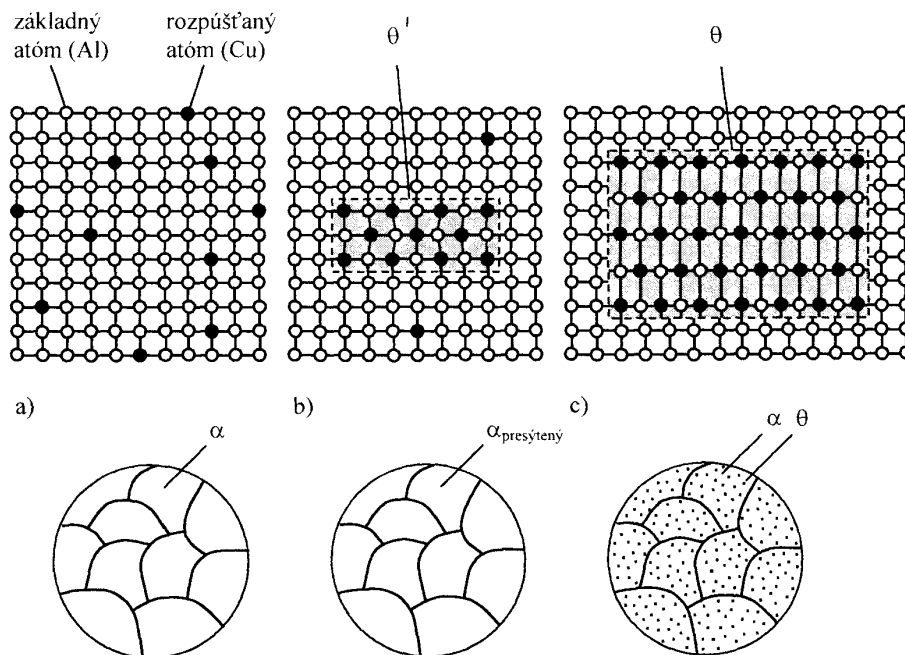
- **rozpúšťacie žihanie**
- **kalenie**
- **vytvrdzovanie**



Obr. 1 Princíp a priebeh vytvrdzovania duralu

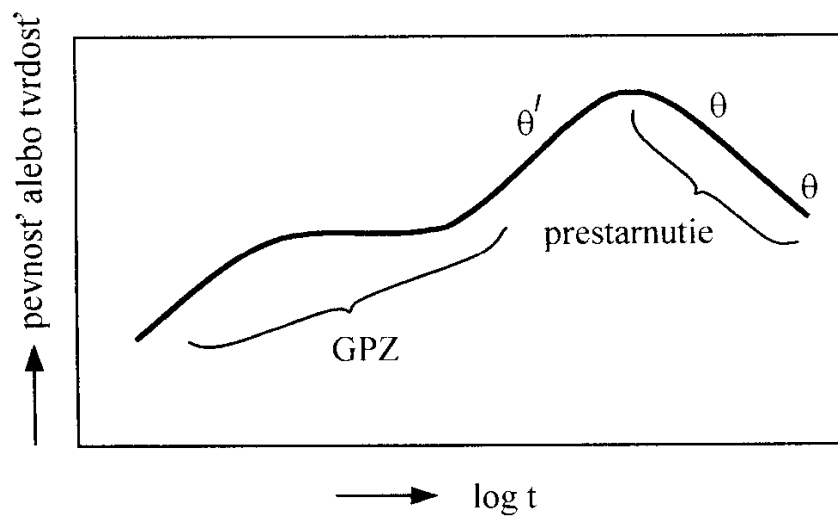
Vytvrdzovanie je **precipitačný dej**, ktorý prebieha v niekoľkých etapách:

1. **vznik GP1 zón (Guinier-Prestonove zóny)**- sú to v podstate zhľuky atómov legujúceho prvku (napr. v systéme Al- Cu sú to zhľuky atómov medi), naviazané na mriežku hliníka; → **vznik GP2 zón**- jedná sa o novú fázu v vlastnou štruktúrnou mriežkou;
2. **vylúčenie novej fázy**- najprv iba vo vnútri zŕn vznikajú tzv. prepipitáty θ' - théta s čiarou, čo sú prechodové semikoherentné precipitáty; potom sa atómy preskupujú na mriežku stabilného nekoherentného precipitátu θ - théta (CuAl_2).



Obr. 2 Schéma štádií vytvrdzovania: a) presýtený tuhý roztok; b) semikoherentný precipitát θ' ; c) stabilný nekoherentný precipitát θ

Maximálna tvrdosť a pevnosť zliatiny sa dosiahne v prvej etape precipitácie -pri vzniku zón GP1- pretože ich existencia sa spája so vznikom mriežkových napätí. Vznikajúce napätivé polia bránia pohybu dislokácií, čím dochádza k precipitačnému spevneniu zliatiny. Hodnoty mechanických vlastností získané tepelným spracovaním si zliatiny zachovávajú až do teploty 200°C, kedy je stav GP1 ešte stabilný. Pri teplotách nad 200°C sa pevnosť a tvrdosť postupne znižuje, začína totiž prebiehať 2. alebo až 3. etapa precipitačného deja, spojená s koaguláciou stabilného precipitátu a čiastočnou relaxáciou (uvoľnením) napätivých polí, teda spevnenie je menšie. Platí, že čím je vyššia teplota starnutia, tým je menší efekt vytvrdzenia, ale zliatiny sú tvárnejšie a húževnatejšie.



Obr. 3 Závislosť pevnosti a tvrdosti na čase pri precipitačnom vytvrdzovaní pri konštantnej teplote