

Vpliv dodatka Al-Ti-B na mikrostrukturo zlitine AlMgSi_{0,5}

The Influence of Al-Ti-B Additive on the Microstructure of AlMgSi_{0.5} Alloy

A. Smolej¹, Oddelek za materiale in metalurgijo, NTF, Univerza v Ljubljani
 P. Panzalović, TALUM, Kidričevo
 M. Jelen, IMPOL, Slovenska Bistrica

Prejem rokopisa - received: 1996-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-04-21

Članek obravnava vpliv različnih dodanih količin predzlitine AlTi5B1 in kontaktnih časov na velikost kristalnih zrn v zlitini AlMgSi_{0,5}. Optimalne dodane količine predzlitine za nastanek drobnozrnate mikrostrukture so v mejah 0,8-1,2 kg AlTi5B1/1 t taline. Velikost kristalnih zrn se spreminja s kontaktnimi časi; učinkovitost AlTi5B1 se zmanjša po približno 80 minutah po dodatku AlTi5B1 v talino. Preizkusi so bili narejeni v laboratorijskih in industrijskih razmerah. Cenejši laboratorijski preizkusi omogočajo dovolj zanesljivo določevanje parametrov modificiranja zlitine AlMgSi_{0,5} z AlTi5B1.

Glavne besede: zmanjševanje zrn, AlMgSi_{0,5}, AlTi5B1

The paper deals with the influence of various additives AlTi5B1 and holding times on the grain size in the AlMgSi_{0.5} alloy. The optimal added quantities needed for the formation of fine grained microstructure are between 0.8 and 1.2 kg AlTi5B1 per tone. The grain size changed with holding times; the efficiency of AlTi5B1 was reduced approximately 80 minutes after the master alloy was added into the melt. The experiments were made in laboratory and industrial conditions. The cheaper laboratory experiments enable to determine the grain-refining parameters for AlMgSi_{0.5} true enough in the comparison to industrial experiments.

Key words: grain refining, AlMgSi_{0.5} alloy, AlTi5B1 master alloy

1 Uvod

Titan in bor dodajamo v taline aluminija in aluminijevih zlitin z namenom, da nastane v polkontinuirno ulitih bramah in drogovih drobnozrnata mikrostruktura¹⁻⁸. Oba elementa dodajamo v obliki predzlitin vrste Al-Ti-B z različnimi masnimi razmerji Ti : B^{9,10}. Titan in bor sta v predzlitinah v obliki intermetalnih spojin Al₃Ti in TiB₂. Mehanizem nukleacije v talini kot posledica dodatkov Al-Ti-B še ni popolnoma pojasnjen. Najpogosteje navedajo teorijo, ki temelji na peritektični reakciji med talino in spojino Al₃Ti^{1,6,11-12}. Ne glede na vlogo Al₃Ti, TiB₂, (AlTi)_xBy, ali celo Ti - karbidov pri procesih nukleacije in strjevanja, ti delci dodatno ne smejo vplivati na kvaliteto valjanih ali iztiskovanih polizdelkov. Trdi, nepopni delci na osnovi bora morajo biti v drobni obliki porazdeljeni v matrici. Prisotnost teh delcev z velikostjo nad 5 μm je v mnogih primerih zelo škodljiva⁴. Ustrezna mikrostruktura in tehnološke lastnosti polizdelkov so zato odvisne od optimalnih količin dodanih predzlitin Al-Ti-B, ki so značilne za tehnični aluminij z različnimi čistočami, kakor tudi za posamezne aluminijeve zlitine⁷. Učinek predzlitin vrste Al-Ti-B na zmanjšanje kristalnih zrn je poleg količine in sestave osnovnega materiala odvisen tudi od temperature taline, načina dodajanja predzlitine, kontaktnega časa, hitrosti ulivanja in strjevanja. Vplivi dodatkov Al-Ti-B in naštetih parametrov na velikost kristalnih zrn so bili obsežno raziskani predvsem

za tehnični aluminij¹⁻¹². Čeprav se te predzlitine že dolgo uporabljajo v industrijski praksi, pa obstajajo še vedno problemi z optimalnimi pogoji ulivanja in količinami dodanih predzlitin. Slednje velja predvsem za aluminijeve zlitine.

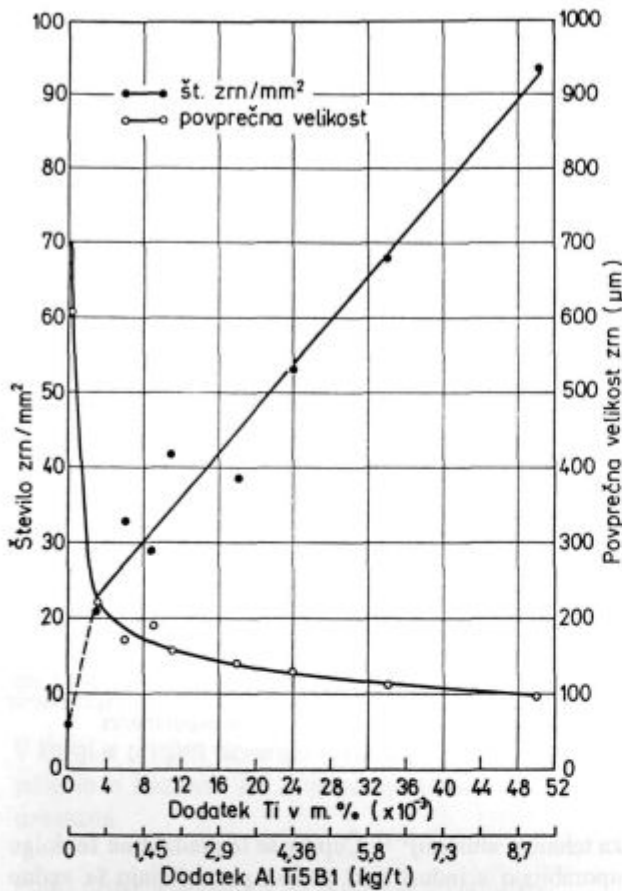
To delo obravnava s praktičnega vidika vpliv različnih dodanih količin predzlitine AlTi5B1 in kontaktnih časov na velikost kristalnih zrn zlitine AlMgSi_{0,5}. Ta zlitina se veliko uporablja za iztiskovanje različnih profilov, palic in ceví. Preizkusi so bili narejeni v laboratorijskih in industrijskih razmerah in ne zajemajo teoretične obravnave procesov nukleacije.

2 Eksperimentalno delo

Vpliv različnih količin AlTi5B1 in kontaktnih časov na velikost kristalnih zrn v zlitini AlMgSi_{0,5} je bil določen s tremi eksperimentalnimi postopki:

Postopek 1: Zlitina AlMgSi_{0,5} (0,42 m.% Si, 0,15 m.% Fe, 0,45 m.% Mg, 0,007 m.% Ti) z vsakokratno maso 1500 g je bila staljena v srednjefrekvenčni indukcijski peči. Predzlitina AlTi5B1 (5,5 m.% Ti, 1,1 m.% B) v obliki ingota je bila dodana v talino 20 minut pred ulivanjem v laboratorijsko kokilo. Dodane količine so ustrezale nominalnemu povečanju titana v zlitini od 0,004 do 0,2 m.%. Dejanske vsebnosti titana so v povprečju odstopale za približno 12% od predvidene vsebnosti. Namen preizkusa je bil ugotovitev optimalnih količin AlTi5B1 za nastanek drobnozrnate mikrostrukture. Dejanski opis preizkusa je podan v predhodni objavi⁷.

¹ Prof. dr. Anton SMOLEJ
 NTF-OMM, Univerza v Ljubljani
 Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana



Slika 1: Število zrn/mm² in povprečna velikost zrn v odvisnosti od vsebnosti dodanega titana oziroma količine predzlitine AlTi5B1 (ingot) v AlMgSi0,5. Rezultati veljajo za *postopek 1*
 Figure 1: Number of grains per mm² and an average grain size in AlMgSi0.5 depending on the added Ti content, and the quantity of AlTi5B1 master alloy (ingot) respectively. The results are valid for experimental procedure 1

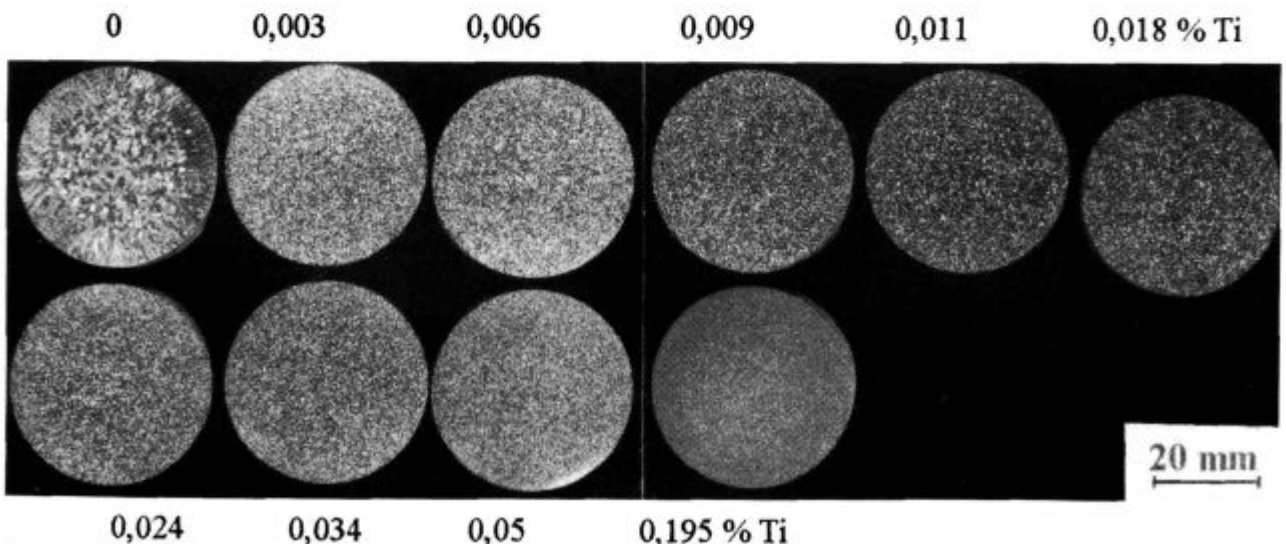
Postopek 2: Zlitina AlMgSi0,5 (0,46 m.% Si, 0,14 m.% Fe, 0,45 m.% Mg, 0,013 m.% Ti) je bila izdelana v industrijskih razmerah v livarni TALUM-a. Predzlitina AlTi5B1 v obliki žice in ingotov je bila dodana v talino s potapljanjem v ulivni peči. Dodane količine so bile od 0,5 do 2 kg AlTi5B1/1 t taline. Kontaktni časi so bili do 265 minut. Taline so bile ulite po polkontinuirnem postopku v drogove s premerom 195 mm. Kvantitativna metalografska analiza kristalnih zrn je bila narejena na stalnih geometrijskih mestih ulitih drogov. Namen preizkusa je bil določitev dodanih količin predzlitine in kontaktnih časov na velikost kristalnih zrn pri dejanskih industrijskih razmerah ulivanja.

Postopek 3: Industrijsko izdelana talina je bila vzporedno ulita v laboratorijsko kokilo, ki je bila ogreta na 200°C. Vsako ulivanje je potekalo v trenutku, ko je bila odlita polovica dolžine droga. Namen preizkusa je bil, da se primerjalno ugotovi vpliv količine predzlitine in kontaktnih časov na velikost zrn pri laboratorijskih in dejanskih industrijskih razmerah.

3 Rezultati preiskav in diskusija

V zlitini AlMgSi0,5 nastanejo po *postopku 1* kristalna zrna z velikostjo pod 220 μm pri dodatku 0,55 kg AlTi5B1/1 tona taline, kar odgovarja povečani vsebnosti titana v zlitini za 0,003 m.% (sliki 1 in 2). Ta dodatek zmanjša povprečno velikost zrn za približno 3-krat (Tabela 1).

Pri industrijskih preizkusih so bili dodatki predzlitin v obliki žic in ingotov od 0,5 do 2,0 kg AlTi5B1/1 t taline. Te količine so bile izbrane na osnovi laboratorijskih preizkusov (*postopek 1*), katerih rezultati so omogočili manjši obseg zahtevnejših industrijskih preizkusov. Na sliki 3 so primerjalno prikazane povprečne



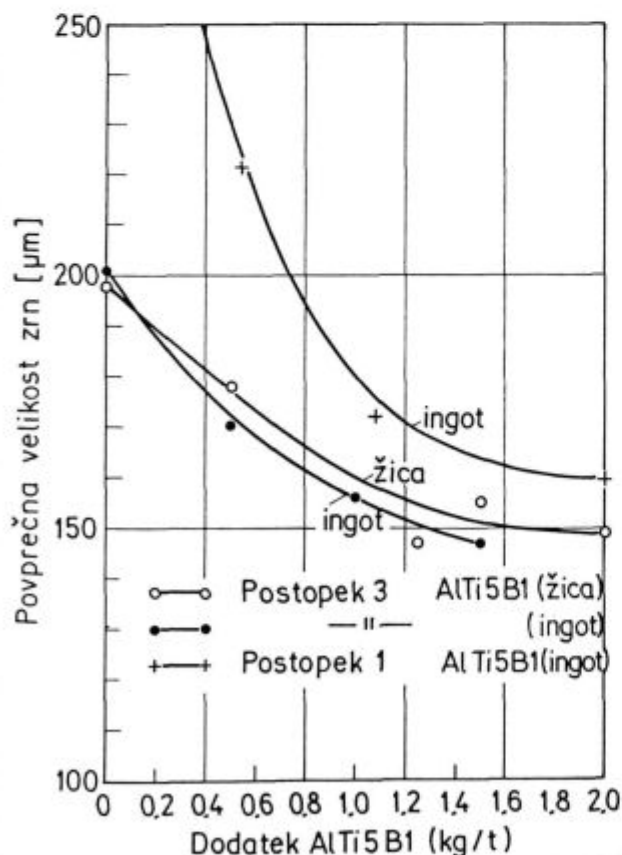
Slika 2: Makrostruktura ulitkov AlMgSi0,5 v odvisnosti od vsebnosti dodanega titana. Rezultati veljajo za *postopek 1*
 Figure 2: Microstructure of AlMgSi0.5 castings depending on the added Ti content. The results are valid for the experimental procedure 1

velikosti kristalnih zrn v odvisnosti od dodanih količin AlTi5B1 za postopka 1 in 3. Velikost kristalnih zrn se v vseh primerih najbolj zmanjša pri dodatkih do približno 1 kg AlTi5B1/t taline. Poteki krivulj so podobni za oba postopka. Razlika v velikosti kristalnih zrn med obema postopkoma je posledica različnih vsebnosti titana v izhodnih preizkusnih zlitinah (postopek 1: 0,007 m.% Ti; postopek 3: 0,016 m.% Ti) in različnih temperaturah ulivanja (postopek 1: 720°C; postopek 3: 675°C). Največja potrebna količina za nastanek drobnih kristalnih zrn je 0,8 do 1,2 kg AlTi5B1/t taline, kar odgovarja povečani vsebnosti titana za 0,005 do 0,007 m.%. Nadaljnji dodatki neznatno vplivajo na zmanjšanje zrn.

Tabela 1: Nekatere vrednosti števila zrn/mm² in povprečnih velikosti zrn v odvisnosti od vsebnosti dodanega titana v AlMgSi0,5 (postopek 1)

Table 1: Some values of number of grains per mm², and of average grain size depending on the added Ti content in AlMgSi0,5 alloy

Ti m %	AlTi5B1 kg/1 t taline	Število zrn/mm ²	Velikost zrn μm
0,0	0,0	6	607
0,003	0,55	21	221
0,006	1,1	33	172

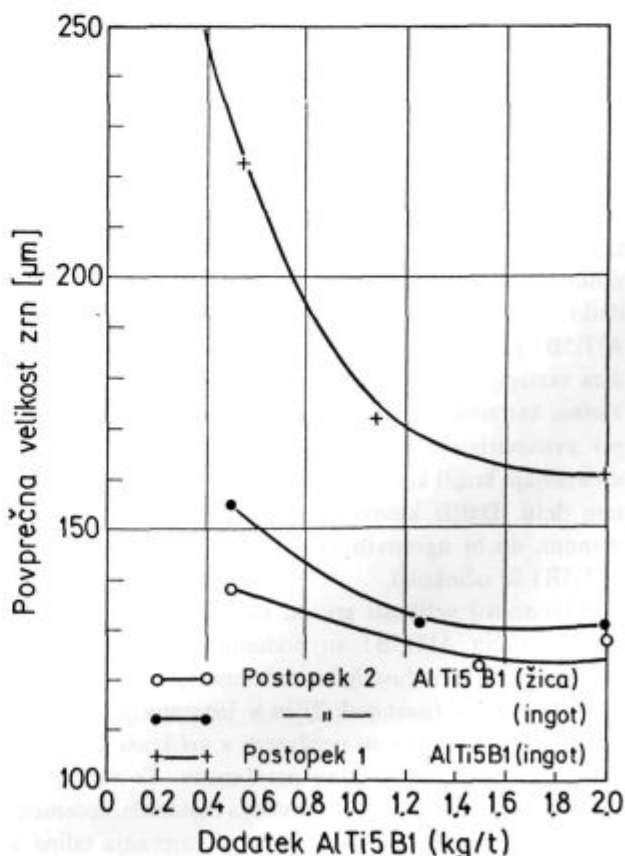


Slika 3: Povprečna velikost zrn zlitine AlMgSi0,5 v odvisnosti od dodanih količin AlTi5B1 za postopka 1 in 3

Figure 3: Average grain size in AlMgSi0,5 depending on the added AlTi5B1 quantities for the procedures 1 and 3

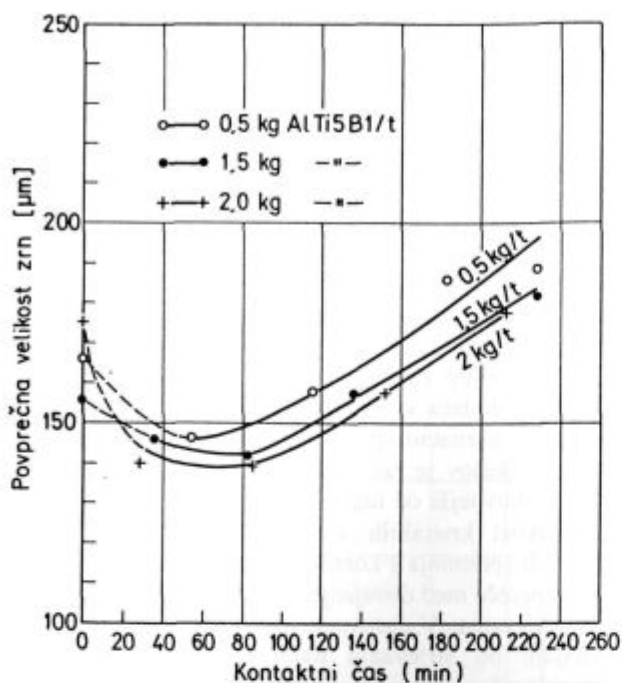
Vpliv dodatkov AlTi5B1 na velikost zrn v polkontinuirno ulitih drogovi je prikazan na **sliki 4**. Kristalna zrna se pri enakih dodanih količinah manjšajo na enak način kot pri laboratorijskih preizkusih. Velikost zrn v drogovi je manjša v primerjavi z laboratorijskimi ulitki zaradi drugačnih ulivnih pogojev in načinov strjevanja, ki se z laboratorijskimi preizkusi ne dajo simulirati. Pri tehničnem aluminiju je bilo merilo za oceno učinkovitosti modificiranja velikost zrn 220 μm². Zrna zlitine, ki je bila izdelana v industrijskih razmerah, imajo to velikost že brez dodatkov AlTi5B1. Merilo za optimalno količino AlTi5B1 je bilo zato prevojno področje v krivulji velikost zrn - dodana količina AlTi5B1, kjer se zmanjšanje zrn začne neznatno spreminjati. Iz rezultatov industrijskih preizkusov je razvidno, da je predzlitina v obliki žice učinkovitejša od ingota (**Slika 4**).

Velikost kristalnih zrn se pri vseh preizkusnih razmerah spreminja s kontaktnim časom (**Slika 5**). To je čas, ki poteče med dovajanjem Al-Ti-B v talino in začetkom strjevanja. V časovnem intervalu 30 do 80 minut nastajajo po strjevanju najmanjša zrna, ki so pri uporabljenih preizkusnih razmerah velikostnega reda 140 μm. Po daljših kontaktnih časih nastajajo večja kristalna zrna pri vseh dodanih količinah predzlitine. Spremembe



Slika 4: Povprečna velikost zrn v odvisnosti od dodanih količin AlTi5B1 v polkontinuirno ulitih drogovi AlMgSi0,5 (postopek 2) in laboratorijskih ulitkih (postopek 1)

Figure 4: Average grain size depending on the added quantities of AlTi5B1 into the DC cast logs of AlMgSi0,5 (procedure 2) and into laboratory castings (procedure 1)

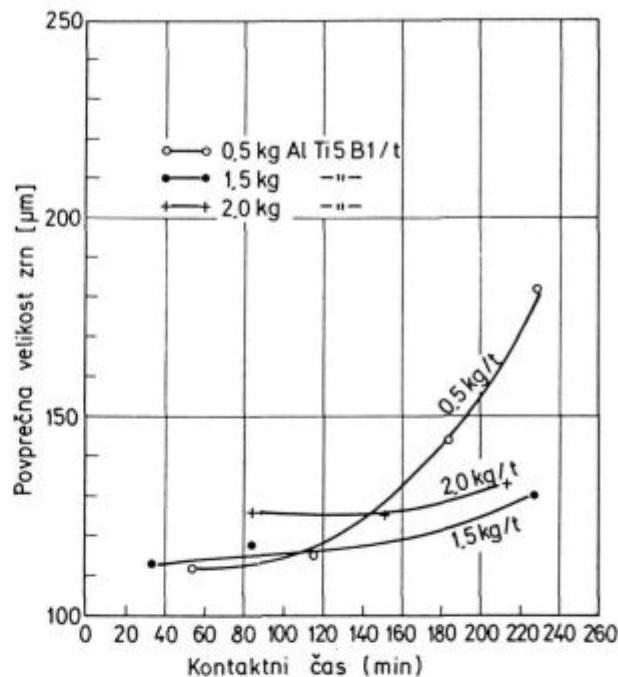


Slika 5: Velikost zrn zlitine AlMgSi_{0,5} v odvisnosti od kontaktnih časov pri različnih dodanih količinah AlTi₅B₁ (žica). Preiskusi so bili narejeni z ulivanjem industrijsko izdelane taline v laboratorijsko kokilo (postopek 3)

Figure 5: Grain size in AlMgSi_{0.5} depending on the holding times at various added quantities of AlTi₅B₁ (wire). The experiments were made by casting of the industrially made melt into laboratory mold (procedure 3)

velikosti zrn v odvisnosti od kontaktnih časov so v polkontinuirno ulitih drogovih podobne kot v laboratorijskih ulitkih. Kristalna zrna se večajo po 80 do 100 minutah. Naraščanje zrn je manj izrazito kot v laboratorijskih ulitkih, kar velja predvsem za preizkušance z večjimi dodatki AlTi₅B₁ (slika 6). Zmanjšanje učinkovitosti AlTi₅B₁ po daljših kontaktnih časih je domnevno posledica raztapljanja titanovih intermetalnih delcev iz predzlitine, kar zmanjša število heterogenih kalij. V praksi se pri avtomatiziranem potapljanju predzlitine v talino uporabljajo krajši kontaktni časi, kot so bili uporabljeni v tem delu. Daljši kontaktni časi so bili izbrani z namenom, da bi ugotovili zgornjo časovno mejo, ko je AlTi₅B₁ še učinkovit.

Odvisnosti velikosti zrn od kontaktnih časov in dodanih količin AlTi₅B₁ so podobne za laboratorijsko (postopek 1) in industrijsko izdelane taline, ki so bile ulite v drogove (postopek 2) in v laboratorijsko kokilo (postopek 3). Razlike so predvsem v velikosti kristalnih zrn za posamezne skupine preizkusov. Te razlike so posledica različnih sestav osnovnega materiala, spremenljivih ulivnih parametrov in načinov strjevanja taline v laboratorijski kokili in industrijski kokili - kristalizatorju. Simulacija taljenja, modificiranja, ulivanja in strjevanja v laboratorijskih razmerah omogoča dovolj zanesljivo določevanje parametrov modificiranja za nastanek optimalne mikrostrukture zlitine AlMgSi_{0,5} in



Slika 6: Velikost zrn zlitine AlMgSi_{0,5} v odvisnosti od kontaktnih časov pri različnih dodanih količinah AlTi₅B₁ (žica). Preiskusi so bili narejeni s polkontinuirnim ulivanjem taline v drogove (postopek 2)

Figure 6: Grain size in AlMgSi_{0.5} depending on the holding times at various added quantities of AlTi₅B₁ (wire). The experiments were made by DC casting industrially made melt into the logs (procedure 2)

tudi drugih zlitin v primerjavi s preizkusi modificiranja v industrijskih razmerah, ki so dragi in dolgotrajni.

4 Sklepi

Določen je bil vpliv dodatkov AlTi₅B₁ in kontaktnih časov na mikrostrukturo zlitine AlMgSi_{0,5} pri laboratorijskih in industrijskih razmerah dela. Glavni rezultati preiskave so naslednji:

1. Velikost kristalnih zrn v zlitini se učinkovito zmanjšuje le do dodatka približno 1 kg AlTi₅B₁/t taline.
2. Velikost kristalnih zrn se spreminja s kontaktnimi časi. Kristalna zrna naraščajo po kontaktnih časih, ki so daljši od 80 minut.
3. Odvisnosti velikosti kristalnih zrn od dodanih količin AlTi₅B₁ in kontaktnih časov so podobne za laboratorijsko in polkontinuirno ulito zlitino. Simulacija modificiranja pri laboratorijskih razmerah omogoča dovolj zanesljivo določevanje parametrov modificiranja za nastanek optimalne mikrostrukture zlitine AlMgSi_{0,5} in tudi drugih aluminijevih zlitin.

5 Literatura

- ¹G. P. Jones, J. Pearson: Factors affecting the grain-refinement of aluminium using titanium and boron additives, *Metallurgical Transactions*, 7B, 1976, 223-234

- ² J. Pearson, M. E. J. Birch: Effect of the titanium : boron ratio on the efficiency of aluminium grain-refining alloys, *Journal of Metals*, 31, 1979, 11, 27-31
- ³ L. Backerud: How does a good grain refiner work?, *Light Metal Age*, oktober 1983, 6-12
- ⁴ E. Lossack: Einsatz von AlTiB-Vorlegierungen zur Al-Kornfeinung und damit verbundene Qualitätskontrollen, *Erzmetall*, 30, 1977, 6, 243-247
- ⁵ A. Banerji, W. Reif: Present Situation of grain refinement and its effect on the product quality, *Metall*, 41, 1987, 4, 393-398
- ⁶ A. J. Cornish: The influence of boron on the mechanism of grain refinement in dilute aluminium-titanium alloys, *Metal Science*, 19, 1975, 477-484
- ⁷ A. Smolej, P. Panzalović, M. Jelen: Vpliv dodatkov Al-Ti-B in pogojev ulivanja na velikost kristalnih zrn aluminija, *Kovine, zlitine, tehnologije*, 30, 1996, 3-4, 255-258
- ⁸ I. M. Mahrta, A. Banerji: Al - Gefügeoptimierung mit Kornfeinungsmitteln beim Bandgiessverfahren, *Metall*, 50, 1996, 10, 636-642
- ⁹ F. R. Mollard, W. G. Lidman, J. C. Bailey: Systematic selection of optimum grain refiner in the aluminium cast snop, *Technical infosheet*, N. V. Kawecki Billiton Metaalindustrie, Arnhem, Nizozemska
- ¹⁰ M. J. Vader, J. Noordegraaf, E. Klein Nagelvoort: Interrelations between aluminium grain refining by means of aluminium titanium boron alloys and the number of growth centers, *Kawecki-Billiton Master Alloys N. V. Arnhem*, Nizozemska, str. 1-10
- ¹¹ I. J. Polmear: *Light alloys*, Arnold, London, 1995
- ¹² L. Arberg, L. Backerud, H. Klang: Grain refinement of aluminum 1, 2, 3, *Metals Technology*, 9, Part 1, 1982, 1-17