

EFFECTO DE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO Y EL CONTENIDO DE Ti EN EL TAMAÑO DE GRANO DE LAS ALEACIONES 355 Y 359

RESPONSABLE

M. en I. María Gabriela González Flores

2) INTRODUCCIÓN

El refinamiento de grano actualmente es empleado en aleaciones base aluminio para mejorar sus características de fundición (menor tendencia a la fractura, mejor distribución de los microrechupes, mejora de condiciones de alimentación, estructuras más homogéneas, etc.) y consecuentemente las propiedades mecánicas. Es por ello que, numerosos estudios señalan las ventajas tanto técnicas como económicas que aporta este tratamiento en estado líquido.

Los componentes fabricados de aleaciones de aluminio pueden presentar granos columnares o equiaxiales gruesos, tendrán pobres propiedades mecánicas en relación a piezas con macroestructuras de granos equiaxiales finos. Por medio de la refinación de grano se incrementa la calidad metalúrgica al proporcionar una estructura de granos más homogénea, una distribución dispersa y refinada de la porosidad, una mejora en la colabilidad, la reducción de la susceptibilidad a la fractura en caliente y del tiempo de homogeneización, así como la maquinabilidad; por tanto, la reducción en el tamaño de grano mejora las propiedades mecánicas y la respuesta al tratamiento térmico.

Los tres principales métodos para el refinamiento de grano en las aleaciones base aluminio son: la velocidad de enfriamiento (refinación térmica), la adición de refinadores de grano (refinación química) y la agitación del metal líquido (mecánica rápida, electromagnética y vibración ultrasónica). El efecto de la velocidad de enfriamiento sobre las características estructurales de las aleaciones de la serie 3xx.x ha sido investigado por diversos autores. Estos estudios han encontrado que el aumento de la velocidad de enfriamiento refina todas las características microestructurales, incluyendo el tamaño de grano, el espaciado de brazos dendríticos (DAS) y las fases intermetálicas además de contribuir en cierto grado a la modificación del silicio eutéctico en aleaciones Al-Si hipoeutécticas. Por otro lado, la adición de refinadores de grano (usualmente en forma de aleaciones maestras Al-Ti o Al-Ti-B) suministran partículas nucleantes al metal líquido, lo que promueve la formación de una macroestructura equiaxial fina y suprime el crecimiento de granos columnares.

Cuando el metal líquido es refinado mediante la adición de aleaciones maestras, la velocidad de enfriamiento no presenta un efecto significativo sobre el tamaño de grano final. Debido a lo anterior, se tiene el concepto de que el refinamiento de grano solo es necesario en aquellas fundiciones donde la velocidad de enfriamiento es relativamente baja, por ejemplo, en la fundición en moldes de arena. Los componentes fabricados en moldes permanentes al presentar diferentes espesores y formas, no experimentan las mismas velocidades de enfriamiento en toda la pieza, por lo que el refinamiento térmico del grano asociado a la

velocidad de enfriamiento debe ser complementado con el refinamiento químico. Se esperaría que las cantidades de refinador usadas sean menores a las demandadas por las piezas coladas en molde de arena.

Referencias

- [1] P.S. Mohanty, J.E. Gruzleski, Mechanism of grain refinement in aluminium, *Acta Metall. Et. Mater.* 43 (5) (1995) 2001–2012.
- [2] Riestra, M., Ghassemali, E., Interactive effects of grain refinement, eutectic modification and solidification rate on tensile properties of Al-10Si alloy, *Mater. Sci. Eng.: A* 703 (2017) 270–279
- [3] L. Lu, A.K. Dahle, Effects of combined additions of Sr and AlTiB grain refiners in hypoeutectic Al-Si foundry alloys, *Mater. Sci. Eng. A* 435–436 (2006) 288–296.
- [4] J. Major, J., Advances in Aluminum foundry alloys for permanent and semi-permanent mold casting, *International Journal of Metalcasting. American Foundry Society* (2009) 43-53.
- [5] M.A. Easton, D.H. StJohn, Improved prediction of the grain size of aluminum alloys that includes the effect of cooling rate, *Mater. Sci. Eng.: A* 486 (1–2) (2008) 8–13.
- [6] Y.C. Lee, A.K. Dahle, D.H. StJohn, J.E.C. Hutt, The effect of grain refinement and silicon content on grain formation in hypoeutectic Al–Si alloys, *Mater. Sci. Eng.: A* 259 (1) (1999) 43–52.

3) HIPÓTESIS

Aleaciones Al-Si coladas en molde permanente pueden demandar menor cantidad de elemento refinador (Titanio) para promover la formación de grano equiaxial fino, debido al efecto de refinación térmica promovida por la velocidad de enfriamiento.

4) OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Analizar la interacción de la velocidad de enfriamiento y la adición de refinador de grano (Al-5Ti-1B) sobre el tamaño de grano en dos aleaciones comerciales Al-Si (355 y 359).
- Estudiar la influencia del refinador de grano (Al-5Ti-1B), sobre los parámetros térmicos de solidificación, en particular la formación de la fase primaria.
- Determinar la cantidad de refinador de grano y velocidad para alcanzar un tamaño de grano superior al 11 ASTM en las aleaciones 355 y 359.
- Determinar el efecto del porcentaje de refinador de grano y la velocidad de enfriamiento sobre la dureza de la aleación.

5) METAS

- Se generará información de las principales características estructurales de piezas de aluminio fabricadas por procesos de fundición en molde permanente (tamaño de grano, nivel de porosidad, presencia de inclusiones y espaciamiento interdendrítico).
- Se determinarán las condiciones de demanda de refinador (Ti) que permita la obtención de grano fino equiaxial (al menos 11 ASTM) en molde permanente, en los que la velocidad de enfriamiento es mayor a los moldes de arena, pero no tan alta como en las piezas obtenidas por colada a presión (refinación térmica)

- Obtener información del efecto de la velocidad de enfriamiento y el grado de refinación en dos aleaciones comerciales Al-Si.

6) METODOLOGÍA

La metodología para cumplir con los objetivos del proyecto es la siguiente:

- Se documentará el estado del arte del proceso de fabricación y tratamiento de refinación de las aleaciones 355 y 359.
- Se fabricarán 5 a 8 Kg de la aleación 355 (Al-5%Si) y la misma cantidad de la aleación 359 (Al-9%Si). La composición química se determinará por espectrometría de emisión atómica.
- Se producirán piezas coladas en forma de cuña de las aleaciones A355 y A359 sin y con adición de agente refinador (Al-10Ti), de acuerdo a la siguiente tabla:

Aleación	Nivel de refinador (% Ti)
355	0, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25
359	0, 0.1, 0.15, 0.2

- Se prepararán las muestras obtenidas usando técnicas metalográficas, se evaluará el tamaño de grano de acuerdo a la norma ASTM E112 y patrones de comparación.
- Si las condiciones del molde lo permiten, se colocarán dos termopares tipo K dentro del molde para la obtención de curvas de enfriamiento y analizar el efecto sobre la temperatura de liquidus (posición, sobreenfriamiento, recalcencia).
- Se realizarán pruebas de dureza Brinell con penetrador de 2.5 mm o dureza Vickers.

7) INFRAESTRUCTURA

La infraestructura que se usará es la siguiente:

- Horno de crisol calentado por gas para fabricar las aleaciones 355 y 359.
- Horno de resistencia eléctrica para obtener las cuñas coladas en molde permanente con los diferentes contenidos de agente refinador.
- Molde de cobre en forma de cuña.
- Laboratorio de preparación y análisis metalográfico (106, 107, 205): cortadora, desbastadoras, pulidoras y microscopios.
- Durómetro Brinell.
- Adquisidor de datos Iothec Tempscan 1100[®] y computadora personal.
- Consumibles: alambre para termopar Chromel (Ni-Cr) y Alumel (Ni-Al) y bifilares cerámicos, aluminio y silicio así como consumibles para preparación metalográfica serán proporcionados por el Dr. J. Alejandro García Hinojosa.

8) CRONOGRAMA DE AVANCE

La siguiente tabla presenta el cronograma del proyecto.

Cronograma de actividades del proyecto																
Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión bibliográfica del proceso de fabricación y tratamiento de refinación de las aleaciones A355 y A359.																
Fabricación de las aleaciones A355 y A359. Caracterización metalográfica y análisis químico.																
Preparación de cargas para fabricación de cuñas																
Obtención de cuñas de la aleación A355: blanco y muestras con agente refinador																
Obtención de cuñas de la aleación 359: blanco y muestras con agente refinador																
Análisis metalográfico de las cuñas experimentales																
Evaluación de dureza																
Análisis de resultados obtenidos y redacción del trabajo																
Revisión del reporte y entrega al comité																

9) COMENTARIOS ADICIONALES

Se dispone de los materiales consumibles necesarios para la realización de las metalografías: lijas, alúmina, discos de corte, reactivos de ataque, etc., así como, materia prima necesaria para la fabricación de las aleaciones (Al, Si, aleación maestra). El Dr. José Alejandro García Hinojosa cubrirá los gastos adicionales que se generen durante el desarrollo de este proyecto.

Al concluir este proyecto, el alumno contará con el 60% del trabajo de tesis a desarrollar.