

RAZTAPLJANJE SILICIJA V PODEVTEKTI^NI TIKSOTROPNI ME[ANICI Al-Si

DISSOLVING OF SILICON IN AN HYPOEUTECTIC THIXOTROPIC MIXTURE Al-Si

GORAZD LOJEN, I. AN@EL, A. KRI@MAN

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor

Prejem rokopisa - received: 1997-10-01; sprejem za objavo - accepted for publication: 1997-12-19

Razvili smo model postopka izdelave kompozitov s "sintezo tiksotropnih me{anic". Postopek re{uje problem omo-ljivosti in hkrati omogo-a variiranje dele'ev posameznih faz v kompozitu. Obsega tri korake: izdelavo izhodnih tiksotropnih me{anic, sintezo izhodnih dvofaznih tiksotropnih me{anic v kompozitno me{anico in strjevanje. Tako izdelani kompoziti v splo{nem vsebujejo termodinamsko nekompatibilne primarne faze, ki so neposredno po sintezi, preden se kompozit strdi, nestabilne, in te'ijo k hitremu razpadu. V prispevku so predstavljeni izsledki {tudija raztapljanja Si v podevtekti-ni tiksotropni me{anici Al-Si. Klju-ne besede: kovinski kompoziti Al-Si, sinteza tiksotropnih me{anic, raztapljanje Si

A processing model for the production of metal matrix composites by the "synthesis of thixotropic mixtures" was developed. By this process the problem of wettability is solved and variations of the phase fractions in the composite are enabled. The process includes three steps: preparation of precursive thixotropic mixtures, the synthesis of the precursive two - phase thixotropic mixtures into a composite one, and its solidification. Composites, produced by this process, generally contain thermodynamically incompatible primary phases, which tend to disintegrate before the composite is solidified. In this paper the results of our study of dissolving of Si in an hypoeutectic thixotropic Al-Si mixture are presented.

Key words: metal matrix composites, synthesis of thixotropic mixtures, dissolving of Si

1 UVOD

Po postopku "sinteze tiksotropnih me{anic") smo izdelali dve kompozitni me{anici: podevtekti-no, AlSi10 in nadevtekti-no, AlSi20. Mikrostrukturi obeh vsebujeta α_{Al} , primarni Si ter eutektik. Izhodni tiksotropni me{anici sta bili v obeh primerih zlitini AlSi7 in AlSi40.

Za uspe{no proizvodnjo tak{nih kompozitov v ve-jem obsegu, in seveda tudi za njegovo prakti-no uporabnost (npr. tikso-litje in tikso-kovanje), je klju-nega pomena obstojnost primarnih trdnih faz v temperaturnem obmo-ju med T_S in T_L kompozitne me{anice.

Cilj v nadaljevanju prispevka opisanih ekperimentov je bil ugotoviti hitrost raztapljanja Si - kristalov v teko-i fazi Al-Si ob prisotnosti trdne faze α_{Al} .

2 IZVEDBA EKSPERIMENTOV

Hitrost raztapljanja primarnih faz smo ugotavljali z modelnim eksperimentom. Eksperimentalno napravo prikazuje **slika 1**.

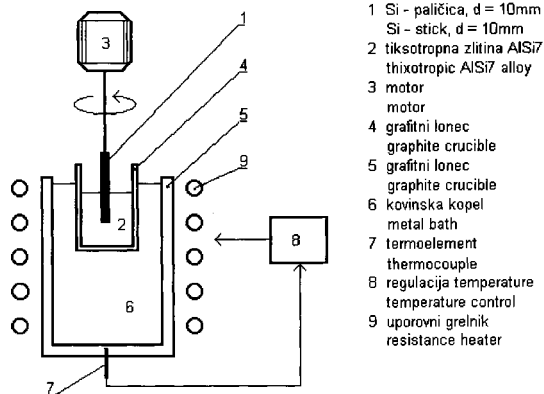
Rotirajo-o silicijevo pali-ico s premerom 10 mm smo potopili v delno staljeno ($\alpha + L$) tiksotropno zlitino AlSi7. Na osnovi izgube mase Si - pali-ice smo ocenjevali hitrost raztapljanja Si v razmerah prisilne konvekcije. Hkratna rotacija Si - pali-ice okoli lastne osi in po obodu lon-ka je zagotavljala dobro me{anje in izena-evanje koncentracije Si v tiksotropni zlitini AlSi7.

3 REZULTATI

Rezultati poskusov, izvedenih pri razli-nih temperaturah tiksotropne zlitine AlSi7 z rotirajo-o in mirujo-o silicijevo pali-ico, so zbrani v **tabeli 1**.

Tabela 1: Hitrost raztapljanja silicija v tiksotropni zlitini AlSi7
Table 1: Dissolving rate of silicon in the thixotropic AlSi7 alloy

T (°C)	585	590	600	610	590*
Δt (s)	300	300	300	180	630
Δm (g)	2,5	6,0	6,6	7,3	1,1
$\frac{\Delta m}{\Delta t \cdot A}$ $\left[\frac{g}{s \cdot mm^2} \right]$	$9,7 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$
$\frac{\Delta m}{\zeta \cdot \Delta t \cdot A}$ $\left[\frac{\mu m}{s} \right]$	4,2	9,4	10,0	20,0	0,8



Slika 1: Eksperimentalna naprava
Figure 1: Experimental device

T (°C) - temperatura tiksotropne zlitine AlSi7 / temperatura of the thixotropic AlSi7 alloy

Δt (s) - čas raztapljanja / dissolving time

Δm (g) - raztopljena količina Si / dissolved amount of Si

\bar{A} (mm²) - povprečna kontaktna površina Si paličice s tixotropno zlitino AlSi7 / average contact surface of the silicon stick and thixotropic AlSi7 alloy

$\frac{\Delta m}{\Delta t \cdot \bar{A}}$ $\left[\frac{\text{g}}{\text{s} \cdot \text{mm}^2} \right]$ - hitrost raztapljanja / dissolving rate

$\frac{\Delta m}{\zeta \cdot \Delta t \cdot \bar{A}}$ $\left[\frac{\mu\text{m}}{\text{s}} \right]$ - debelina plasti, ki se raztopi v časovni enoti / thickness of layer, dissolved in unit of time

ζ $\left[\frac{\text{g}}{\text{mm}^3} \right]$ - gostota silicija / density of silicon

* - mirujoča paličica / no rotation

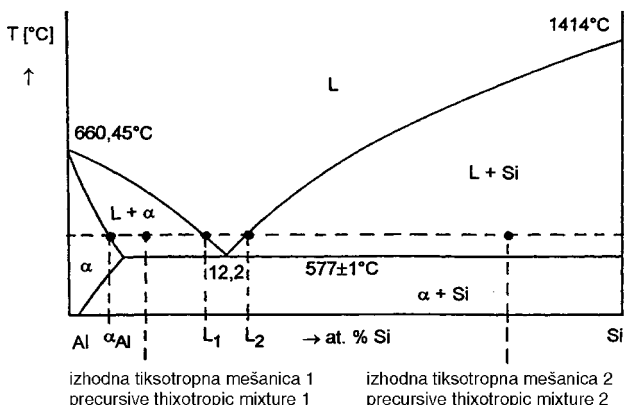
4 DISKUSIJA

V realnih razmerah izdelave kompozitne trofazne mešanice po postopku "sinteze tixotropnih mešanic" poteka proces raztapljanja primarnih trdnih faz v tekoči fazi nekoliko drugače kot pri izvedenih modelnih poskusih.

V realnih razmerah delci primarnih trdnih faz niso prekriti z oksidno plastjo, ki bi ovirala začetek raztapljanja, saj se izločajo iz talin med ohlajanjem izhodnih zlitin v dvofazno področje. Modelni poskus pa je izveden s samo eno tixotropno zlitino (podevtektino zlitino AlSi7) in z ulito silicijevo paličico. Paličica je kljub bručenju neposredno pred izvedbo poskusa prekrita s tanko oksidno plastjo, razen tega pa ima pred popitvijo temperaturo okolice. Oboje povzroči zakasnitev začetka raztapljanja.

Sestava tekoče faze (**slika 2**) je neposredno pred začetkom raztapljanja pri modelnem poskusu drugačna kot v realnih razmerah. Pri teh je sestava tekoče faze L nekje med L_1 in L_2 . Lahko jo natančno ugotovimo, saj poznamo količino in sestavo tekočih faz L_1 in L_2 v izhodnih tixotropnih zlitinah. Pri modelnem poskusu pa ima tekoča faza pred začetkom raztapljanja sestavo L_1 .

Kako vpliva začetna sestava tekoče faze na potek raztapljanja primarnih trdnih faz, bo potrebno pojasniti z nadaljnjimi raziskavami.



Slika 2: Sestava tekoče faze

Figure 2: Composition of the liquid phase

Pri prisilni konvekciji hitrost raztapljanja kontrolira kinetika prehajanja atomov iz trdnih delcev v talino².

V termodinamsko nestabilni mešanici, ki je sestavljena iz α_{Al} , primarnega Si in tekoče faze Al-Si, se hkrati raztapljata obe primarni trdni fazi, hitrost procesa pa je odvisna od tiste trdne faze, pri kateri je transport mase skozi mejno plast trdno - tekoče počasnejši. Aluminij se strjuje nefasetirano in ima ničjo talilno entropijo kot silicij, ki kristalizira fasetirano, zato lahko njegovi atomi hitreje prehajajo v talino kot silicijevi.

Zelo verjetno je, da se v realnih razmerah delci α_{Al} v prvi fazi procesa raztapljajo hitreje kot primarni Si - kristali, sestava tekoče faze pa se začne spreminjati. Koncentracija Al v tekoči fazi narašča, dokler ta ne doseže neke "ravnotežne" sestave blizu mejne vrednosti L_1 . Od tega trenutka naprej kontrolira hitrost raztapljanja obeh primarnih trdnih faz silicij, saj se lahko raztaplja samo teta toliko aluminija, kot je potrebno za ohranjanje dosežene "ravnotežne" sestave tekoče faze.

Pri izvedenih modelnih poskusih ima tekoča faza začetno sestavo L_1 , zato domnevamo, da se sestava tekoče faze med raztapljanjem le nebitveno spremeni in je hitrost raztapljanja obeh primarnih trdnih faz ves čas enaka.

Neposredni rezultat izvedene serije modelnih poskusov je količina silicija, ki se je raztopila v določenem času. Na osnovi tega pa se ni mogoče sklepati o trajnosti primarnih trdnih delcev v kompozitni tixotropni mešanici. Za napovedovanje njihove trajnosti je potrebno poznati, razen velikosti in oblike primarnih trdnih delcev, teta hitrost njihovega raztapljanja, izraženo npr. kot izguba mase v časovni enoti na enoto površine, g/(s·mm²), ali kot debelino plasti, ki se raztopi v časovni enoti, $\mu\text{m/s}$. V tabeli 1 so zbrane na oba načina izražene hitrosti raztapljanja silicija.

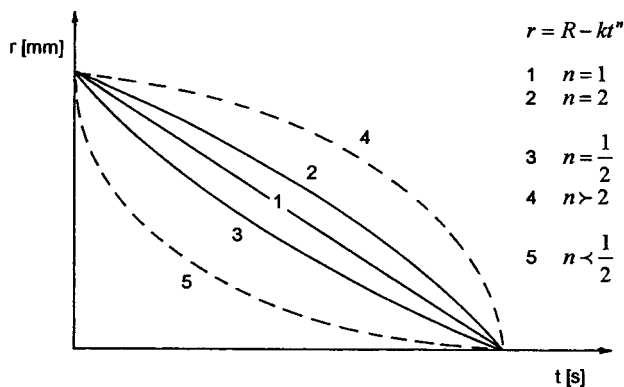
Izražena hitrost raztapljanja je temeljil na več predpostavkah in poenostavitvah:

1) Raztapljanje Si - paličice se začne takoj, ko jo popotimo v tixotropno zlitino AlSi7, brez zakasnitve



Slika 3: Oblika silicijeve paličice med raztapljanjem

Figure 3: Shape of the silicon stick during dissolution



Slika 4: Shematični prikaz različnih hipotetičnih funkcij $r(t)$
Figure 4: Schematic presentation of different hypothetical $r(t)$ functions

2) hitrost raztapljanja je ves čas poskusa konstantna (sestava tekoče faze se med poskusom ne spreminja, saj se hkrati raztapljata Si - paličica in trdni delci α_{Al} , dobro mešanje pa zagotavlja konstanten koncentracijski gradient)

3) oblika Si - paličice se zaradi njenega raztapljanja spreminja iz valja najprej v prisekan stožec, nato pa v koničast stožec; dokler ima potopljeni del paličice obliko prisekanega stožca, je sprememba dolžine zanemarljiva - paličica se za nekajkratni faktor, ko postane stožasti konec koničast, **slika 3**.

Hitrost raztapljanja smo definirali z izrazom:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t \cdot \bar{A}} \quad (1)$$

Kontaktna površina A se spreminja s časom, zato na velikost povprečne kontaktne površine vpliva funkcijska odvisnost kontaktne površine \bar{A} od časa t .

Ob upoštevanju predpostavke 3), da ima Si - paličica obliko prisekanega stožca, je kontaktna površina enaka:

$$A(t) = \pi \cdot \sqrt{h^2 + (R-r(t))^2} \cdot (R+r(t)) + \pi \cdot r^2(t) \quad (2)$$

mejni vrednosti radija prisekanega stožca pa sta:

$$r = R \text{ v času } t = 0 \text{ in}$$

$$r = r_k \text{ v času } t = \Delta t$$

Natančno vrednost povprečne kontaktne površine lahko izračunamo v tem primeru z numerično integracijo enačbe (2), po enačbi (3):

$$\bar{A} = \frac{\int_{t=0}^{t=\Delta t} A(t) dt}{\Delta t} \quad (3)$$

Preprostejši, vendar manj natančen je izračun po enačbi (4), pri katerem ni potrebno poznati funkcije $A(t)$ oz. $r(t)$:

$$\bar{A} = \frac{A_0 + A_k}{2} \quad (4)$$

kjer sta A_0 kontaktna površina na začetku raztapljanja in A_k kontaktna površina ob koncu poskusa.

Ker funkcija $r(t)$ v našem primeru ni znana, smo v izračunih hitrosti raztapljanja, podanih v **tabeli 1**, upoštevali povprečno kontaktno površino, izračunano po enačbi (4).

Da bi lahko ocenili natančnost teh izračunov, smo za primerjavo izračunali tudi povprečno kontaktno površino po enačbi (3) za različne hipotetične časovne odvisnosti radija prisekanega stožca, in sicer:

– za linearno (**slika 4**, krivulja 1) $r = R - k_1 \cdot t$,

– za kvadratno (**slika 4**, krivulja 2) $r = R - k_2 \cdot t^2$ in

– korensko (**slika 4**, krivulja 3) $r = R - k_3 \cdot \sqrt{t}$.

Bistveno drugačne funkcijske odvisnosti bi bile verjetne le, če bi se hitrost raztapljanja med procesom močno spreminjala.

Višje potence n v izrazu $r = R - k t^n$ bi namreč pomenile, da raztapljanje v začetku poskusa poteka zelo počasi, proti koncu pa zelo hitro (**slika 4**, **krivulja 4**), ni pa, da je hitrost raztapljanja zelo velika na začetku in zelo majhna proti koncu raztapljanja (**slika 4**, **krivulja 5**). Ker se med raztapljanjem razmere praktično ne spreminjajo in ostajajo parametri, ki vplivajo na hitrost raztapljanja (koncentracijski gradient ΔC in koeficient prehoda snovi K) konstantni, takšno spreminjanje hitrosti raztapljanja ni realno.

Hitrosti raztapljanja, izračunane z upoštevanjem povprečne kontaktne površine po enačbi (3), se od tiste, izračunane z upoštevanjem enačbe (4), razlikujejo od +5% do največ -16% (pri korenski odvisnosti radija od časa). To kaže, da ob vseh upoštevanih predpostavkah na in določanje povprečne kontaktne površine v uporabljeni metodi izračuna hitrosti raztapljanja silicija le malo vpliva na zanesljivost rezultata.

5 SKLEP

Hitrosti raztapljanja v **tabeli 1** so orientacijske vrednosti, s katerimi lahko ocenimo trajnost trdnih primarnih faz v kompozitni trofazni mešanici in čas, ki je na voljo za izdelavo le-te, pod pogojem, da dovolj natančno poznamo začetno velikost in obliko primarnih trdnih delcev.

Za zanesljivejšo oceno trajnosti primarnih trdnih delcev v trofaznih kompozitnih mešanicah Al - Si bo potrebno z nadaljnjim študijem in eksperimenti natančneje ovrednotiti, tako predpostavke, na katerih temeljijo izvedeni izračuni, kakor tudi rast primarnih faz med ogrevanjem in zadrževanjem izhodnih tiksotropnih mešanic v dvofaznem področju.

6 LITERATURA

- ¹ G. Lojen, I. Anžel, A. Križman: Sinteza tiksotropnih mešanic, Društvo Ivarjev Slovenije, *38. Ivarsko posvetovanje*, zbornik referatov, (1997) 212-224
- ² D. E. Langberg, M. Nilmani: The production of nickel - zinc alloys by powder injection, *Metallurgical and materials transactions B*, 27B (1996) 781-787

³ D. Apelian, R. O'Malley, C. Dremann: *Proc. Scaninject II*, Mefos and Jernkontoret, Lulea, Sweden, (1980) pp. 7:1-7:33

⁴ D. E. Langberg, C. Fan, M. Nilmani: *Proc. 2nd Australian Asian Pacific course: Melt treatment and casting*, The University of Melbourne, Australia, 1-4 July, 1991, pp. 16:1-16:11

⁵ W. Kurz, D. J. Fisher: *Fundamentals of solidification*, third edition, Trans tech publications, Switzerland - Germany - UK - USA, 1989