

EFFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO VARIABLE DURANTE LA SOLIDIFICACIÓN DE LA ALEACIÓN A356 EN EL ESPACIADO DE BRAZOS DENDRÍTICOS SECUNDARIOS

Sara Nardo*, Fernando Ruiz Diaz, Juan Lacoste, Daniel Tovio

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina

(*) Email: saranardo92@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de aluminio fundido poseen una excelente combinación de propiedades tales como baja densidad, buena resistencia, maquinabilidad y soldabilidad, con lo cual resultan particularmente atractivas en la industria metalmeccánica [1].

Dentro del amplio rango de aleaciones de aluminio disponibles en el mercado, la aleación A356 tiene un especial interés porque puede tratarse térmicamente para obtener aleaciones con un amplio abanico de propiedades mecánicas a partir del tratamiento térmico de endurecimiento por precipitación [2].

La refinación microestructural de las aleaciones de aluminio tiene un gran interés como campo de investigación, ya que existe una íntima relación entre el tamaño de grano, el espaciado dendrítico primario y secundario y el tamaño y distribución de las segundas fases e inclusiones, todas ellas variables que quedan definidas durante el proceso de solidificación, y las propiedades mecánicas de la aleación final [3-4].

Tradicionalmente hay dos cursos de acción para lograr el refinamiento de la microestructura, uno de ellos es el método químico, y el otro el método físico. En el primero, se adicionan elementos químicos tales como Ti, B o Sr (o mezcla de ellos) al baño líquido como refinadores de granos, y si bien este método tiene probados resultados, no está exento de efectos adversos, como la introducción de partículas ajenas a la composición, o la formación de segundas fases indeseables que en algunas aplicaciones separan a la aleación de la composición deseada y por lo tanto reducen la aplicabilidad del método. Dentro de los métodos físicos, la refinación de la microestructura se puede lograr aumentando la velocidad de enfriamiento en la solidificación, lo cual permitiría obtener una microestructura más refinada. Sin embargo, éste procedimiento tiene la desventaja de no poder aplicarse en aquellas piezas que presentan geometrías complicadas o en piezas muy volumétricas. Otros métodos físicos de refinación microestructural exploran el efecto de perturbaciones externas aplicadas durante la solidificación.

Ante la necesidad de buscar y desarrollar otros procedimientos que puedan ser aplicados para lograr estructuras de colada más favorables, en este trabajo, se aplica un campo magnético variable durante la solidificación de la aleación A356 y se evalúan las variaciones microestructurales derivadas de esto [5-7].

Debido a que en las aleaciones de aluminio fundido no aparecen estructuras primarias de granos equiaxiados, sino estructuras dendríticas de solidificación, la técnica de cuantificación microestructural, es la medición del espaciado de brazos dendríticos secundarios (SDAS).

PARTE EXPERIMENTAL

La experiencia se realiza sobre una aleación de aluminio A356 fundida en horno de inducción a partir de sus elementos constituyentes comercialmente puros.

Una vez fundida la aleación, se realiza un trasvase a un horno de resistencia eléctrica, en el cual se mantiene la temperatura a 700°C y se desgasifica con nitrógeno gaseoso por 10 minutos, para luego colar a una temperatura de 670°C.

La aleación es colada dentro de moldes de arena cilíndricos de 160mm de altura y 53mm de diámetro, colocados dentro de una bobina con carcasa refractaria, de 28 capas con 52

vueltas cada una, con alambre de cobre electrolítico de 2mm de diámetro. La bobina se encuentra conectada a un autotransformador de salida variable (Variac), cuya tensión de alimentación es la de la red, con los parámetros correspondientes. La única variable a modificar en las experiencias es la tensión de alimentación de la bobina. En la figura 1, se pueden ver las imágenes de los dispositivos usados en la experiencia.



Figura 1. Bobina utilizada en la experiencia (IZQ.) y autotransformador conectado a la bobina (DER.)

En la figura 2, observa el valor máximo de campo magnético obtenido por el variac en su máximo valor de tensión, que es igual a 46,9mT. Dicho campo es aplicado durante la etapa de solidificación de la aleación y es mantenido hasta los 250°C, donde las muestras son retiradas de la bobina y templadas en agua.

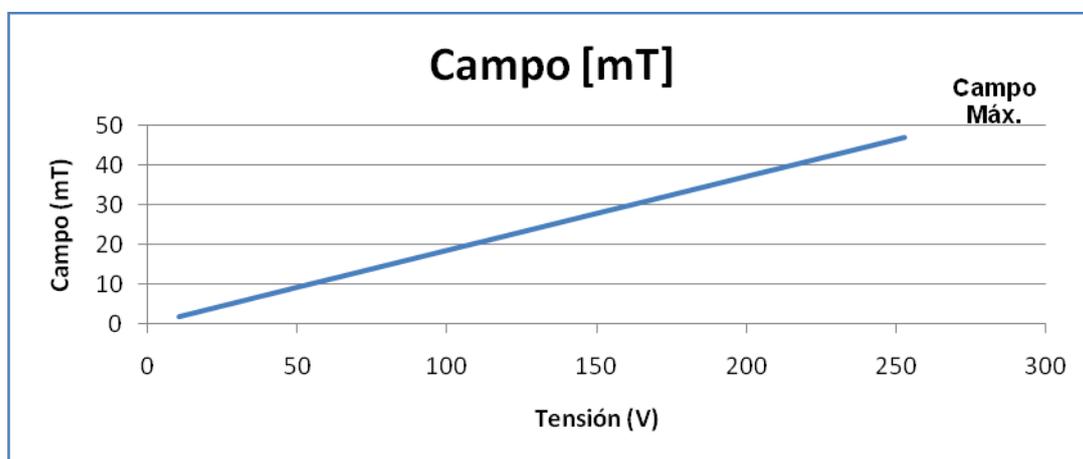


Figura 2. Valor del campo magnético variable en función de la tensión aplicada en la bobina.

Para analizar si existen o no variaciones microestructurales en las pruebas llevadas a cabo, se cortan las muestras para obtener probetas de la parte central de los bacines, que son preparadas metalográficamente y anodizadas, para realizar mediciones del SDAS, en un microscopio óptico MIKOBÁ M410 con ayuda de un software adquirente de datos ScopeTek CDM900.

Para cada muestra el SDAS es calculado tomando 5 fotos representativas de toda la sección transversal de la muestra, con una magnificación de 5x, y realizando 15 mediciones del SDAS en cada fotografía, para obtener un valor promedio.

El procedimiento utilizado para las mediciones, es una técnica de medición directa recomendada por Vandersluis et. Al. [8] que considera el valor de la longitud paralela al

brazo dendrítico primario, de centro a centro de los brazos dendríticos secundarios consecutivos, como se muestra en la figura 3.

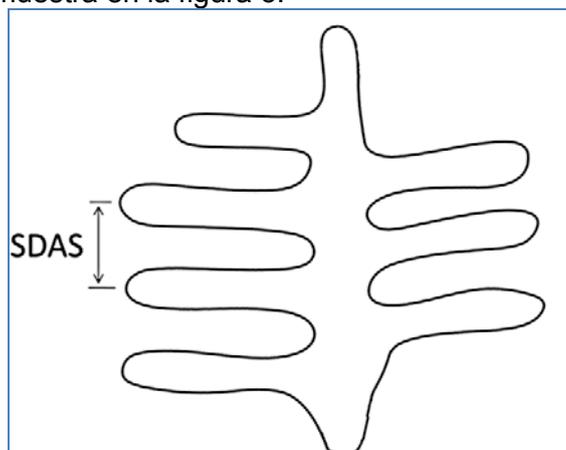


Figura 3. Representación esquemática del método usado para medición del SDAS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aleación con la que se trabaja fue obtenida por fusión en horno de inducción y su composición resultante, medida por medio de un equipo de fluorescencia de rayos X, S1 Titan, de Bruker, se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen composicional de la aleación obtenida en el laboratorio, utilizada en las experiencias.

Composición (%p/p)	Si	Mg	Fe	Cu	Mn	Otros	Al
Muestras obtenidas en laboratorio	7,4	0,44	0,52	0,4	0,09	0,1	91,05

Los resultados obtenidos para las muestras estudiadas, se resumen en la tabla 2, y en la figura 4, donde se puede observar que las muestras solidificadas sin ninguna perturbación externa, en condiciones normales de colada por gravedad, poseen un valor promedio del SDAS mayor al observado para las muestras solidificadas bajo campo magnético.

Tabla 2. Resumen de los valores del SDAS obtenidos para las muestras.

Muestra	Campo Magnético	SDAS (μm)
A	Sí	60,7
B		58,7
C		60,1
D	No	78,2
E		68,1
F		65,7

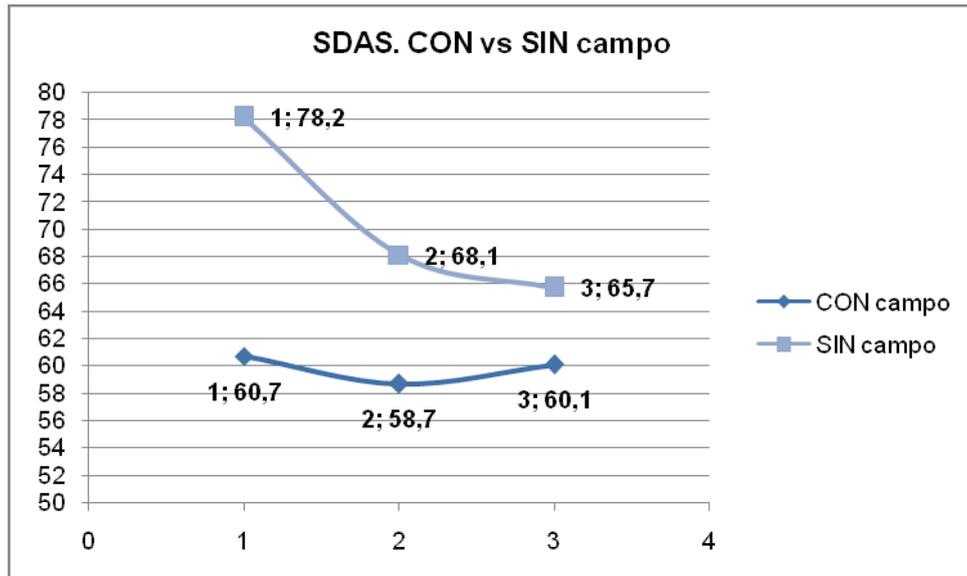


Figura 4. Resumen gráfico de los valores del SDAS obtenidos para las muestras.

En las figuras 5 y 6, se muestran microfografías representativas de las pruebas realizadas, con sus correspondientes valores del SDAS.

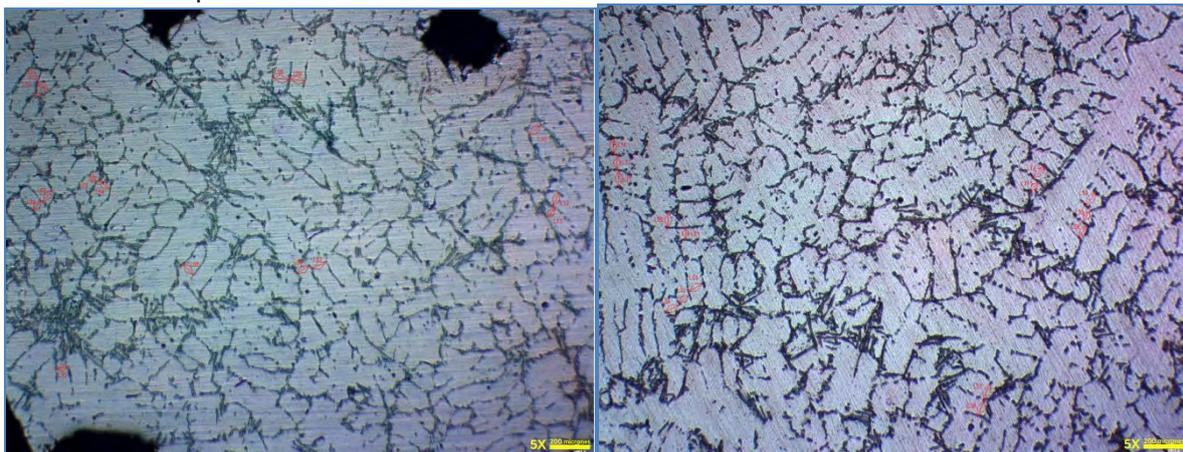


Figura 5. Micrografías de las muestras D (IZQ.) y E (DER.), solidificadas SIN campo magnético.

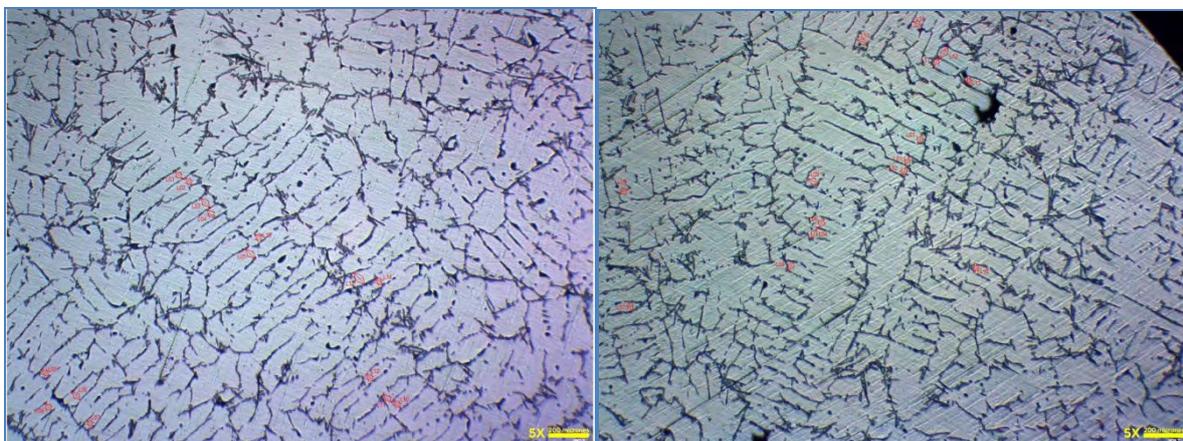


Figura 6. Micrografías de las muestras A (IZQ.) y B (DER.), solidificadas CON campo magnético.

El campo magnético variable aplicado a las muestras tiene por objeto generar agitación magnética en el fluido, de tal manera de fragmentar las ramas dendríticas en crecimiento y provocar un refinamiento de la estructura dendrítica de colada. Si bien se sabe que inducir agitación magnética al metal solidificando, promueve una refinación de la estructura primaria de colada a través de la fragmentación de los brazos dendríticos de colada, todavía no hay consenso en cuanto a cuál es el mecanismo a través del cual sucede. Flemings [9] ha propuesto varios mecanismos, que incluyen: fragmentación de brazos dendríticos, refusión de brazos dendríticos y mecanismos de crecimiento controlados. Todos los mecanismos propuestos se relacionan en dos aspectos, refinamiento de grano y transición morfológica de una estructura dendrítica primaria, a rosetas, y luego a granos equiaxiados.

Si bien los resultados obtenidos, anteriormente volcados muestran una reducción del SDAS para aquellas muestras solidificadas bajo campo magnético, que comparando entre las muestras D y B llega a un máximo del 25%, el porcentaje de reducción no es constante para todas las muestras, con lo cual surge la pregunta de si la variación microestructural observada en la cuantificación del SDAS se debe al efecto del campo magnético variable o hay otros factores involucrados, como la precipitación de segundas fases, o el bajo valor de campo magnético aplicado.

CONCLUSIONES

A partir de los resultados anteriormente volcados se puede inferir que el proceso de solidificación de la aleación de aluminio A356 sí sufre variaciones microestructurales, cuantificadas a través del SDAS, al aplicarse un campo magnético variable mientras la aleación se encuentra solidificando.

Al comparar los valores del SDAS se observa una reducción del mismo ante la aplicación del campo magnético, en relación a aquellas muestras solidificadas en condiciones normales, sin perturbaciones externas. Sin embargo, cabe destacar que si bien se observa una reducción microestructural, al no ser porcentajes de reducción elevados y constantes, para llegar a conclusiones taxativas con respecto al origen de la modificación del SDAS observada, se analizarán en estudios posteriores otros factores relevantes a la microestructura, como los compuestos intermetálicos, tamaño de grano, segundas fases y respuesta a los tratamientos térmicos ulteriores.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mondolfo L.F. Aluminium Alloys: structure and properties. Boston: Butterworth; 1976.
- [2] Y. Zou, Z Xu, J. Zeng, Effect of SDAS on Homogenization of Al-Si-Mg Casting Alloys, *Advanced Materials Research*, Vols 97-101 (2010), pp1041-1044M.O.
- [3] Shabani, A. Mazahery, Prediction of Mechanical properties of cast A356 alloy as a function of microstructure and cooling rate, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 56, 2011,671-675.
- [4] ASM int. ASM Handbook, vol. 2,1990.
- [5] R. Haghayeghi, P. Kapranos, Direct-chill casting of wrought Al alloys under electromagnetic and ultrasonic combined Fields, *Materials Letters*, 105 (2013),213-215.
- [6] J.P. Choi, K.B. Kim, E.P. Yoon, Effect of Electromagnetic Force on the Silicon Size in Hypoeutectic Al-Si Alloy, *Materials Science Forum*, Vols. 449-452 (2004), pp.157-160.
- [7] Z. Zhang, J. Li, et al. Microstructure evolution of A356alloy under compound field, *Journal of Alloys and Compounds*, 484 (2009),458-462.
- [8] E. Vandersluis, C. Ravindran, Comparison of Measurements Methods for Secondary Dendrite Arm Spacing, *Metallogr. Microstruc. Anal* (2017),6:89-94.
- [9] M. Flemings, *Metallurgical Transactions*, 22A, 1991, pp. 957-981.