SOLIDIFICACION CONTROLADA DE ALEACIONES BIOCOMPATIBLES EN PROTESIS DE CADERA

R. Scarpa, A. Ges, O. Fornaro, O. Garbellini y H. Palacio.
IFIMAT: UNCentro-CICPBA
Pinto 399 (7000) Tandil - TEL/FAX: (0293) 4-2821
eMail: hpalacio@tandil.edu.ar

Resumen

Se realizó un control estricto de los parámetros que afectan la macro y microestructura de prótesis de cadera obtenidas por el método de investment casting. Las aleaciones utilizadas fueron acero inoxidable ASTM F-745 y superaleación base Cobalto ASTM F-75. Se correlacionaron las variables de solidificación con el tipo y tamaño de grano, la microdureza, el espaciado dendrítico y la cantidad de microdefectos. Este trabajo se realiza dentro del Convenio Universidad Nacional del Centro - FUNDALUM S.A.

Introducción

Los parámetros de solidificación que determinan la naturaleza de las estructuras coladas son el gradiente térmico G, la velocidad de crecimiento R y las variables de la aleación tales como la pendiente de la línea líquidus, el coeficiente de distribución de soluto y la concentración inicial. También se ha demostrado que la relación entre G y R es un parámetro significativo en cuanto al modo de crecimiento y a la estructura de grano final producida en las aleaciones en solución sólida [1-2].

Experimentalmente, Fiegenschuh ha estudiado ampliamente los efectos de la temperatura de colada y la velocidad de enfriamiento sobre las estructuras de colada de aceros inoxidables [3]. En ese trabajo se propone una relación exponencial entre la temperatura de colada y el tamaño de grano a bajas velocidades de enfriamiento constantes.

Si bien el efecto de la temperatura de colada sobre la evolución de la macroestructura es conocido, su efecto sobre la microestructura no ha sido explorado en detalle. Church demostró que altas velocidades de enfriamiento reducen el espaciado dendrítico primario y secundario [3]. Por su parte El-Bealy y Thomas han establecido predicciones del espaciado dendrítico en los procesos de colada de aceros de bajo carbono [4].

Este trabajo tiene por objetivo investigar el efecto del sobrecalentamiento del metal líquido sobre las macro y microestructuras resultantes en prótesis de cadera coladas con aleaciones biocompatibles.

Experimental

Se realizaron los correspondientes trabajos de matricería, modelos de cera, y obtención de los moldes cerámicos aptos para la colada por el método de investment casting de las prótesis de cadera tipo Charnley.

Se utilizó un horno de inducción para fundir y colar las aleaciones biocompatibles ASTM F-745 y F-75. Se controló la temperatura del baño líquido, trabajando con diferentes sobrecalentamientos ΔT dentro del rango de 80 – 180 °C sobre la temperatura de melting. Las temperaturas fueron medidas con pirometría óptica y simultáneamente utilizando termocuplas de Pt-Pt10%Rh. Los moldes construidos en forma de racimos de piezas, colocados en dos niveles (superior e inferior), fueron mantenidos hasta el momento de la colada a una temperatura de 1000 ° C en el interior de una mufla. En una de las coladas se colocaron termocuplas incluidas en una de las piezas del racimo para medir la velocidad de enfriamiento en las diferentes zonas de la misma. A las piezas y probetas obtenidas se les realizó un tratamiento térmico a 1070 ± 2 ° C durante 45' y fueron enfriadas al aire, según las especificaciones de la norma ASTM F745-81.

Se cuantificaron las fallas superficiales a través de ensayo de tintas penetrantes. A continuación se analizó la macroestructura externa e interna de las piezas en cortes longitudinales y transversales en tres zonas características: cabeza, zona media y raíz. En cada una de estas zonas se calculó el tamaño promedio de los granos, se determinó el espaciado primario y secundario y se midió la microdureza Vickers.

Resultados y Discusión

En las piezas y probetas fundidas con la aleación de acero inoxidable ASTM F745, se observó que el tamaño de grano es diferente en distintas zonas de la probeta, debido a la geometría de la pieza, que involucra diferentes condiciones de extracción calórica. En general, el tamaño de grano fue mayor en la cercanías de los canales de colada (en el centro y cabeza) mientras que el menor tamaño de grano se encontró en la raíz.

En la Figura 1 a) se observa el comportamiento general del tamaño promedio de grano en función del ΔT. Se aprecia que éste aumenta con ΔT, de acuerdo a la literatura clásica [5]. En la Figura se han diferenciado la posición de la pieza en el molde y las distintas zonas estudiadas de cada pieza. La Figura 2 muestra la macroestructura de la zona superior de dos piezas obtenidas con diferente sobrecalentamiento, pudiéndose notar el refinamiento de grano mencionado.

En las micrografías de todas las piezas se observó microestructura dendrítica, pudiéndose relacionar el espaciado primario con una relación del tipo $\lambda_1 = p + q\ln(1/\Delta T)$, disminuyendo con el incremento de ΔT como muestra la

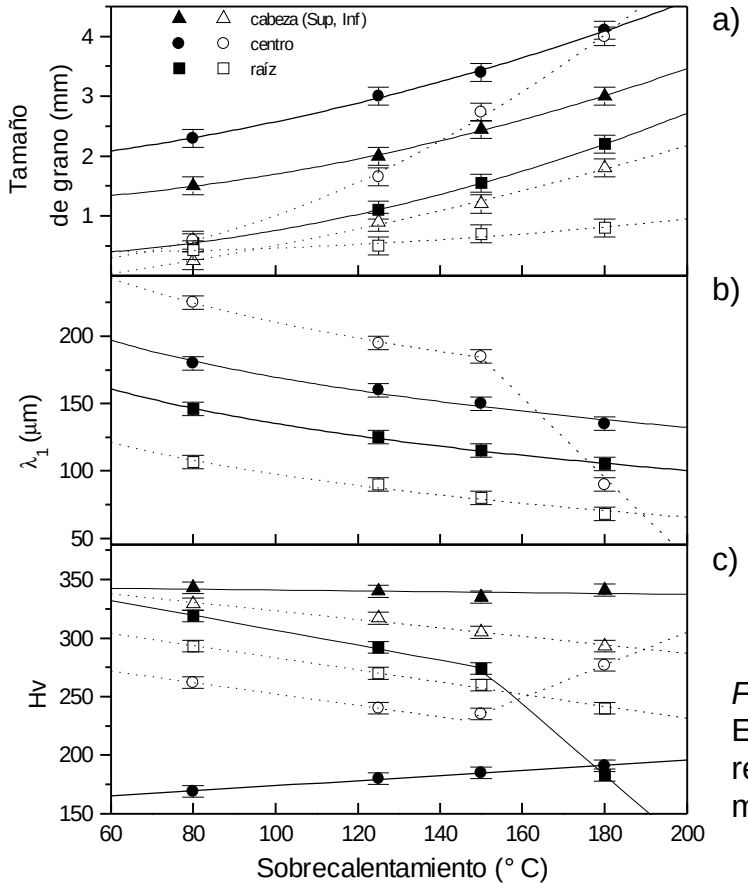


Figura 1: a) Tamaño de grano, b) Espaciado primario y c) Microdureza vs. Sobrecalentamiento del metal líquido.

Figura 1.b). Se observó que para cada zona, la pendiente *q* fue similar, no así el valor de la constante *p*. En la Figura 1.c) apreciamos que no existe una correlación definida entre la microdureza y ΔT, manteniéndose los valores entre 150 y 350 Hv.

Si bien la distribución más homogénea del tamaño de grano se dio para los valores más bajos de ΔT, las piezas resultantes mostraron defectos de llenado, fisuras intergranulares y defectos superficiales que se detectaron por ensayo de tintas penetrantes. Para ΔT = 125 ° C se obtuvo también una adecuada distribución de grano junto a valores similares de Hv, sin los defectos antes mencionados.

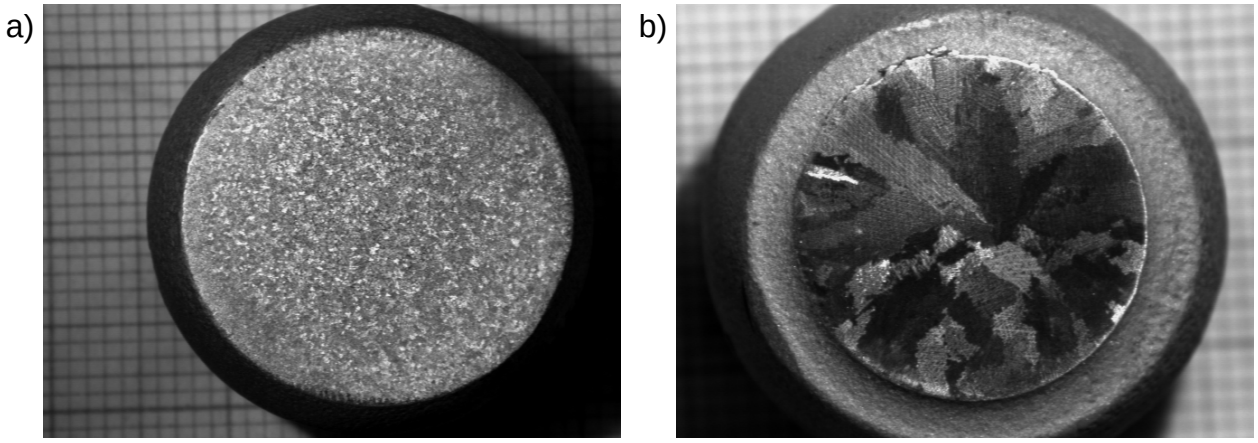


Figura 2: Refinamiento de grano en la zona de la cabeza de la pieza. a) ΔT = 80 ° C; b) ΔT = 180 ° C.

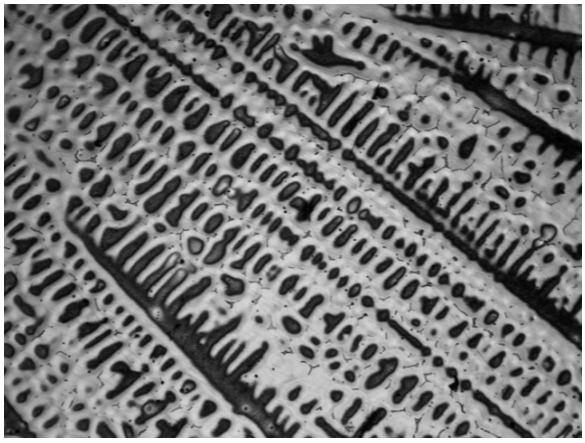
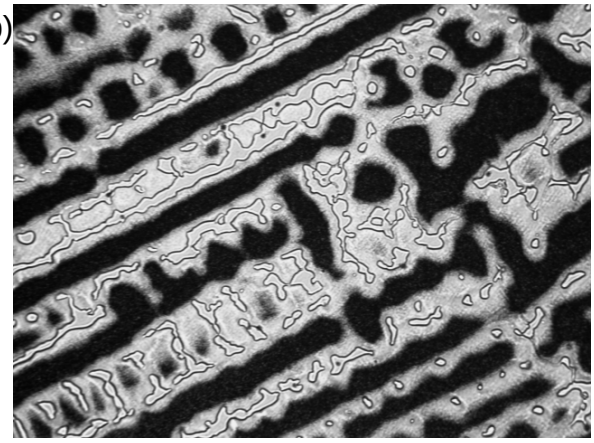
a)  b) 

Figura 3: Microestructuras dendríticas características. a) Acero inoxidable ASTM F745; b) Base Co ASTM F45. 150X.

En la Figura 3 se muestra la microestructura dendrítica característica de las prótesis coladas. La micrografía a) corresponde a una pieza de acero inoxidable ASTM F745, mientras que la b) corresponde a la microestructura obtenida en una colada con la aleación base Co ASTM F45.

Conclusiones

Como estudio previo a la investigación en solidificación de prótesis en aleación base Co, se analizó la micro y macroestructura en piezas obtenidas en fábrica utilizando la aleación ASTM F745.

Se encontró que la distribución de grano más homogénea correspondía a $\Delta T = 80$ °C. Sin embargo se detectaron defectos importantes de llenado y aparición de microfisuras. Para $\Delta T = 125$ °C se obtuvo una adecuada distribución de grano, al mismo tiempo que la microdureza se mantuvo en valores similares, sin la presencia de defectos. Por este motivo, se determinó como más conveniente esta temperatura de colada para la obtención de prótesis de cadera tipo Charnley.

Agradecimientos: Los autores agradecen la colaboración brindada por A. Vincennao y L. Pacheco (FUNDALUM S.A.).

Referencias

1 D. J. Davies: *Solidification and casting,* Applied Science Publishers ltd., Barkind, England, (1973).

2 W. C. Winegard: *Metall Rev.* **6** (1961) 57.

3 S. Ozbayraktar and A. Koursaris: *Metall. Matter. Trans.* **27B** (1996) 287.

4 M. El-Bealy and B. G. Thomas: *Metall. Matter. Trans.* **27B** (1996) 689.

5 M. Flemings: *Solidification Processing*, McGraw Hill, New York (1974).