

Efecto de la Velocidad de Enfriamiento sobre la Estructura de Solidificación del Aluminio de Pureza Comercial

Rico Oviedo Yraima

Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre” UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela.

iraricovi@unexpo.edu.ve , iraima.rico@gmail.com

The fundamental importance of the study of the solidification structures is based on the influence that these have in the physical properties, chemical and mechanical of castings. In this work the effect of the speed of cooling is determined on the structure of solidification of aluminum of commercial purity, by means of experimental techniques for the obtaining of profiles of temperatures in the liquid metal, from two experiments of unidirectional solidification with different speeds from cooling. From the results they are calculated: the thickness of solidified layer, the advance's speed of the interface solid-liquid, the interface's thermal gradients, the density of the heat flow and the total coefficient of heat transference by convection. Also the criterion of the constitutional subcooling is used, to evaluate the revealed structure. This concluded that the cooling speed influences of significant way in the solidification structure was demonstrated in the structural analysis. The evaluation of the constitutional subcooling demonstrates to unstable growth of the interface, favoring the equiaxial dendritic growth and columnar dendritic growth.

INTRODUCCIÓN

Es importante destacar que las estructuras de solidificación dependen de las diferencias en composición química entre el sólido y el líquido a medida que solidifica este último. En el caso de aleaciones, hay un flujo de átomos de solvente y soluto que generan una zona con átomos de soluto rechazados por el sólido recién formado. Estos átomos rechazados y el flujo de calor a través de la intercara, controlan las proporciones de las fases y la distribución de no-equilibrio de éstas (Quintero, 2003). El objetivo de este trabajo es determinar el efecto de la velocidad de enfriamiento sobre la estructura de solidificación del aluminio de pureza comercial, mediante técnicas experimentales para la obtención de perfiles de temperaturas.

METODOLOGÍA

El sistema implementado para la adquisición de perfiles de temperatura, permite el desplazamiento de un termopar a lo largo de la dirección del flujo de calor en la fase líquida. Los experimentos se realizaron utilizando un molde de sección transversal con dimensiones de 120*120 mm, con tres de sus lados cubiertos de material cerámico refractario, el otro lado consistió en una lámina de acero inoxidable con un tanque anexo del mismo material, por el cual circula agua de enfriamiento. La solidificación se realizó unidireccionalmente extrayendo calor por el lado del tanque de acero. Se realizaron 2 experimentos con caudales diferentes de agua, 118 ml/s y 462 ml/s. Los valores de

temperatura fueron medidos y almacenados con una termocupla digital. La preparación metalográfica se realizó bajo las recomendaciones descritas en las referencias (ASM Handbook, 1998), para el análisis macroestructural y microestructural mediante microscopía óptica y electrónica de barrido.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con los datos recolectados experimentalmente se calcularon los gradientes de temperaturas en la fase líquida adyacente a la intercara sólido – líquido, para cada uno de los perfiles de temperatura. También se calcularon las velocidades de crecimiento de la intercara. Se evaluó el subenfriamiento constitucional, comparando la relación experimental entre los gradientes térmicos y las velocidades de crecimiento (G/R), con la relación crítica $(G/R)_{crit}$ descrita en los modelos de inestabilidad de la intercara, como se muestra en la figura 1.

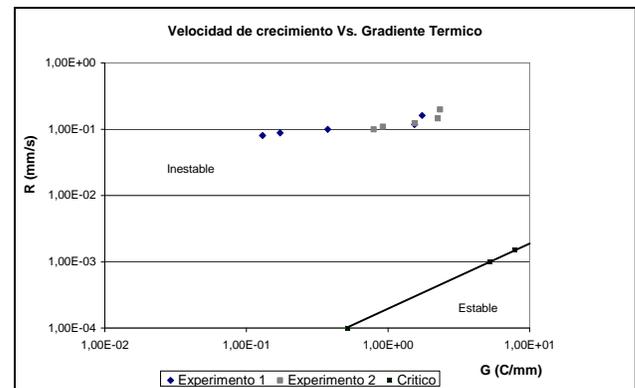


Figura 1. Valores teóricos de $(G/R)_{crit}$ y valores experimentales de (G/R) .

En la figura 1, puede observarse que todos los valores obtenidos experimentalmente para ambos experimentos se encuentran por encima de la línea que representa el valor crítico teórico, mostrando crecimiento inestable de la intercara.

Se calcularon la densidad de flujo de calor total y el coeficiente de transferencia de calor total por convección, para cada uno de los experimentos, a los 100 s luego del comienzo de la solidificación, también se encontraron los perfiles de temperaturas en todo el sistema.

Por otra parte se realizó el análisis macro y microestructural de los lingotes solidificados encontrando crecimiento dendritico-columnar y dendritico equiaxial en ambos experimentos, de igual manera fueron revelados macrodefectos, como se observa en al figura 2. Reafirmando el crecimiento inestable de la intercara conseguido con al evaluación del subenfriamiento constitucional.



Figura 2. Macroestructura Experimento 2, flujo de calor hacia la derecha.

Microestructuralmente se reveló una matriz rica en aluminio y un microconstituyente interdendrítico ternario rico en Si y Fe, como se observa en la figura 3. En la figura 4, se representa la Dureza Vickers en función de la longitud de los lingotes para ambos experimentos. La misma es mayor para el borde de extracción de calor, lo que se corresponde con la disminución del tamaño de los cristales en esta zona.

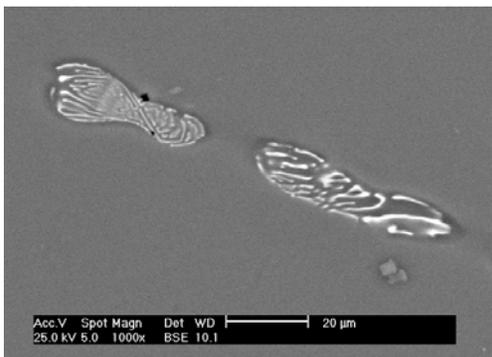


Figura 3. Microscopia electrónica de barrido Experimento 1.

La diferencia entre ambos experimentos en la zona de extracción de calor hasta aproximadamente la mitad del lingote, es en promedio de 15 puntos Vickers.

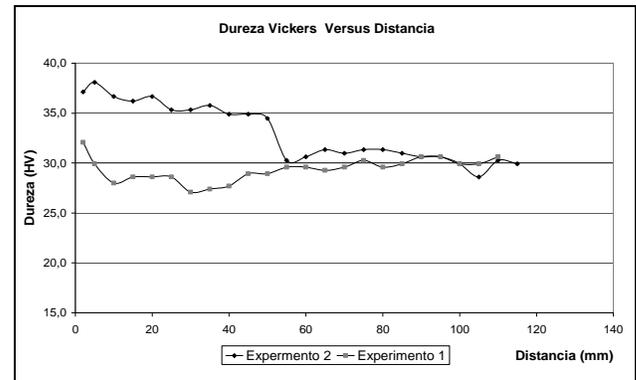


Figura 4. Dureza Vickers en función de la longitud del lingote

CONCLUSIONES

- La velocidad de enfriamiento influye significativamente en la estructura de solidificación del aluminio con impurezas de hierro y de silicio en el orden de 0.15 y 0.5 por ciento en peso.
- La evaluación del subenfriamiento constitucional para las condiciones de solidificación utilizadas, demuestra crecimiento inestable de la intercara, para ambos experimentos, favoreciendo el crecimiento equiaxial-dendrítico y columnar-dendrítico.
- La diferencia entre las velocidades de enfriamiento y las condiciones experimentales de solidificación afectaron los valores de dureza aproximadamente hasta la mitad de los lingotes solidificados.

REFERENCES

ASM International Handbook Committee, (1998), ASM Handbook. Volume 9. Metallography and Microstructures, USA , Edición 9

Cantor, B. (2003), Institute of Physics, Series in Materials Science. Solidification and Casting, K, University of Surrey.

Flemings, M. (1974), Solidification Processing, Mc Graw-Hill.

Geiger, G., Poirier, D., (1972), Transport Phenomena in Metallurgy, USA, Addison-Wesley Publishing company, Inc.

Quintero, O. (2003), Solidificación, Caracas,
Universidad Simón Bolívar Venezuela.