

Mikrostrukturna karakterizacija zlitine AlSi6CuMg z dodatki samarija

Microstructural Characterization of AlSi6CuMg Alloy with Additions of Samarium

Markoli B.¹, S. Spaić, NTF, Oddelek za materiale in metalurgijo, Univerza v Ljubljani

Raziskave vpliva dodatka samarija na nastanek in razvoj mikrostrukture zlitine AlSi6CuMg so pokazale predvsem njegov izrazit modifikacijski učinek pri izoblikovanju evtektskega silicija, ki se kaže v udrobnitvi, močnejšem razvejenju in zaobljenju robov silicijevih delcev. V zlitinah s samarijem ti delci med toplotno obdelavo hitreje sferoidizirajo. Poleg tega je opažena povečana nagnjenost vezave magnezija v spojino Al₂CuMg in prisotnost nove ternarne spojine Al₁₀Cu₇Sm₂ kot dodatne utrjevalne komponente. Ugotovljeni modifikacijski in konstitucijski učinki predstavljajo podlago za razlago izboljšanja trdnostnih lastnosti praktičnih zlitin z dodatki samarija.

Ključne besede: Al-zlitine, zlitina AlSi6CuMg z dodatki samarija, mikrostruktura, izločanje

The investigation of samarium influence on the formation and development of microstructure of the AlSi6CuMg alloy has shown its pronounced modification effect of samarium on the formation of eutectic silicon by refinement, stronger branching and rounding of edges of the silicon particles. These particles spheroidize faster during the heat treatment in alloys with samarium. Increased tendency of magnesium binding into Al₂CuMg compound and presence of new ternary Al₁₀Cu₇Sm₂ compound as additional strengthening component has been observed in these alloys. The established modification effect and the effect on constitution of alloy represent the basis for explanation of the strength improvement in applicable alloys with additions of samarium.

Key words: Al-alloys, AlSi6CuMg alloy with samarium additions, microstructure, precipitation

1. Uvod

Zlitina AlSi6CuMg omogoča rešitve zahtevnih konstrukcijskih problemov v sodobni letalski in avtomobilski industriji. Pri tem pridejo do izraza njene visoke trdnostne lastnosti in predpisani raztezki, kar temelji na ustvarjanju ustrezne mikrostrukture zlitine¹. Za to so potrebni določeni zlitinsko-tehnični ukrepi pri izdelavi in obdelavi zlitine, med katere v prvi vrsti sodi izredno učinkovita modifikacija mikrostrukturnih sestavin in faz v izhodni liti mikrostrukturi ter njihova sprememba pri določenih stanjih matrice med nadaljno obdelavo in predelavo zlitine^{2,3,4}. Poleg tehnoloških parametrov z zlitinsko-tehničnimi ukrepi se ustvarijo pogoji za udrobnitev in spremembo oblike predvsem evtektskega silicija z dodatki določenih zlitinsko/modifikacijskih elementov. Modifikacijski elementi so praviloma iz skupine alkalnih, zemnoalkalnih ali elementov redkih zemelj⁵. Uporaba le-teh je zlasti zanimiva, ker se njihov učinek pokaže ne le na

primarni kristalizaciji temveč tudi pri razvoju mikrostrukture med termomehansko obdelavo zlitine. Samarij je eden od tistih elementov redkih zemelj, ki se v zadnjem desetletju pojavlja v sodobnih Al-zlitinah kot modifikacijski in/ali zlitinski element. O njegovem vplivu na konstitucijo in izoblikovanje mikrostrukture v zlitini AlSi6CuMg pa v dostopni strokovni literaturi ni podatkov.

2. Eksperimentalno delo

K osnovni zlitini AlSi6CuMg (A357 + 1,0% Cu) sestave: 6,5% Si; 1,0% Cu; 0,7% Mg; 0,15% Ti in razlika aluminij je dodajan samarij (0,10%, 0,25% in 0,50%) v obliki predzlitine Al-Sm (11% Sm). Zlitine so taljene v zaščitni argonski atmosferi in strjene s hitrostjo ohlajanja 150°C/min. Zlitine so toplotno obdelane v več stopnjah: 1. raztopno žarjenje 4 ure pri 495°C; 2. raztopno žarjenje 4 ure pri 520°C; 3. raztopno žarjenje 40 ur pri 525°C; 4. gašenje v ledeno mrzli vodi; 5. staranje 8 ur pri 170°C.

Z DTA (5°C/min; argon) je zasledovan potek strjevanja zlitin. S svetlobno mikroskopijo so pregledane

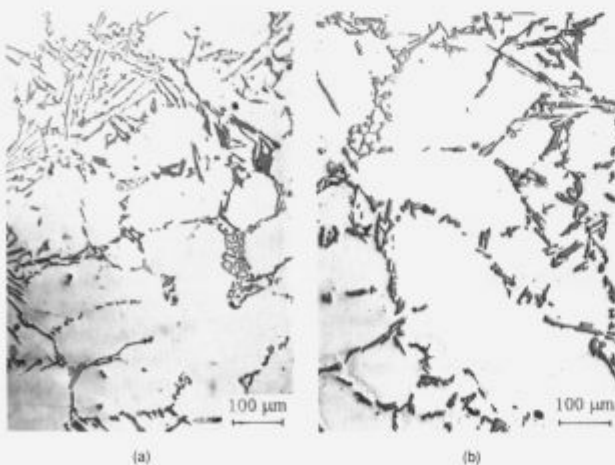
¹ B. MARKOLI, dipl. inž.
NTF Univerza v Ljubljani
Ljubljana, Aškerčeva 12

zlitine v vseh stanjih. Poleg svetlobne mikroskopije so za mikrostrukturno karakterizacijo zlitin uporabljeni: EMA, EDAX, rentgenska fazna analiza in presečna elektronska mikroskopija.

3. Rezultati in diskusija

Raziskave so pokazale, da dodatki samarija zlitini AlSi6CuMg povzročijo opazne spremembe poteka strjevanja. Pri zlitini z 0,5% Sm se pojavi likvidus oz. začetek primarne kristalizacije ($L \rightarrow a_{Al}$) pri višji temperaturi ($\sim 10^\circ\text{C}$), kar velja tudi za binarno reakcijo $L \rightarrow a_{Al} + \text{Si}$, kjer je temperatura začetka reakcije višja za 3°C . Poleg tega na krivulji DTA ni opaziti štirifazne reakcije $L \rightarrow a_{Al} + \text{Si} + \text{Mg}_2\text{Si}$, obseg reakcije $L \rightarrow a_{Al} + \text{Si} + \text{Al}_2\text{Cu}$ pa je izrazito manjši v primerjavi z zlitino brez samarija. Ugotovljene razlike so lahko le posledica spremenjene konstitucije zlitine, kar so potrdile mikrostrukturne raziskave. Tako je ugotovljena zmanjšana nagnjenost vezave magnezija s silicijem v Mg_2Si in pojav pogostejše tvorbe ternarne spojine Al_2CuMg . Podobno se spreminja tudi porazdelitev bakra, ki je povzročena poleg vezave v omenjeno fazo še s tvorbo ternarne spojine $\text{Al}_{10}\text{Cu}_7\text{Sm}_2$. V obeh primerih pomeni, da v zlitinah s samarijem pride do odtegovanja zlitinskih elementov magnezija in bakra ter njune vezave v spojine, ki ne sodijo med značilne heterogene zloge neravnotežno strjenih zlitin brez samarija. Ugotovljeno je, da dodatki samarija poleg omenjenih konstitucijskih sprememb povzročijo tudi neki modifikacijski učinek, ki se kaže predvsem v oplemenitjenju eutektskega silicija.

Značilne facetirane igličaste oz. ploščate tvorbe eutektskega silicija (sl. 1a) se z dodatki samarija spremenijo v vlaknato ali "koralno" morfologijo s povečano nagnjenostjo k razvejenju in izrazitem

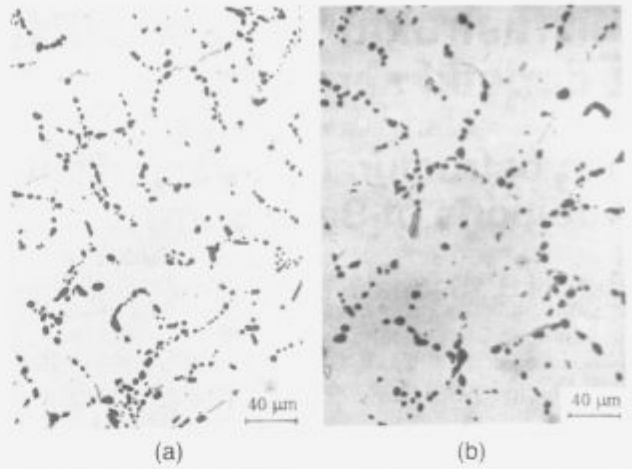


a) brez dodatka samarija; b) z dodatkom 0,5% Sm

Slika 1: Svetlobnomikroskopski posnetki mikrostrukture zlitine AlSi6CuMg v litem stanju

a) without samarium; b) with samarium (0,5%)

Figure 1: Optical micrographs of AlSi6CuMg alloy microstructure in as-cast state



a) brez dodatka samarija; b) z dodatkom 0,5% Sm

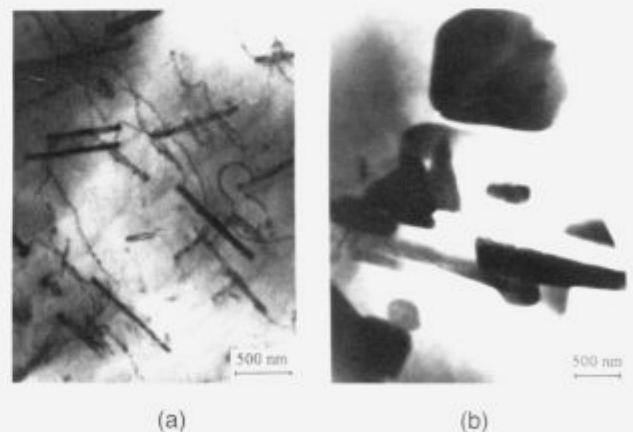
Slika 2: Svetlobnomikroskopski posnetki mikrostrukture zlitine AlSi6CuMg v toplotno obdelanem stanju,

a) without samarium; b) with samarium (0,5%)

Figure 2: Optical micrographs of AlSi6CuMg alloy microstructure after heat treatment,

zaobljenju facetiranih zunanjih robov delcev silicija (sl. 1b). To oplemenitjenje je vsekakor v zvezi z "zastrupljanjem" prednostne smeri rasti eutektskega silicija. Zaradi z modifikacijo povezanega limitacijskega učinka samarija, povzročena povsem sodeč z adsorpcijo njegovih atomov na dvojčičnih ploskvah $\{111\}_{\text{Si}}$, in zavrtu rastjo v prednostni smeri $\langle 211 \rangle_{\text{Si}}$, pride ne le do spremembe morfologije temveč tudi do udrobnitve eutektskega silicija.

Med raztopnim žarjenjem zlitin pride že po 5 urah do popolnega razpada skeleta eutektskega zloga in se začneja koagulacija eutektskega silicija, ki je



a) grobi igličasti izločki faze Al_2CuMg s posameznimi izločki faze Al_3Ti ;

b) iglice faze $\text{Al}_{10}\text{Cu}_7\text{Sm}_2$ in ploščice faze Al_2Cu

Slika 3: TEM posnetki izločkov v zlitini AlSi6CuMg z dodatki 0,5% Sm,

a) coarse needle-shaped precipitates of Al_2CuMg phase with some precipitates of Al_3Ti phase; b) needles of $\text{Al}_{10}\text{Cu}_7\text{Sm}_2$ phase and plates of Al_2Cu phase

Figure 3: TEM micrographs of precipitates in AlSi6CuMg alloy with samarium (0,5%)

končana po 30 urah (sl. 2a). Čeprav je gonilna sila zato spremembo morfologije zmanjšanje površinske energije med α_{Al} -fazo in Si-fazo in zmanjšanje površinske energije silicijeve faze, je ugotovljeno, da ta proces pri zlitinah s samarijem poteka nekaj hitreje (sl. 2b). Temu pripomore v prvi vrsti že v litem stanju s samarijem povzročeno zaobljenje in udrobnitev delcev evtektskega silicija.

Značilnosti vpliva samarija na izhodno lito mikrostrukturo se skladajo z ugotovitvami TEM raziskav toplotno obdelanih zlitin glede vrste, oblike in porazdelitve izločkov v α_{Al} -matrici.

Tako je ugotovljena prisotnost dveh dominantnih izločevalnih faz, in sicer igličaste Al_2CuMg in mesta izločkov faze Al_3Ti (sl. 3a) ter silicijevih izločkov (velikosti pod 15 nm). Poleg tega je ugotovljena prisotnost tako nekoherentnih ploščatih izločkov faze Al_2Cu kot tudi igličastih izločkov ternarne spojine $Al_{10}Cu_7Sm_2$ (sl. 3b).

4. Sklepi

Iz rezultatov mikrostrukturne karakterizacije zlitine AlSi6CuMg sledi, da dodatek samarija vpliva na potek strjevanja in konstitucijo zlitine. Pri tem gre predvsem za izrazit modifikacijski učinek na izobliko-

vanje evtektskega silicija z udrobnitvijo in zaobljenjem ter izrazitejšim razvejenjem silicijevih delcev. Poleg tega je ugotovljena povečana nagnjenost vezave bakra in magnezija v spojino Al_2CuMg in pojav nove ternarne spojine $Al_{10}Cu_7Sm_2$, kot dodatne utrjevalne komponente. Ugotovljeni učinki dodatkov samarija na konstitucijo zlitine AlSi6CuMg in izoblikovanje mikrostrukturnih sestavin pojasnjujejo v praksi ugotovljeno izboljšanje predvsem trdnostih lastnosti.

5. Literatura

- ¹ H. M. Tensi, J. Högerl: Metallographische Gefügeuntersuchungen zur Qualitätssicherung von AlSi-Gussteilen, Metall, 48, 1994, 776-781
- ² W. Reif, D. Subramanyam, W. Schneider: Untersuchungen zur Feinungswirkung und zum Feinungsmechanismus von Antimon am Beispiel der Legierung G-AlSi7Mg, Giessereiforschung, 45, 1993, 9-18
- ³ H. M. Tensi, R. Rösch, C. Xu, S. Spaić: Beeinflussung und Festigkeit einer technischen AlSi-Gusslegierung, Aluminium, 69, 1993, 634-641
- ⁴ D. Apelian, S. Shivkumar, G. Sigworth: Fundamental aspects of heat treatment of cast Al-Si-Mg alloys, AFS Transactions, 97, 1990, 727-742
- ⁵ H. M. Tensi, J. Högerl: Optimiranje trdnostnih lastnosti aluminijevih ulitkov za AIRBUS in AUDI A8, Zbornik referatov 36. livarskega posvetovanja, Portorož, 1995, 192-208