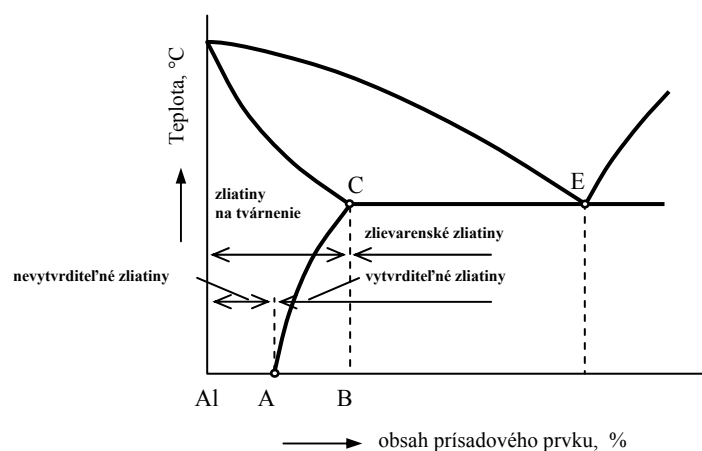


3.1.1. Zliatiny hliníka a ich použitie

Zliatiny hliníka prevažujú aspoň jednou významnou a využívanou vlastnosťou čistý hliník a je možné ich roztriediť z dvoch hľadísk:

1. Z hľadiska možnosti zvýšenia ich pevnostných vlastností cestou tepelného spracovania ich delíme na:
 - nevytvrditeľné;
 - vytvrditeľné.
2. Z hľadiska technológie spracovania ich delíme na:
 - zliatiny na tvárnenie;
 - zliatiny na odlievanie.

Schéma rozdelenia hliníkových zliatin je na obr. 20.



Obr. 20. Schéma rozdelenia zliatin hliníka

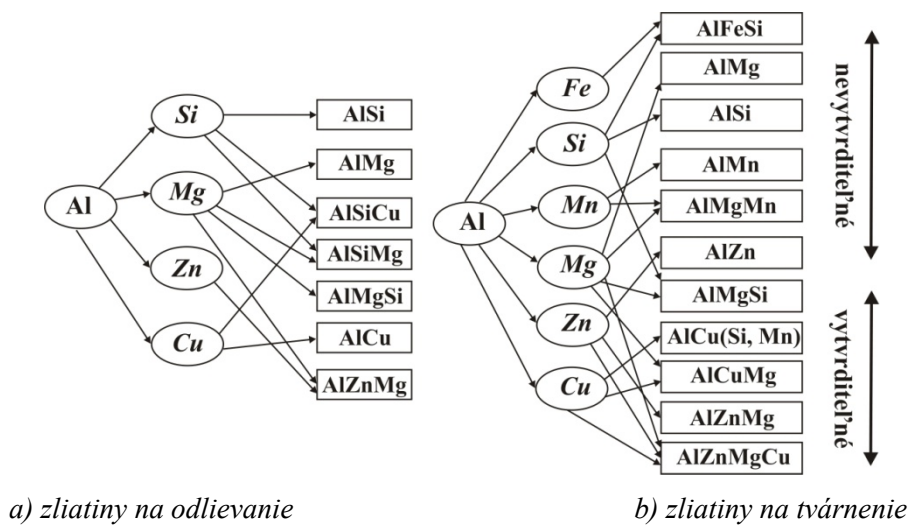
Zlievarenské zliatiny majú vyšší obsah prísadových prvkov, tuhnú preto ako heterogénne; vo výslednej štruktúre sa vyskytuje eutektikum. Najlepšie zlievarenské vlastnosti majú zliatiny s obsahom prísady v okolí eutektickej koncentrácie (bod E), tieto sa tiež najčastejšie používajú.

Nevytvrditeľné zliatiny - obsahujú 5 až 20 % Si a ďalšie prísady, z ktorých najdôležitejší je Mn, ktorý eliminuje vplyv prímiesi Fe. Zvýšenie ich pevnosti nie je možné pomocou tepelného spracovania - vytvrdzovania. Spevnenie je možné tvárnením za studena, pričom sa deformuje kryštalová mriežka a aj jednotlivé kryštály, ktoré sa predlžujú a orientujú podľa smeru a intenzity tvárnenia. Pri tvárnení nastávajú väčšie poruchy a napätia v mriežke, čo spôsobuje sťažený pohyb dislokácií v ďalších sklzových systémoch. Výsledkom je spevnenie zliatiny (od 200 MPa do 300 MPa).

Vytvrditeľné zliatiny - vytvrditeľnosť týchto zliatin je podmienená prítomnosťou Mg alebo Cu. Po tepelnom spracovaní nastáva zvýšenie medze pevnosti (na viac ako 300 MPa) pri súčasnom poklese ťažnosti.

Zliatiny na tvárnenie - patria sem hlavne zliatiny na báze Al-Mn a Al-Mg. Sú charakteristické menším obsahom prísad, sú veľmi dobre tvárne za studena aj za tepla, čím sa dosiahne zvýšenie pevnosti. Nevytvrdzujú sa z dôvodu malého efektu vytvrdzenia (zliatiny typu Al-Mn) a taktiež preto, lebo malé zvýšenie pevnosti by bolo sprevádzané veľkým znížením ťažnosti (zliatiny typu Al-Mg).

Hlavné druhy hliníkových zliatin sú schematicky znázornené na obr. 21.



Obr. 21. Schematické znázornenie používaných hliníkových zliatin

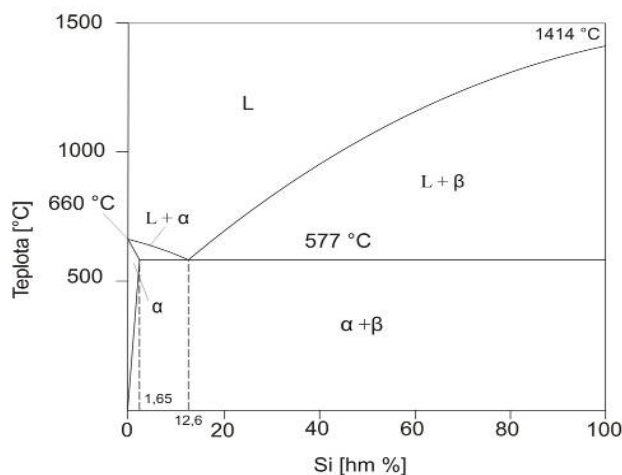
Zliatiny na odlievanie - zaradujeme sem predovšetkým zliatiny typu Al-Si, Al-Cu, Al-Mg. Majú v porovnaní s tvárnenými zliatinami vyšší obsah prísad, čo im zabezpečuje popri dobrých mechanických vlastnostiach najmä dobré zlievarenské vlastnosti. Zo štruktúrneho hľadiska sú to heterogénne zliatiny s prítomnosťou eutektika.

Zliatiny hliníka na odliatky majú oproti ostatným zlievarenským zliatinám celý rad výhod:

- dobrá zlievateľnosť, ktorá sa výrazne zlepšuje so zvyšujúcim sa podielom príslušného eutektika podľa chemického zloženia;
- nízka teplota tavenia;
- malý interval tuhnutia;
- obsah vodíka v odliatku, ktorý je jediným rozpustným plynom v hliníku, je možné vhodnými technologickými podmienkami minimalizovať;
- dobrá chemická stabilita (odolnosť voči korózii);
- dobré povrchové vlastnosti odliatkov;
- vo väčšine zliatin je nízka náchylnosť k tvorbe trhlín za tepla.

Významnou skupinou zliatin hliníka sú zliatiny na odliatky **Al-Si (silumíny)**, ktoré majú uplatnenie predovšetkým v automobilovom a leteckom priemysle. Niektoré automobilové súčasti sa v súčasnosti odlievajú výlučne z týchto hliníkových zliatin (napr. hlavy valcov do osobných automobilov, bloky motorov, piesty, ojnice, chladiče, prevodové skrine a pod.).

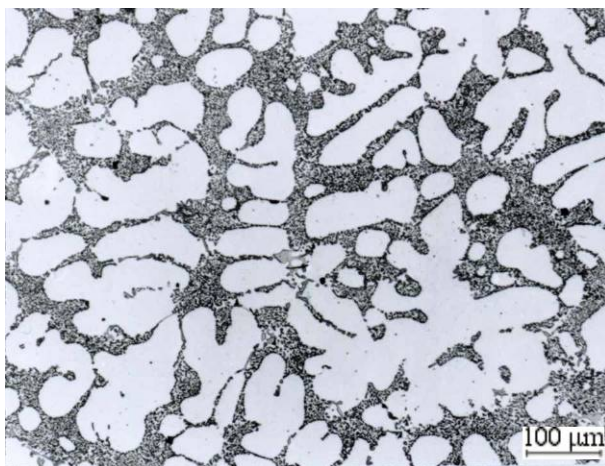
Zliatiny Al-Si kryštalizujú podľa rovnovážneho diagramu eutektického typu (obr. 22) s obmedzenou rozpustnosťou kremíka v hliníku. Eutektická reakcia ($L \rightarrow \alpha + \beta$) prebieha pri teplote 577 °C a obsahu 11,3 až 12,6 % Si v eutektiku. Fáza α je substitučným tuhým roztokom Si v Al s maximálnou rozpustnosťou 1,65 % Si pri eutektickej teplote 577 °C a 0,05 až 0,1 % Si pri teplote 200 °C. Eutektikum (E) predstavuje v binárnych sústavách zmes substitučného tuhého roztoku α a kryštálov takmer čistého eutektického kremíka (β -fáza), vznikajúcu priamo z taveniny pri eutektickej premene.



Obr. 22. Binárny diagram Al-Si

Podľa binárneho diagramu možno zliatiny Al-Si z hľadiska štruktúry rozdeliť na:

- podeutektické so štruktúrou ($\alpha + E$) pod 12,6 % Si;
- eutektické so štruktúrou (E) okolo 12,6 % Si;
- nadeutektické so štruktúrou (E + Si) nad 12,6 % Si.



Obr. 23. Mikroštruktúra zliatiny AlSi7MgTi, lept. 0,5 % HF

Množstvo, tvar, veľkosť a rozloženie voľného kremíka a mechanické vlastnosti binárnych zliatin Al-Si spolu úzko súvisia. Fáza α je mäkká a húževnatá a tvorí súvislú štruktúrnú zložku eutektika. Eutektikum je pevné, mäkké a dostatočne húževnaté, pretože obsahuje okolo 90 % α -fázy a asi 10 % kremíka. Eutektikum prítomné v pomerne veľkom množstve (40 až 75 %) dáva zliatinám Al-Si nielen výbornú zabiehavosť, ale tiež znižuje ich lineárne zmraštenie a sklon k tvorbe trhlín za tepla a sklon k vzniku mikropórovitosti. Dendrity α -fázy sú na výbruse dokumentované ako biele miesta. Eutektický kremík a intermetalické fázy sú vylúčené vo forme sivých až čiernych útvarov (obr. 23).

Štruktúru a vlastnosti zlievarenských zliatin je možné vo všeobecnosti ovplyvňovať úpravami tekutého kovu, spočívajúcimi v pridaní malého množstva vhodne zvolenej látky, ktorá ovplyvňuje proces kryštalizácie. Tieto úpravy sa rozdeľujú na:

- **očkovanie**, ktorým sa prioritne ovplyvňuje počet kryštalizačných zárodkov a jeho dôsledkom je preto zjemnenie štruktúry;

- **modifikovanie**, ktorým sa ovplyvňuje spôsob rastu kryštalizačných zárodkov a jeho dôsledkom sú morfológické zmeny vylúčených fáz.

Pri zliatinách Al-Si sa využíva očkovanie na zjemnenie kovovej matrice (α -fázy) a modifikovanie na dosiahnutie optimálneho tvaru eutektického kremíka. Eutektický kremík má v nemodifikovaných zliatinách Al-Si tvar hexagonálnych doskovitých útvarov, ktoré v rovine metalografického výbrusu pozorujeme ako tmavosivé rôzne orientované ihlice, uložené v svetlej matrici α -fázy. Takýto tvar eutektického kremíka výrazne znižuje mechanické vlastnosti silumínov. Z tohto dôvodu sa realizuje modifikovanie týchto zliatin, spôsobujúce výraznú zmenu štruktúry a vylúčenie eutektického kremíka v tvare tyčiniek, ktoré v rovine metalografického výbrusu pozorujeme ako oblé zrná. Mechanické vlastnosti modifikovanej zliatiny výrazne vzrastajú.

Modifikovanie spočíva v pridaní malého množstva modifikátora (predzliatiny) do taveniny ako napr. Na, Sr, Sb, pričom nesmie dôjsť k podstatnej zmene chemického zloženia taveniny.

3.1.2. Prísadové prvky 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 zliatiny (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 obrábatelnosť.

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 $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ 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 $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$.

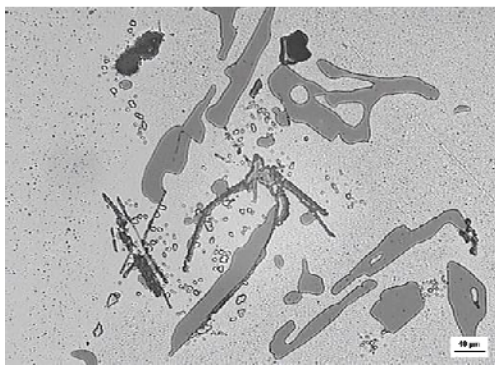
Stroncium - patrí medzi modifikátory. Množstvo Sr závisí od obsahu kremíka. Obvykle sa pohybuje od 0,008 do 0,04 %. Pri prekročení jeho optimálneho množstva vznikajú krehké fázy $AlSr_2Si_2$ v segregačnej oblasti a zvyšuje sa pórovitosť odliatkov.

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 $Ti(AlSi)_3$, ktorá sa dá len veľmi ťažko znova rozpustiť. S rastúcim obsahom Ti sa stálosť tejto fázy zvyšuje.

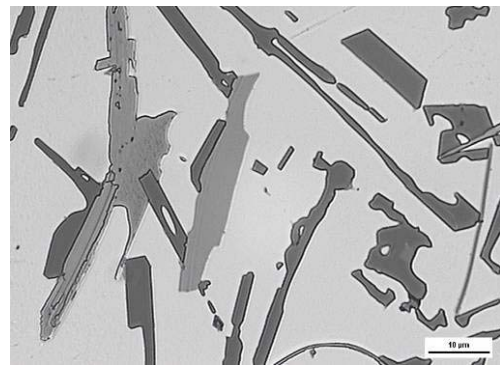
Lítium - je kov s veľmi nízkou hustotou (menej ako 1 g.cm^{-3} - je ľahší ako voda) a s mimoriadne veľkou reaktivnosťou. Používa sa v množstve do cca 5 % za účelom zníženia hustoty zliatin. Tieto zliatiny sa používajú na súčiastky v leteectve a kozmonautike. Metalurgické a technologické problémy sú však 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 zámernie 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.



a) zliatina AlSi9Cu3, lept. Dix-Keller

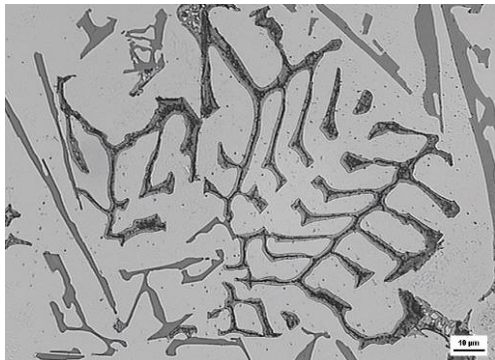


b) zliatina AlSi8Cu3Mn, lept. 0,5 % HF

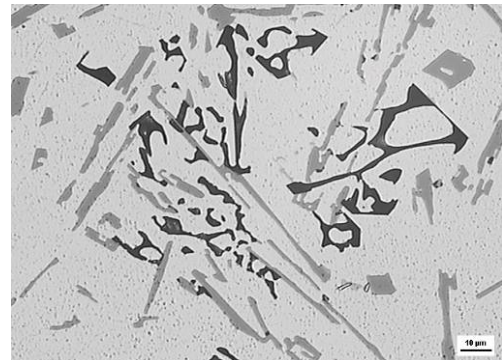
Obr. 24. Intermetalická fáza Al_5FeSi v zliatinách AlSi

Al_5FeSi má 3D-doskovitý tvar a v rovine metalografického výbrusu ju pozorujeme ako **ihlice** (obr. 24). 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 trhlin 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 pridá-

vaním prísadových prvkov (*Mn, Cr, Be, Co, Mo, Ni, KVZ* alebo *K*). Tieto zmenia zloženie a morfológiu doskovitej fázy Al_5FeSi na tzv. „čínske písmo“, kostrovité útvary alebo primárne v matrici sa vyskytujúce polyedrické kryštály.



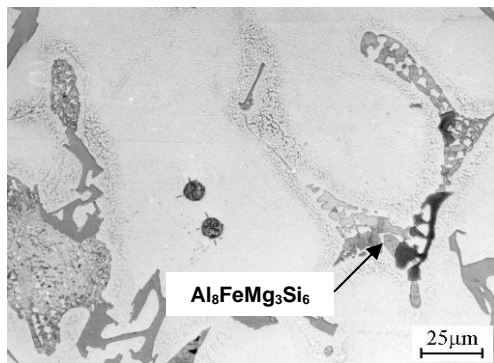
a) zliatina $AlSi9Cu3$, lept. 0,5 % HF



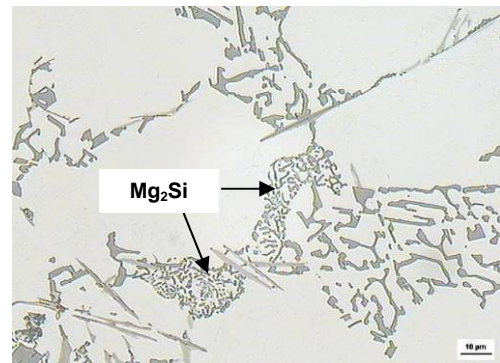
b) zliatina $AlSi12Cu1Fe$, lept. H_2SO_4

Obr. 25. Intermetalické fázy typu $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$

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. 25). Vďaka obsahu Mn ide o celistvú morfológiu, ktorá neinicuje trhliny v liatom materiáli v takom rozsahu ako fáza Al_5FeSi . Mangán znižovaním množstva fázy Al_5FeSi zvyšuje koróznou 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. HNO_3



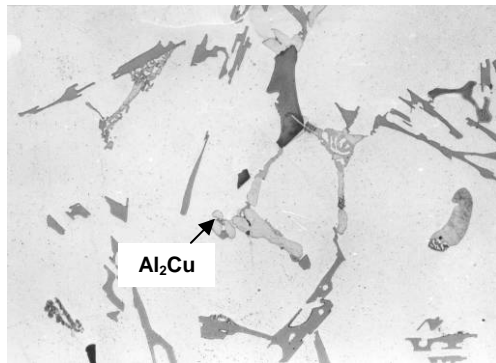
b) zliatina $AlSi9Cu3$, lept. HNO_3

Obr.26. Intermetalické fázy na báze Mg

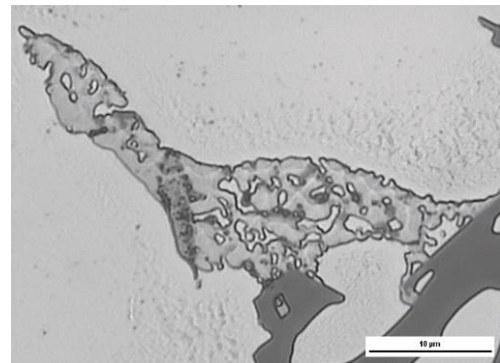
Horčík. Prídavok horčíka zvyšuje pevnosť zliatin Al-Si a umožňuje ich vytvrdivosť vylučovaním fázy Mg_2Si , v tvare jemných guľovitých častíc (obr. 26). Mg_2Si zhoršuje zabehavosť, neznižuje však odolnosť proti korózii a priaznivo ovplyvňuje trieskovú obrábatelnosť.

Okrem intermetalických fáz na báze Fe, Mn a Mg sa v štruktúre zliatin typu Al-Si-Cu nachádzajú fázy bohaté na meď (obr. 27). Fáza Al_2Cu s tetragonálnou kryštalickou mriežkou

sa vyskytuje v dvoch modifikáciách, samostatne ako drobné oválne zrná s vysokou koncentráciou Cu (38 - 45 hmot. %) a ako ternárne eutektikum Al-Al₂Cu-Si.



a) fáza Al₂Cu, lept. NaOH



b) fáza Al-Al₂Cu-Si, lept. Dix-Keller

Obr. 27. Intermetalické fázy na báze Cu - ternárne eutektikum Al-Al₂Cu-Si

Na zvýšenie rozlíšiteľnosti štruktúrnych zložiek Al-Si zliatin je možné využiť rôzne techniky leptania. Pri čierno-bielom leptaní sa využíva leptadlo Dix-Keller (svetlosivé útvary fáz: Mg₂Si; Al-Al₂Cu-Si; Al₂Cu) a kyselina fluorovodíková (0,5 % HF - čierne útvary Al₅FeSi, Al(FeMn)Si fáz), zvyrazňujúce štruktúru Al-Si zliatin vo všeobecnosti, pre zvýraznenie niektorých sekundárnych fáz s využitím čierno-bieleho leptania sa používajú leptadlá kyselina dusičná - HNO₃ (šedé útvary fáz Al-Al₂Cu-Si; Al₂Cu) a kyselina sírová -H₂SO₄ (čierne útvary Al₅FeSi, Al(FeMn)Si fáz), pričom dendrity α -fázy sú v každom prípade biele. Pri farebnom leptaní sa používajú rôzne leptadlá napr. molybdénan amónny a Weck-Al. Molybdénan amónny zvyrazňuje fázy Al₅FeSi (svetlohnedé ihlice); Mg₂Si a fázy Al(FeMn)Si sú dobre pozorovateľné po následnom použití polarizovaného svetla. Leptadlom Weck-Al sa zvyraznia fázy Al₅FeSi (svetlomodré ihlice) a Mg₂Si (jasne svetlé útvary).