

Interakcija modifikacijske zlitine AlTi5B1 s talino zlitine AlCu6PbBi

Interaction of the AlTi5B1 Grain-Refining Alloy with the Melt of the AlCu6PbBi-Alloy

F. Zupanič¹, Fakulteta za strojništvo, Maribor
S. Spaić, Naravoslovno tehniška fakulteta, Ljubljana
A. Križman, Fakulteta za strojništvo, Maribor

Prejem rokopisa - received: 1995-10-04; sprejem za objavo - accepted for publication: 1996-01-22

V delu je raziskan potek taljenja in raztapljanja modifikacijske zlitine AlTi5B1 v talini zlitine AlCu6PbBi ter način njenega udobnilnega delovanja. Taljenje in raztapljanje modifikacijske zlitine se prednostno začne na mestih dobrega kontakta med modifikacijsko in osnovno zlitino ter v področjih z nizkotaljivimi mikrostrukturnimi sestavinami v modifikacijski zlitini. Med raztapljanjem difundirata titan in bor iz modifikacijske zlitine v osnovno talino, baker in drugi elementi iz zlitine AlCu6PbBi pa v nasprotni smeri. Fazi Al₃Ti in (Ti,Al)B₂, ki se nahajata v prehodni coni, se raztapljata. Med strjevanjem nastanejo enakoosna kristalna zrna matrice α_{Al}, ki so na meji AlTi5B1/prehodna cona velika od 10 do 30 μm ter preko 1 mm v nedotaknjeni talini AlCu6PbBi. Hkrati z naraščanjem velikosti kristalnih zrn se spreminja tudi njihova morfologija od poligonalne k dendritni. V prehodni coni, v področjih z nadperitektično koncentracijo titana, večinoma sproži kristalizacijo faza Al₃Ti, medtem ko so v področjih s podperitektično vsebnostjo titana kristalizacijski centri po vsej verjetnosti delci (Ti,Al)B₂.

Ključne besede: AlTi5B1, Al-Cu, taljenje, raztapljanje, udobnjevanje

The course of melting and of dissolution of the AlTi5B1 grain-refining alloy in the melt of the AlCu6PbBi alloy has been investigated. The kind of possible nucleating agents has also been determined. The melting and the dissolution processes begin preferentially in the regions of good contact between AlTi5B1 and AlCu6PbBi as well as in the regions where low-melting microstructural constituents are present in the grain-refining alloy. During the dissolution titanium and boron are diffusing from the grain refining alloy toward the AlCu6PbBi alloy, while copper and other elements from AlCu6PbBi are diffusing in the opposite direction. The Al₃Ti and (Ti,Al)B₂ particles, present in the transient region, are being dissolved. After solidification increases the size of the equiaxed α_{Al} grains from 10-30 μm at the AlTi5B1/transient-region interface to more than 1 mm in the unrefined AlCu6PbBi alloy. The morphology of the grains is simultaneously changed from polygonal to dendritic one. In the regions of hyperperitectic concentration of titanium, Al₃Ti particles usually act as grain-refining agents, but in the regions of hypoperitectic concentration of titanium (Ti,Al)B₂-borides are the most probable nucleating agents.

Key words: AlTi5B1, Al-Cu, melting, dissolution, grain-refinement

1 Uvod

Med raztapljanjem modifikacijskih zlitin v osnovni talini potekajo številni procesi, ki lahko odločilno vplivajo na njihovo učinkovitost. To so prenos toplote in snovi iz taline v modifikator in obratno, dispergiranje in raztapljanje faz modifikacijske zlitine v osnovni talini, možen je tudi in-situ nastanek faz med elementi modifikacijske in osnovne zlitine^{1,2}. V dostopni literaturi je le malo objav, ki se ukvarjajo s to tematiko, ker je eksperimentalno spremljanje procesov v talini med raztapljanjem modifikatorjev precej zahtevno.

Pri dosedanjih raziskavah smo razvili posebno raziskovalno metodo, s katero lahko spremljamo potek taljenja in raztapljanja modifikacijskih zlitin takoj po njihovem dodatku v osnovno talino ter dobimo tudi vpogled v verjetni način njihovega učinkovanja^{3,4,5}. Cilj tega dela je raziskati potek taljenja in raztapljanja modifikacijske zlitine AlTi5B1 v talini AlCu6PbBi, kakor tudi način njenega udobnilnega delovanja.

2 Eksperimentalno delo

Pri raziskavah je bila uporabljena komercialna zlitina AlTi5B1 v obliki žice s premerom 10 mm. Dejanska kemijska sestava te zlitine je bila: 4,9% Ti, 0,9% B, 0,04% Si, 0,18% Fe, drugo Al. Zlitina AlCu6PbBi je imela naslednjo sestavo: 4,38% Cu, 0,49% Pb, 0,40% Bi, 0,01% Sn, 0,321% Fe, 0,01% Mn, 0,033% Zn, 0,625% Si, 0,003% Mg, 0,01% Ti, drugo Al.

Pri preizkusih raztapljanja so bile iz žice modifikacijske zlitine izrezane rezine z dimenzijami Ø 9 x 0,1-3 mm in položene na dno grafitne epruvete. Grafitna epruveta z rezino AlTi5B1 je bila najprej segreta na 600°C ter nato potopljena v talino zlitine AlCu6PbBi s temperaturo 750°C tako, da je bil utor za dotok taline tik nad njenim nivojem. Pri tem se rezina ni smela raztaliti. Zato je bil čas predgrevanja največ 10 s, kar je bilo najbolj odvisno od debeline rezine Al-Ti-B. Po predgretju je bila epruveta za določen kontaktni čas, ki je bil 1-30 s, popolnoma potopljena v talino AlCu6PbBi. Po preteku kontaktnega časa je bila epruveta ohlajena v vodi.

Izvedbi preizkusov raztapljanja je sledila navadna mehanska metalografska priprava in jedkanje vzorcev s Kellerjevim reagentom. Mikrostruktura vzorcev je bila preiskana s svetlobnim mikroskopom ter vrstičnim elek-

¹ Mag. Franc ZUPANIČ, dipl.inž.met.
Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
2000 Maribor, Smetanova 17

tronskim mikroskopom, opremljenim z energijsko disperzijskim analizatorjem rentgenskega sevanja (EDAX).

3 Rezultati in diskusija

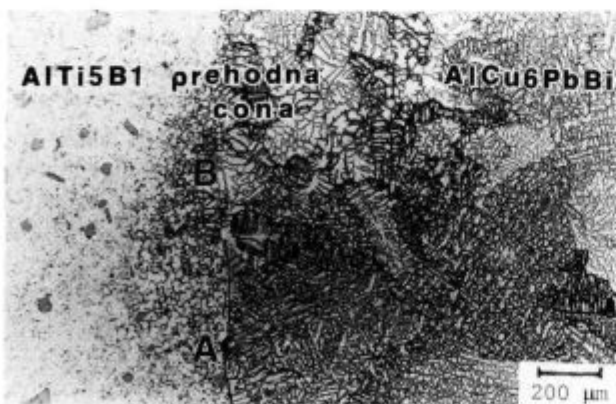
Ob začetnem kontaktu s talino je modifikacijska zlitina še v trdnem stanju. Ob dotoku toplote iz taline se prične modifikacijska zlitina segrevati in taliti. Potekati začne tudi vzajemni difuzijski in konvektivni prenos snovi med modifikacijsko zlitino in osnovno talino. Proces taljenja in raztapljanja ne potekajo enakomerno po celotni stični površini rezina AlTi5B1/osnovna talina (slika 1). Raziskave vzorcev po zelo kratkih kontaktnih časih (1-2 s) so pokazale, da za ta pojav obstaja več vzrokov: nepopolno omočenje rezine AlTi5B1 s talino, mikronehomogenosti v modifikacijski zlitini, prisotnost oksidnih ali nitridnih plasti na površini modifikacijske zlitine in taline, in se skladajo z ugotovitvami v prejšnjih delih^{4,5}.

Po določenem kontaktnem času se ustvarijo na mestu kontakta med modifikacijsko zlitino in talino AlCu6PbBi tri področja (slika 1):

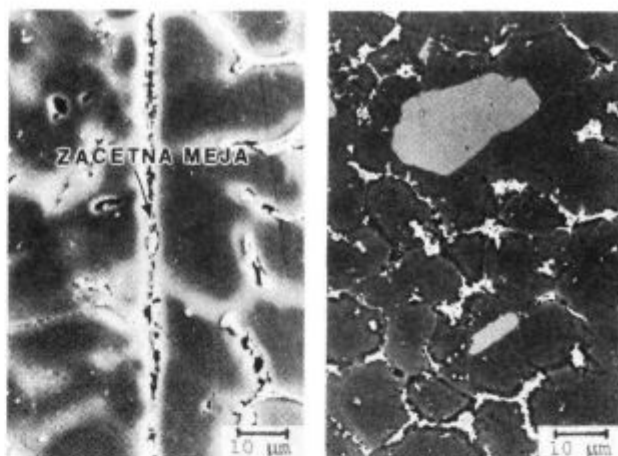
- področje 1: pretaljena modifikacijska zlitina AlTi5B1
- področje 2: prehodna cona
- področje 3: nedotaknjena osnovna zlitina AlCu6PbBi.

V področju pretaljene modifikacijske zlitine AlTi5B1 nastanejo pri strjevanju okoli 10 μm velika kristalna zrna α_{Al}. V središčih kristalnih zrn so v glavnem prisotni delci faze Al₃Ti, medtem ko so boridi predvsem na mejah kristalnih zrn. V področju 1 je število kristalnih zrn mnogo večje od števila aluminidnih delcev, zato verjetno nastane znatno število zrn α_{Al} tudi na boridih.

Prehodna cona predstavlja interakcijsko področje med modifikacijsko zlitino in osnovno talino. Titan in bor difundirata skozi prehodno cono iz modifikacijske v osnovno talino, baker pa v nasprotni smeri. Fazi Al₃Ti in (Ti,Al)B₂ se raztapljata. Koncentraciji titana in bora se najhitreje zmanjšujeta na začetni meji rezina AlTi5B1/



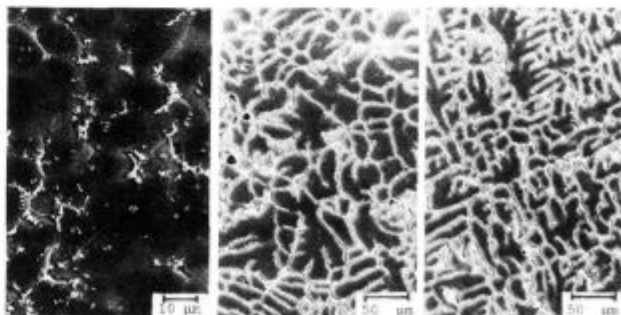
Slika 1: Področje interakcije med AlTi5B1 in AlCu6PbBi (SM)
Figure 1: The interaction region between AlTi5B1 grain-refining alloy and AlCu6PbBi-alloy (LM)



Slika 2: Prehodna cona a) na mestu slabega in b) dobrega kontakta med modifikacijsko in osnovno talino (REM)

Figure 2: The transient region a) at the place of poor and b) of good contact between the AlTi5B1 grain-refiner and the AlCu6PbBi-melt

talina AlCu6PbBi. Tam se tudi delci Al₃Ti in (Ti,Al)B₂ najintenzivneje raztapljajo. Nekatere delce Al₃Ti in (Ti,Al)B₂ odnesejo mikrokonveksijski tokovi v podpodročje osnovne taline. Večina delcev se ob kontaktu s svežo talino AlCu6PbBi hitro raztopi. Tako se koncentraciji titana in bora, kakor tudi gostota ter velikost neraztopljenih delcev Al₃Ti in (Ti,Al)B₂ zmanjšujejo od področja 1 preko prehodne cone do področja 3, koncentracija bakra pa narašča. Neke razlike se kažejo med področji z dobrim in slabim stikom med modifikacijsko zlitino in osnovno talino. V področju s slabim kontaktom je vidna začetna mejna površina AlTi5B1/AlCu6PbBi (A na sliki 1 in slika 2a). V prehodni coni tega področja sta koncentracijska gradienta predvsem bakra in titana v prehodni coni zelo ostra, prehodna cona je široka le ~0.5 mm. To kaže, da poteka prenos snovi pretežno z difuzijo. V področju z dobrim kontaktom (B na sliki 1 in slika 2b) je prehodna cona široka tudi nekaj mm, koncentracijska gradienta titana in bakra sta precej manjša, koncentraciji pa tudi precej nihata. Zaradi neenakomerne porazdelitve prisotnih elementov in heterogenih delcev se



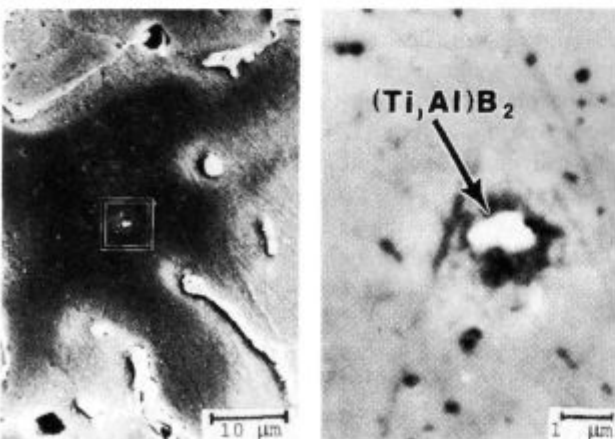
Slika 3: Mikrostrukture v prehodni coni v področju dobrega stika med modifikacijsko zlitino (MZ) in osnovno talino AlCu6PbBi (OT) a) tik ob področju 1, b) 100 μm pred začetno mejo MZ/OT in c) 2 mm pred začetno mejo MZ/OT (REM)

Figure 3: Microstructure of the transient region at the place of good contact between AlTi5B1 grain-refiner and AlCu6PbBi-melt a) close to the region 1, b) 100 μm and c) 2 mm in front of the initial interface between grain-refiner and AlCu6PbBi-melt (SEM)

skozi prehodno cono spreminja mikrostruktura, ki nastane pri strjevanju. V prehodni coni ob meji s področjem 1 so poligonalna kristalna zrna α_{Al} velika 10-30 μm (slika 3a). Na tem mestu sta gostota in velikost delcev Al_3Ti ter $(Ti,Al)B_2$ le malo manjši kot v področju 1. Na mejah kristalnih zrn je opazna obogatitev z bakrom, mestoma je prisoten tudi neravnotežni evtektik ($\alpha_{Al} + Al_2Cu$). Z oddaljevanjem od področja 1 se velikost in število delcev Al_3Ti ter $(Ti,Al)B_2$, pa tudi koncentraciji titana ter bora zmanjšujejo, koncentracija bakra pa narašča. Na začetni meji $AlTi5B1/AlCu6PbBi$ naraste velikost kristalnih zrn tudi do premera 50 μm (slika 2b). Njihova morfologija postane dendritna. V meddendritnih prostorih je vedno več neravnotežnega evtektika ($\alpha_{Al} + Al_2Cu$), mestoma se pojavlja tudi evtektik ($\alpha_{Bi} + \beta_{Pb}$). Dosedanje raziskave so pokazale, da se delci Al_3Ti v večini primerov nahajajo v središčih kristalnih zrn (slika 2b), vendar je število ugotovljenih delcev Al_3Ti precej manjše od števila kristalnih zrn matrice. Tako je utemeljena domneva, da tudi faza $(Ti,Al)B_2$ učinkuje kot kristalizator, čeprav se delci te faze praviloma nahajajo na mejah kristalnih zrn.

V področju pred začetno mejo med modifikacijsko in osnovno zlitino koncentracija bakra hitro naraste do nominalne vrednosti v zlitini $AlCu6PbBi$. V tem področju s hipoperitektično koncentracijo titana smo v središčih kristalnih zrn odkrili le delce $(Ti,Al)B_2$ (slika 4a,b), medtem ko za prisotnost delcev Al_3Ti ni zanesljivih dokazov. Do podobnega sklepa sta prišla tudi Johnson in Bäckerud⁶, ki sta raziskovala kristalizacijske centre v čistem aluminiju ob dodatku različnih modifikacijskih zlitin tipa Al-Ti-B. Koncentracija bakra hitro doseže enako vrednost kot v področju 3, zato imajo kristalna zrna izrazito dendritno morfologijo z dobro razvitimi sekundarnimi in terciarnimi dendritnimi vejami (slika 3b). Velikost kristalnih zrn doseže že okoli 100 μm .

V nedotaknjeni osnovni talini so enakoosna kristalna zrna α_{Al} , navadno večja kot 1 mm. Ta kristalna zrna imajo dendritno morfologijo (slika 3c). V meddendritnih



Slika 4: Verjetni kristalizacijski center $(Ti,Al)B_2$
Figure 4: Possible crystallisation centre $(Ti,Al)B_2$

prostorih je navadno prisoten neravnotežni evtektik $\alpha_{Al} + Al_2Cu$ ter kroglice evtektika ($\alpha_{Bi} + \beta_{Pb}$).

Interakcija modifikacijske zlitine $AlTi5B1$ s talino $AlCu6PbBi$ je podobna njeni interakciji s talinama zlitin Al 99,99 in sintetično izdelane zlitine Al-Cu. To pomeni, da manjše količine elementov v tržno dostopni zlitini $AlCu6PbBi$ le malo vplivajo na način delovanja in s tem na učinkovitost modifikacijske zlitine $AlTi5B1$.

4 Sklepi

V delu je obravnavano taljenje in raztapljanje modifikacijske zlitine $AlTi5B1$ v talini zlitine $Al6CuPbBi$. Rezultati raziskav so pokazali, da se taljenje in raztapljanje modifikacijske zlitine $AlTi5B1$ pričneta na nekaterih mestih hitreje kot drugod zaradi nepopolnega omočenja rezine $AlTi5B1$ s talino $AlCu6PbBi$ in zaradi prisotnosti nizkotaljivih mikrostrukturnih sestavin v modifikacijski zlitini, kar je v skladu z rezultati predhodnih raziskav³⁻⁵.

V začetni stopnji raztapljanja $AlTi5B1$ v talini zlitine $AlCu6PbBi$ se izoblikujejo tri področja:

- področje staljenega Al-Ti-B
- prehodna cona, v kateri poteka vzajemna difuzija elementov iz modifikacijske in osnovne zlitine ter raztapljanje delcev Al_3Ti in $(Ti,Al)B_2$
- področje nemodificirane zlitine $AlCu6PbBi$.

Zaradi difuzije titana in bora iz modifikacijske zlitine v talino $AlCu6PbBi$ in bakra v nasprotni smeri ter zaradi raztapljanja faz Al_3Ti in $(Ti,Al)B_2$ se skozi prehodno cono - tj. od področja $AlTi5B1$ do področja nemodificirane taline $AlCu6PbBi$ - zmanjšuje koncentracija elementov iz modifikacijske zlitine ter pogostost delcev Al_3Ti in $(Ti,Al)B_2$, medtem ko koncentracija bakra narašča. Velikost enakoosnih kristalnih zrn α_{Al} narašča od 10 do 30 μm na meji Al-Ti-B/prehodna cona do več kot 1 mm v področju Al-Cu. Hkrati z naraščanjem velikosti kristalnih zrn se spreminja tudi njihova morfologija iz poligonalne v dendritno. Pri raziskavah notranjosti kristalnih zrn je ugotovljeno, da so v področju z nadperitektično koncentracijo titana kristalizatorji predvsem delci Al_3Ti , v področjih s podperitektično sestavo pa po vsej verjetnosti tudi boridi $(Al,Ti)B_2$.

Interakcija modifikacijske zlitine $AlTi5B1$ s talino $AlCu6PbBi$ je zelo podobna njeni interakciji s talinama zlitin Al 99,99 in sintetično izdelane zlitine Al-Cu. To pomeni, da manjše količine elementov v tržno dostopni zlitini $AlCu6PbBi$ le malo vplivajo na učinkovitost modifikacijske zlitine $AlTi5B1$.

5 Literatura

- ¹ J. Müller, W. Siefert: Entwicklung wirksamer Impftechniken zur Erreichung fehlerfreier Gussstücke aus Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit mit guten mechanischen Eigenschaften unter Ausnutzung strömungstechnischer Möglichkeiten - Teil 1, *Giessereiforschung*, 45, 1993, 3, 92-98

² C. Pelhan, S. Spaič: Über die Entstehung einer Reaktionsfront bei der Magnesiumbehandlung von Gusseisen mit Kugelgraphit, *Giesserei-Praxis*, 1989, 9/10, 133-141

³ F. Zupanič: Interakcija modifikatorja Al-Ti-B s talinami aluminijevih zlitin, *Magistrsko delo*, Ljubljana 1994

⁴ F. Zupanič, S. Spaič, A. Križman: Gefüge und Auflösung der Kornfeinungslegierung in der Al-Schmelze, *Metall*, 49, 1995, 10, 646-649

⁵ F. Zupanič, S. Spaič, A. Križman: Raztapljanje modifikacijske zlitine AlTi5B1 v talini zlitine Al-Cu, 36. *Livarsko posvetovanje*, Portorož 1995, 209-216

⁶ M. Johansson, L. Bäckerud: Nucleants in Grain Refined Aluminium after Addition of Ti- and B-containing Master Alloys, *Z. Metallkunde*, 83, 1992, 11, 774-780