

ESTUDI DE L'EFECTE DELS ULTRASONS EN LA MICROESTRUCTURA D'ALIATGES HIPEREUTÈCTICS ALUMINI-SILICI

Marc Gana Ros

Departament de Ciència dels Materials i Enginyeria Metal·lúrgica. Enric Martín Fuentes
Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
Avda. Víctor Balaguer 1. 08800 Vilanova i la Geltrú..

Resum. L'objectiu d'aquest treball és aconseguir una microestructura d'un aliatge hipereutèctic Al-Si en que el silici primari es presenti en plaques petites, arrodonides i repartides homogèniament per tot l'aliatge. Per tal d'aconseguir això, es van aplicar tractaments ultrasònics variant com a paràmetres la temperatura d'aplicació i la potència ultrasònica. Es van aplicar els ultrasons en estat semisòlid i en estat líquid total. Els ultrasons modifiquen la morfologia del Si primari, fent que els cristalls siguin més arrodonits en tots els casos i més petits quan s'apliquen en estat semisòlid. Uns altres efecte dels ultrasons ha estat el de desgasificar i també el d'arrodonir la fase alfa.

Abstract. The purpose of this work is to get a microstructure from hypereutectic Al-Si alloys. In which the primary silicon appears in small sheets, rounded and homogeneously spread all over the alloy. For this reason, we applied some ultrasonic treatments in different tests in which their criteria were either the applied temperature either the ultrasonic potency which were different. Afterwards, we added ultrasounds in semisolid status in four of the test we realized and liquid status in two more tests. Ultrasounds modify the morphology of primary Si, making the crystals are more rounded in all cases and smaller when applied in semi-solid state. Others effects of ultrasound was to degas and the rounding of the alpha phase.

1. INTRODUCCIÓ

Els aliatges hipereutèctics de Al-Si són molt interessants per algunes aplicacions a les indústries de l'automòbil i l'aeronàutica, degut a la seva lleugeresa, les seves acceptables propietats específiques a temperatura ambient i a elevades temperatures, al seu baix coeficient d'expansió tèrmica i a la seva excel·lent resistència al desgast. Tanmateix, quantitats de silici superiors al 20% en massa requereixen elevades temperatures de processat per mètodes convencionals i, a més s'obtenen unes pobres propietats mecàniques com a conseqüència de la presència de partícules de Si de gran dimensió, així com per l'elevada porositat. [1]

El material d'estudi en el que es basa el desenvolupament i l'execució d'aquest projecte, es un aliatge A392 (taula 1), de normativa americana, amb mes d'un 20% de Si, ja que no es troben aliatges amb quantitats tant elevades de Si normalitzats amb la normativa europea.

Taula 1. Composició química nominal de l'aliatge A392, en % en pes.

| Element | Si | Mg | Cu | Fe | Sr | Al |
|---------|-------|------|------|------|-------|-------|
| % pes | 20,13 | 0.76 | 1.36 | 0.53 | 0.001 | resta |

El tractament amb ultrasons durant la fosa, es conegut pel seu efecte refinador en els aliatges d'alumini. El principi bàsic és la introducció d'ones acústiques amb una freqüència mes alta de 17 kHz dins del metall líquid. L'alta freqüència i l'amplitud de les oscil·lacions dona resultat a la cavitació de la massa fosa i aconsegueix una mescla intensa a través de l'agitació.[2]

La vibració ultrasònica pot ser utilitzada per refinar les plaques de Si en aliatges hipereutèctics Al-Si, les variables que poden afectar el procés en aquest projecte són el rang de les temperatures utilitzades durant el procés i els paràmetres d'ultrasons.[2]

2. MÈTODE EXPERIMENTAL

Per tal de modificar l'estructura del Si primari es procedeix a refondre el material mitjançant un forn d'inducció. El material s'ha escalfat fins a les temperatures de semi sòlid de 610 °C i de 680 °C, així com a la temperatura de 730 °C, a la que el material es troba completament en estat líquid (Taula 2).

Els ultrasons s'han començat a aplicar a les temperatures anteriors, i el material ha anat refredant durant l'aplicació dels mateixos.

Els ultrasons s'han aplicat a dos nivells de freqüències: 210 W i 385 W.

Per tal de poder comparar els resultats de l'efecte ultrasònic sobre l'aliatge A392 s'han realitzat dues fusions sense tractament o fusions de referència.

Taula 2. Paràmetres utilitzats en les diferents proves.

| Prova n° | Tª màxima /°C | Massa fosa /g | Potència US /W | Tª final /°C |
|----------|---------------|---------------|----------------|--------------|
| 1 | 730 | 370 | ---- | ---- |
| 2 | 680 | 370 | ---- | ---- |
| 3 | 680 | 370 | 385 | 665 |
| 4 | 680 | 370 | 210 | 600 |
| 5 | 610 | 370 | 385 | 606 |
| 6 | 610 | 370 | 210 | 660 |
| 7 | 730 | 370 | 385 | 664 |
| 8 | 730 | 370 | 385 | 610 |

Un cop obtingut el material aquest s'haurà d'embotir en unes provetes metal·logràfiques que permetin la seva manipulació per després polir-les de tal forma que sigui possible l'anàlisi amb el microscopi òptic. El procés d'obtenció de provetes ha de ser sistemàtic i meticulós.

De cada prova realitzada en seran extretes dues provetes de les quals es dividirà la mostra en tres parts: superior, central i inferior. On cada una s'estudiarà des de la part superior a la inferior i seguint un patró en diagonal, per tal d'abastir totes les zones de la mostra.

Un cop obtingudes les provetes es procedirà a realitzar l'examen metal·logràfic amb el microscopi òptic que, amb l'ajuda d'un software d'anàlisi d'imatge instal·lat, permetrà la binarització de les imatges obtingudes per tonalitats, permetent seleccionar els grans de silici que es volen estudiar per tal de d'obtenir el nombre de cristalls, la seva mida, el seu grau d'arrodoniment, mesurat mitjançant el factor de forma, i el percentatge total de silici de cada imatge estudiada. Un factor de forma igual a 1 indica una forma circular, en incrementar-se aquest valor la forma és més irregular i allargada.

3. DISCUSSIÓ DE RESULTATS

3.1 Microestructura del Si primari a les fusions sense tractament ultrasònic

La dimensió dels cristalls de Si obtinguts durant les proves sense tractament amb ultrasons és molt gran, amb cristalls que es poden visualitzar a simple vista a la proveta (Fig. 1). L'estudi amb el microscopi de les provetes obtingudes sense l'aplicació dels ultrasons (proves 1 i 2).



Fig.1 Imatge del tall transversal realitzat després de la prova 1 del material obtingut, en que es poden distingir els diversos punts negres al voltant del perímetre de la figura que representen el Si primari de l'aliatge.

El grau de porositat detectada és baix, inferior als valors trobats a la bibliografia per a aquests aliatges emmotllats sense l'aplicació dels ultrasons [3].

Els cristalls de Si primari adopten una morfologia de tipus flor, amb cristalls gruixuts, poligonals o blocs de cristalls i cristalls fins (Fig. 2). Les vores i les cantonades de les formes del Si primari són contundents tal i com queda demostrat tant a la prova 1 com a la prova 2, que són les dues proves en que no s'ha realitzat tractament ultrasònic, aquesta morfologia facetada dels cristalls de Si primari és coherent amb la descrita a la bibliografia [4].

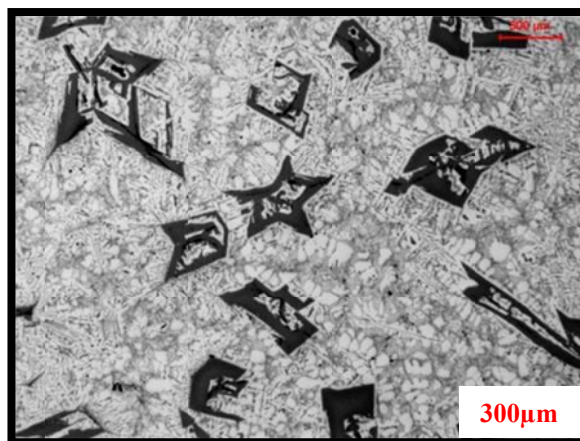


Fig.2 Material sense tractament ultrasònic, on es poden observar les diferents formes que prenen els cristalls de Si.

Tant la elevada mida dels cristalls, com les irregulars formes preses d'aquests, es reflecteixen al valor de l'àrea i de l'arrodoniment dels diferents cristalls estudiats respectivament a les proves 1 i 2. Hi ha una gran varietat tan en la mida dels cristalls com en la forma, com ho demostra les elevades desviacions de l'àrea mitjana i del grau d'arrodoniment (Taula 3).

Taula 3. Resultats obtinguts a les fusions sense l'aplicació de tractament ultrasònic.

| | Àrea / μm^2 | | Factor de forma | |
|---------|------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | Mitjana | Desviació estàndard | Mitjana | Desviació estàndard |
| Prova 1 | 80261 | 20466 | 14,8 | 5,0 |
| Prova 2 | 34627 | 8763 | 6,8 | 2,9 |

3.2 Efecte dels ultrasons en la morfologia del Si primari

Amb el tractament amb ultrasons el Si primari es distribueix més homogèniament i s'afina, desapareixent els cristalls voluminosos i les formes irregulars. La morfologia dels cristalls passa a ser de tipus vareta gruixuda i de blocs, i les vores es suavitzen (Fig 3), el que està d'acord amb la bibliografia consultada [4].

Les anàlisis qualitatives i quantitatives realitzades, revelen que els ultrasons han disminuït la mida dels cristalls respecte a la morfologia obtinguda en les proves realitzades sense tractament ultrasònic (Fig. 4). Igualment, aquests cristalls de Si primari es troben més arrodonits que al material inicial, sense l'aplicació d'ultrasons (Taula 4).

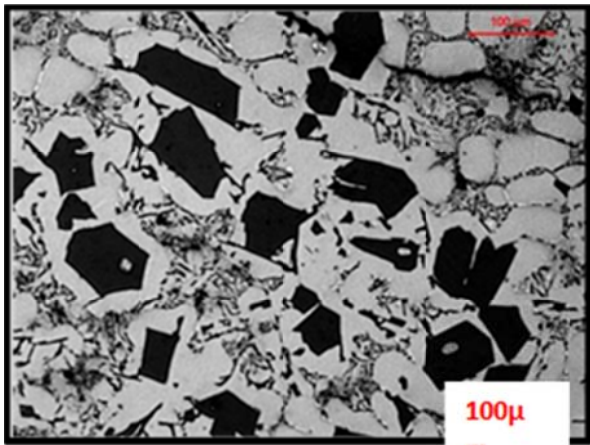


Fig.3 Material amb tractament ultrasònic, on s'observa la disminució de la mida i el canvi de forma dels cristalls de Si.

Els millors resultats obtinguts per el que fa la mida dels cristalls de Si han estat amb l'aplicació dels ultrasons a la temperatura de semisòlid més elevada, de 680 °C, i amb la potència màxima que es disposava de tractament ultrasònic de 385 W durant 30 segons d'aplicació, que han estat els paràmetres de la prova 3 (Fig. 5).

Els cristalls més arrodonits segons els resultats obtinguts es troben a les proves 4 i 8, amb un factor de forma de 2,1 (Fig. 5). A la prova 4 s'ha aplicat tractament ultrasònic a una temperatura en que el material es trobava en estat semi sòlid de 680 °C, com a la prova 3, però en aquest cas la potència ultrasònica es més baixa, de 210 W.

En la prova 8, l'aplicació dels ultrasons ha estat en estat líquid a una temperatura de 730 °C i a la potència màxima de 385 W. En aquesta prova l'aplicació ultrasònica es va realitzar fins a que el material fos disminuït a una temperatura de 610°C i el temps d'aplicació va ser 6 vegades superior als assaigs precedents.

| | Potència /W | Àrea / μm^2 | | Factor de forma | |
|---------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | | Mitjana | Desviació estàndard | Mitjana | Desviació estàndard |
| Prova 3 | 385 | 4399 | 3525 | 2,7 | 0,7 |
| Prova 4 | 210 | 6352 | 5876 | 2,1 | 1,2 |
| Prova 5 | 385 | 5157 | 4365 | 3,4 | 2,0 |
| Prova 6 | 210 | 5197 | 6530 | 2,9 | 1,6 |
| Prova 7 | 385 | 7873 | 7481 | 2,9 | 0,8 |
| Prova 8 | 385 | 5396 | 2950 | 2,1 | 0,5 |

Taula 4. Resultats obtinguts a les fusions amb l'aplicació de tractament ultrasònic.

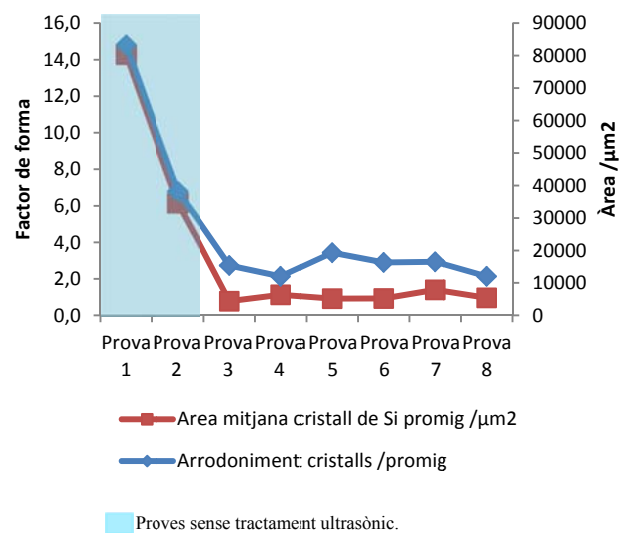


Fig.4 Gràfic comparatiu de l'àrea i del factor de forma dels cristalls de Si de les proves sense ultrasons amb les que s'ha aplicat tractament ultrasònic.

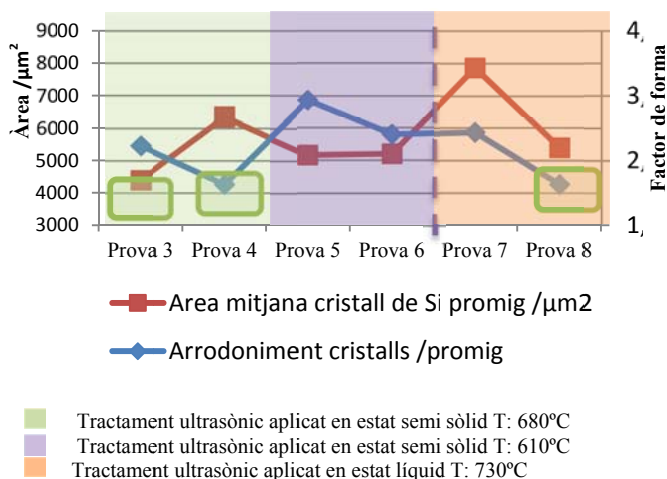


Fig.5 Resultats detallats obtinguts de l'àrea i del factor de forma en les proves en que s'ha aplicat tractament ultrasònic.

3.3 Efecte desgasificador dels ultrasons

A les fusions realitzades en aquest projecte no s'hi observen indicis de porositats, que es podria atribuir a l'efecte desgasificador que es produeix al aplicar el tractament ultrasònic [4].

Un altre factor que ens ha revelat aquesta desgasificació ha estat el canvi en la distribució del Si primari.

A les proves en que no hem aplicat ultrasons, els percentatges de Si es mantenen en totes les diferents zones de la mostra, inclús existeix un efecte de decantació dels cristalls, en que destaquen més per el seu percentatge a les parts inferiors del gresol. En canvi, a les proves realitzades amb tractament amb ultrasons, l'efecte es completament invers, es a dir, trobem que els cristalls suren, ja que el percentatge majoritari d'aquests els trobem a la part del gresol mes propera a la superfície, deixant el fons de la mostra despoblada (Fig. 6).

Aquest fet podria estar provocat per l'efecte desgasificador dels ultrasons, en que les bombolles creades d'hidrogen que suren, ajuden a l'ascensió dels cristalls de Si i concentrant-los a la part superior del gresol.

A les mostres de les proves realitzades des de temperatures de líquid s'observa un fenomen similar (Fig. 7).

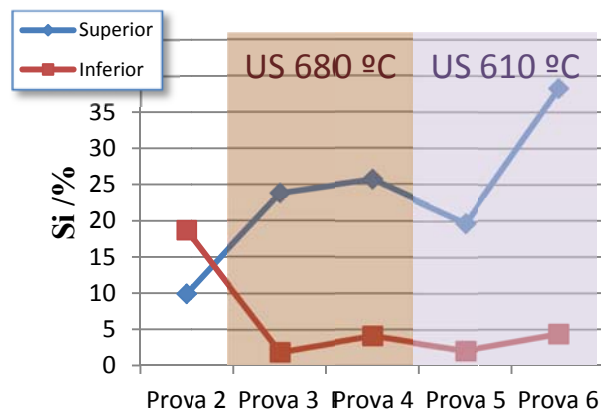


Fig.6 Gràfic comparatiu del % de Si trobat a la part superior i a la part inferior de les proves realitzades en estat semi sòlid.

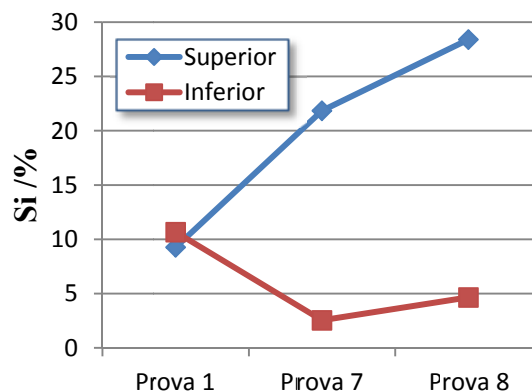


Fig.7 Gràfic comparatiu del % de Si trobat a la part superior i a la part inferior de les proves realitzades en estat líquid.

3.4 Efecte dels ultrasons a la morfologia de la fase α-Al

En els aliatges no tractats es pot observar com la fase α-Al es desenvolupa com a un cristall dendrític i la seva llargada pot arribar a ser de 120 μm. Després de l'aplicació dels ultrasons, la morfologia d'aquesta fase es substituïda per cristalls més arrodonits, i la seva mida es veu reduïda considerablement [4].

Tot i que en el present projecte no s'han realitzat anàlisis quantitatives de la mida dels cristalls dendrítics que formen la fase α-Al, els resultats que es poden observar son prou evidents.

A les proves en que no s'ha realitzat tractament ultrasònic s'hi poden observar dendrites de una llargada molt pronunciada, en canvi a les proves en que s'han aplicat els ultrasons, les dendrites es troben de mida molt mes petita i esvelta (Figs. 7 i 8).

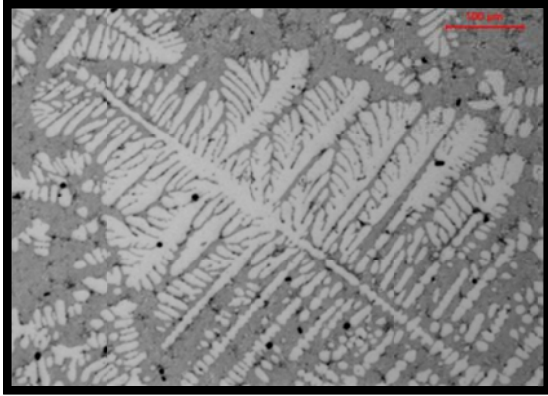


Fig.7 Estructura dendrítica en el material no tractat amb ultrasons.

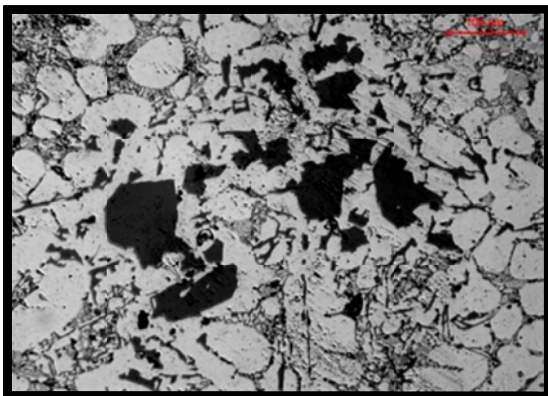


Fig.8 Microestructura de la fase alfa en el material tractat amb ultrasons.

4. CONCLUSIONS

1. El tractament amb ultrasons millora la microestructura de l'aliatge A390, reduint la mida i arrodonint els cristalls de Si primari en totes les proves en que s'ha aplicat el tractament.
2. L'aplicació dels ultrasons provoca un efecte surant dels cristalls de Si primari, probablement ocasionat per les bombolles que emergeixen a la superfície a causa de la desgasificació de l'hidrogen que pateix l'aliatge durant la seva aplicació.
3. Els millors resultats obtinguts per el que fa a la reducció de l'àrea dels cristalls de Si s'han obtingut amb la combinació d'aplicar els ultrasons temperatures elevades del material (680 °C) i potències elevades dels ultrasons (385 W)
4. Els millors resultats obtinguts vers l'arrodoniment dels cristalls de Si en estat semi sòlid apareixen en aplicar els ultrasons a altes

temperatures (680 °C) i potència baixa dels ultrasons (210 W)

5. L'aplicació dels ultrasons des de l'estat líquid afavoreix l'arrodoniment dels cristalls de Si primari, però també provoca que aquests siguin de mida més gran.
6. Els ultrasons milloren la microestructura de la fase α -Al de l'aliatge, trencant les llargues dendrites, arrodonint-les i afavorint a una estructura mes globular, a causa de l'efecte que ocasionen la compressió i la rarefacció en que és sotmès el material degut a les vibracions del tractament.
7. Degut als valors tant grans desviació estàndard obtinguts en tots els resultats, es dedueix que les provetes obtingudes presenten poca homogeneïtat.

5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] J. Valer, J. M. Rodriguez y J. J. Urcola "Comportamiento a tracción a temperaturas ambiente y elevadas de nuevos composites basados en aleaciones hipereutécticas de Al-Si" Revista Metalurgica, 33 (1) pp 10-20, Madrid (1997).
- [2] H. Puga, S. Costa, J. Barbosa, S. Ribeiro, M. Prokic "Influence of Ultrasonic Melt Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of AlSi9Cu3 Alloy" Centre for Mechanical and Materials Technologies, Universidade do Minho, Azurém (2012).
- [3] L. Zhang, D.G. Eskin, A. Miroux, and L. Katgerman "Formation of microstructure in al-si alloys under ultrasonic melt Treatment", Light Metals 2012 pp 999-1004, TMS (the Minerals, Metals & Materials Society) Netherlands, (2012).
- [4] H.K. Feng, S.R. Yu, Y.L. Li, L.Y. Gong "Effect of ultrasonic treatment on microstructures of hypereutectic Al-Si alloy" Journal of materials processin Technology 208 pp 330-335, China (2008).