

Intermetalické fázy a ich vplyv na vlastnosti Al-Si zliatin

Prísadové prvky, ktoré sa okrem Si vyskytujú v zliatinách Al-Si sa v hliníku obmedzene rozpúšťajú a tvoria substitučný tuhý roztok, pričom pri dostatočne vysokej teplote sú tieto prvky v tekutom hliníku úplne rozpustné. S klesajúcou teplotou však rozpustnosť týchto prvkov v hliníku klesá. Podiely prímiesových prvkov, ktoré sa nerozpustia, tvoria v štruktúre vlastné fázy, ktoré sa označujú ako heterogénne zložky štruktúry. Často ide o tvrdé a krehké intermetalické fázy, ktoré rozhodujú o fyzikálnych, chemických, mechanických a technologických vlastnostiach zliatin (napr. intermetalická fáza Al_5FeSi). Všeobecne možno konštatovať, že tieto intermetalické zlúčeniny **negatívne** ovplyvňujú vlastnosti Al-Si zliatin. Miera ich negatívneho pôsobenia závisí od ich veľkosti, množstva, distribúcie a morfológie.

Medzi prísady v Al-Si zliatinách na odliatky patria predovšetkým:

Meď - umožňuje zvýšenie pevnosti vytvrdením prostredníctvom fázy Al_2Cu , ktorá má väčšiu účinnosť ako fáza Mg_2Si . Znižuje však odolnosť proti korózii, preto je neprípustná v zliatinách pre potravinárske účely. Pri tuhnutí meď značne rozširuje interval tuhnutia silumínov, a tým môže podporovať vznik riedín a trhlín za tepla, avšak významne zlepšuje obrobiteľnosť.

Horčík - pridáva sa v množstve 0,3 až 0,75 %. Umožňuje zvýšenie pevnostných vlastností vytvrdením pomocou fázy Mg_2Si . So zvyšujúcim sa množstvom Mg v zliatine sa zvyšuje aj pevnosť. Horčík znižuje tvárnosť, neznižuje však odolnosť proti korózii. V liatom stave tvorí horčík intermetalickú fázu Mg_2Si , ktorá tvorí eutektikum Al-Si- Mg_2Si s teplotou tuhnutia cca 555 °C vo forme drobných kostrovitých útvarov.

Mangán - zvyšuje pevnosť, odolnosť voči korózii, zjemňuje zrno a kompenzuje nepriaznivý účinok železa. Pod jeho účinkom sa železo vylúči vo forme kompaktnejších zlúčenín typu $\text{Al}_{15}(\text{MnFe})_3\text{Si}_2$ v kostrovitom tvare, resp. v tvare tzv. čínskeho písma. Obsah mangánu v Al-Si zliatinách by mal byť rovný cca 1/2 obsahu železa.

Chróom, kobalt, molybdén, nikel - zvyšujú žiarupevnosť a odstraňujú škodlivý účinok železa, t. j. prispievajú k transformácii nežiaducej ihlicovitej železitej fázy Al_5FeSi na menej škodlivú fázu $\text{Al}_{15}(\text{MnFe})_3\text{Si}_2$.

Stroncium - patrí medzi modifikátory. Množstvo Sr závisí od obsahu kremíka. Obvykle sa pohybuje od 0,008 do 0,04 %. Pri prekročení jeho optimálneho množstva vznikajú krehké fázy AlSr_2Si_2 v segregáčnej oblasti a zvyšuje sa pórovitosť odliatkov.

Titán, bór - pôsobia ako kryštalizačné zárodky a zjemňujú štruktúru - tvorba jemných intermetalických častíc TiB_2 , a to už v priebehu kryštalizácie. Najmä v zliatinách AlSi sa však pri obsahoch nad 0,1 % Ti vytvára intermetalická fáza $\text{Ti}(\text{AlSi})_3$, ktorá sa dá len veľmi ťažko znova rozpustiť. S rastúcim obsahom Ti sa stálosť tejto fázy zvyšuje.

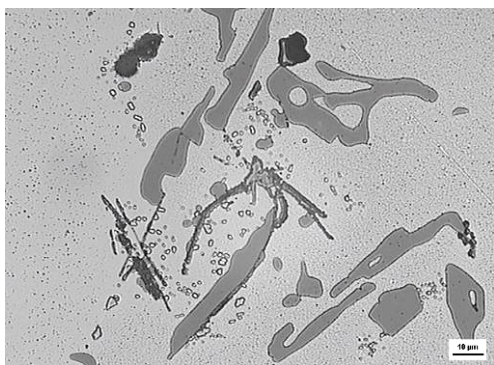
Lítium - je kov s veľmi nízkou hustotou (menej ako 1 g.cm⁻³ - je ľahší ako voda) a s mimoriadne veľkou reaktivnosťou. Používa sa v množstve do cca 5 %, za účelom zníženia hustoty zliatin. Tieto zliatiny sa používajú na súčiastky v letectve a kozmonautike. Metalurgické a technologické problémy sú však extrémne veľké a rozsah ich použitia je preto veľmi obmedzený.

Železo - je bežná nečistota v hliníkových zliatinách. V závislosti od kvality východiskových surovín primárny hliník obsahuje niečo medzi 0,03 až 0,15 % Fe (v priemere cca 0,07 až 0,1 %). V súčasnosti v hutníckej praxi nie je známy spoľahlivý a ekonomicky výhodný spôsob

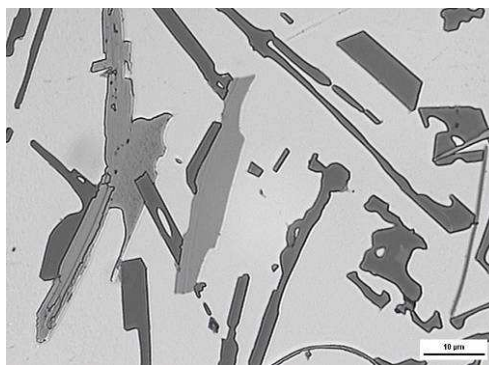
odstránenia železa zo zliatin hliníka. Železo má nepriaznivý vplyv na pevnostné aj na plastické vlastnosti a súčasne znižuje aj odolnosť proti korózii. V množstve 0,3 až 0,5 % zabraňuje železo lepeniu (privareniu) odliatkov na kovové formy (do zliatin pre tlakové liatie sa zámerné pridáva), zvyšuje pevnosť, zabiehavosť a vo väčších množstvách aj žiarupevnosť silumínov. Pri vyšších obsahoch ako 0,3 až 0,5 % vytvára nežiaduce tvrdé a krehké intermetalické fázy (napr. Al_5FeSi a $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$).

Všeobecne sa predpokladá, že **železo je škodlivý prvok**, ktorý vytvára tvrdé a krehké intermetalické zlúčeniny. Veľkosť a hustota Fe-fáz sa so zvyšujúcim % Fe zvyšuje, v dôsledku čoho dochádza k poklesu ťažnosti odliatkov. Zvyšovanie množstva Fe zvyšuje rozmery defektov a pórovitosť odliatkov, čo sa rovnako prejaví poklesom ťažnosti. Železité fázy sú ťažko rozpustné počas homogenizácie a zhoršujú mechanické vlastnosti zliatin (pevnosť, ťažnosť). Tiež môžu spôsobiť zvyšovanie napätia, majú nízku ťažnosť a sú lámavé pri bežnej teplote okolia. Napriek tomu vykazujú až neprimeranú pevnosť a odolnosť proti tečeniu pri zvýšených teplotách.

Al_5FeSi má 3D-doskovitý tvar a v rovine metalografického výbrusu ju pozorujeme ako **ihlice** (obr. 1). Fáza Al_5FeSi sa zo železitých fáz vyskytuje najčastejšie a pri vyšších obsahoch železa (0,5 až 1,2 %) môže dramaticky ovplyvňovať mechanické vlastnosti, znižuje pevnosť, ťažnosť a lomovú húževnatosť. Znižuje aj únavovú životnosť odliatkov; existencia dlhých doskovitých útvarov fázy Al_5FeSi podporuje iniciáciu únavových trhlín a zvyšuje pórovitosť. Veľkosť a objemový podiel doskovitej fázy Al_5FeSi závisia od % Fe, rýchlosti kryštalizácie a stupňa modifikovania. Škodlivé účinky fázy Al_5FeSi sa eliminujú modifikovaním a pridávaním prísadových prvkov (*Mn, Cr, Be, Co, Mo, Ni, KVZ* alebo *K*). Tieto zmena zloženie a morfológiu doskovitej fázy Al_5FeSi na tzv. „**čínske písmo**“, **kostrovité útvary** alebo primárne v matici sa vyskytujúce **polyedrické kryštály**.



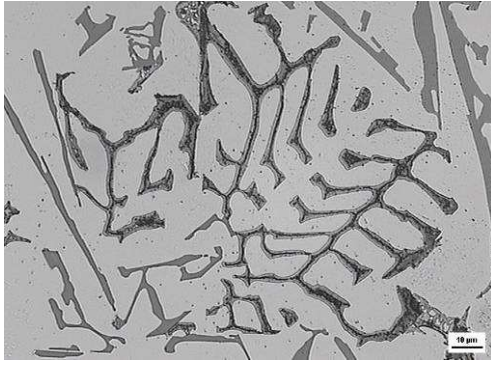
a) zliatina $AlSi9Cu3$, lept. Dix-Keller



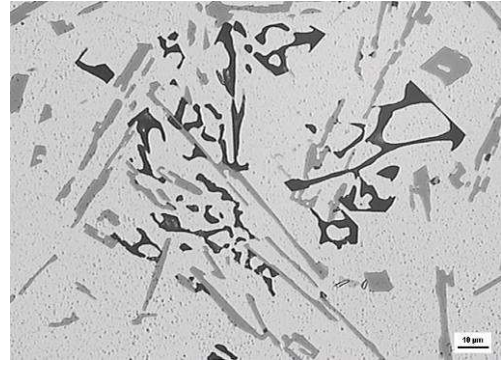
b) zliatina $AlSi8Cu3Mn$, lept. 0,5 % HF

Obr. 1. Intermetalická fáza Al_5FeSi v zliatinách AlSi

Mangán - jeho prídavkom prednostne vzniká fáza typu **$Al(FeMn)Si$** , ktorá má kubickú mriežku a jej zloženie sa pohybuje od $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ do $Al_{16}(FeMn)_4Si_3$. V literatúre je stručne uvádzaná aj ako fáza $Al_{12}(Fe_xMn_{1-x})_3Si$ alebo len $Al(FeMn)Si$, resp. $Al(FeMnMg)Si$ (ak zliatina obsahuje Mg). Pozorovaná je v medzidendritických oblastiach a má prevažne tvar masívnych ostrohranných kostrovitých útvarov, resp. typu tzv. „**čínskeho písma**“ (obr. 2). Vďaka obsahu mangánu ide o celistvú morfológiu, ktorá neiniciuje trhliny v liatom materiáli v takom rozsahu ako fáza Al_5FeSi . Mangán znižovaním množstva fázy Al_5FeSi zvyšuje koróznú odolnosť v zliatinách typu Al-Si-Mg, redukuje pórovitosť a zvyšuje únavovú odolnosť odliatkov. Fázy obsahujúce Mn sú termodynamicky stabilnejšie, o čom svedčí fakt, že sú pozorované aj po dlhodobej homogenizácii.



a) zliatina AlSi9Cu3, lept. 0,5 % HF

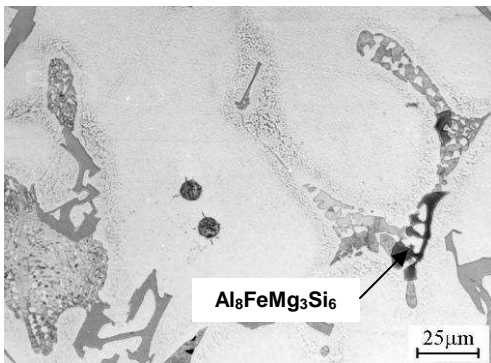


b) zliatina AlSi12Cu1Fe, lept. H₂SO₄

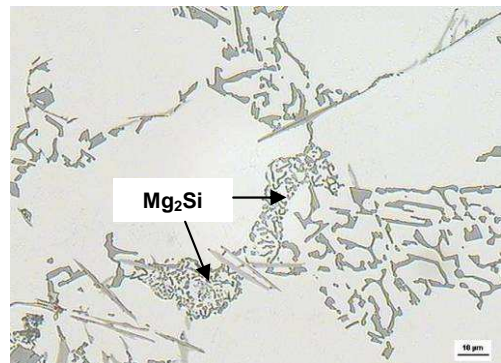
Obr. 2. Intermetalické fázy typu Al₁₅(FeMn)₃Si₂

Horčík. Prídavok horčíka zvyšuje pevnosť zliatin Al-Si a umožňuje ich vytvrditeľnosť vylučovaním fázy Mg₂Si, v tvare jemných guľovitých častíc (obr. 3). Mg₂Si zhoršuje zabiehavosť, neznižuje však odolnosť proti korózii a priaznivo ovplyvňuje trieskovú obrábateľnosť.

Okrem intermetalických fáz na báze železa, mangánu a horčíka sa v štruktúre zliatin typu Al-Si-Cu nachádzajú fázy bohaté na meď (obr. 4). Fáza Al₂Cu s tetragonálnou kryštalickou mriežkou sa vyskytuje v dvoch modifikáciách, samostatne ako drobné oválne zrná s vysokou koncentráciou meďi (38 - 45 hmot. %) a ako ternárne eutektikum Al-Al₂Cu-Si.

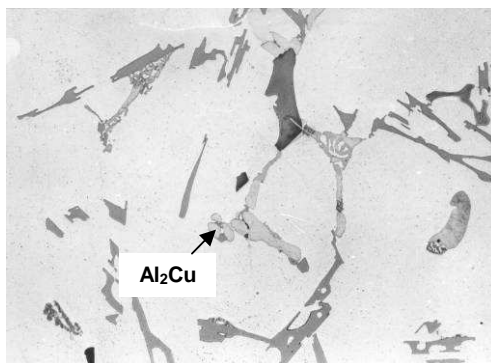


a) zliatina AlSi9Cu3, lept. HNO₃

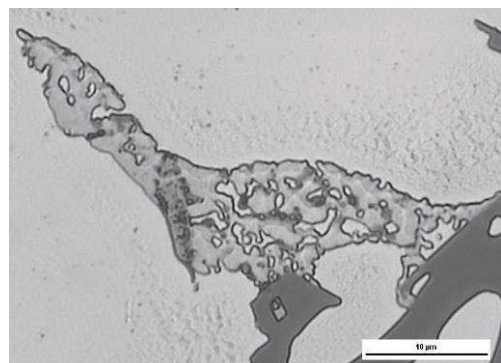


b) zliatina AlSi9Cu3, lept. HNO₃

Obr. 3 Intermetalické fázy na báze Mg



a) fáza Al₂Cu, lept. NaOH



b) fáza Al-Al₂Cu-Si, lept. Dix-Keller

Obr. 4 Intermetalické fázy na báze Cu - ternárne eutektikum Al-Al₂Cu-Si

Postup práce na cvičení

Parametre intermetalických fáz prítomných v zliatinách Al-Si (tvar a rozloženie), sa určujú pri 100 až 1 000-násobnom zväčšení (podľa veľkosti hodnotených útvarov). Druh fázy sa charakterizuje chemickým vzorcom, napr. Al_5FeSi , ak nie je vzorec známy, popíše sa približným výpisom obsiahnutých prvkov.

Pred cvičením (doma) je potrebné sa zoznámiť s teoretickými poznatkami o vzniku, rozdelení a základných typoch intermetalických fáz vyskytujúcich sa v zliatinách Al-Si a ich vplyvom na mechanické vlastnosti.

1. Metalograficky vyhodnoťte a schématicky zakreslite mikroštruktúru vzoriek zliatiny AlSi10MgMn modifikovanej Sr (0; 0,05 % Sr; 0,1 % Sr a 0,15 % Sr) po č-b (0,5 % HF) a farebnom leptaní (MA a Weck-Al).
2. Na základe porovnania mikroštruktúr vzoriek po č-b a farebnom leptaní, popíšte význam farebného leptania pri štúdiu zliatin Al-Si.
3. Na fotografiách mikroštruktúr zliatiny AlSi10MgMn (nemodifikovanej a modifikovanej) identifikujte základné intermetalické fázy a vyhodnoťte ich tvar a rozloženie.

Kontrolné otázky

1. Ktoré prísadové prvky sú typické pre zliatiny Al-Si.
2. Aký je vplyv železa na vlastnosti zliatin Al-Si.
3. Popíšte tvar Fe- intermetalických fáz.

Použitá literatúra

- [1] GRÍGEROVÁ, T.- LUKÁČ, I.- KOŘENÝ, R.: *Zlievarenstvo neželezných kovov*, 1. vydanie, Bratislava, Alfa, 1988.
- [2] BOLIBRUCHOVÁ, D. - TILLOVÁ, E.: *Zlievarenské zliatiny Al-Si*. EDIS vydavateľstvo ŽU Žilina, 2005.
- [3] MICHNA, Š. a kol.: *Encyklopedie hliníku*. Adin, s.r.o. Prešov, 2005.