

METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL DESVANECIMIENTO DEL REFINADOR DE GRANO EN ALEACIONES BIFÁSICAS

Cicchetti Juan P., Musmeci Maximiliano, González Alfredo C., Maffía Ernesto G.

ProInTec I&D, Departamento de Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, (UNLP), 1900, BA, Argentina
cicchetti.ing@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de latón: Cu-40Zn son ampliamente utilizadas comercialmente para fabricar válvulas para fluidos que operan a bajas presiones porque presentan una gran resistencia a la corrosión, son de bajo costo de fabricación y fácilmente mecanizables. Estos materiales están presentes también en la vida hogareña en artículos de grifería por su agradable apariencia. Dentro de la familia de los latones comerciales, la aleación más usada en nuestro país es el denominado latón amarillo con plomo (C85700), número que indica que pertenece al grupo de las aleaciones coladas, de composición media: 63Cu-1Sn-1Pb-35Zn

Uno de los inconvenientes que presenta el proceso de fabricación de griferías y válvulas con esta aleación es la fisuración en caliente. Este defecto (también llamado Hot Cracking) ocurre generalmente en piezas largas y huecas, de paredes finas, al comienzo de la solidificación en moldes metálicos de alta extracción calórica, con noyo cerámico interno; la diferencia de conductividad térmica de los materiales conformantes del molde induce una importante diferencia en la velocidad de solidificación en las paredes de la pieza, creando así las condiciones propicias para la rotura en caliente. Podría concluirse entonces que las grietas en caliente ocurren cuando conviven regiones líquidas y sólidas junto a la contracción generada por el enfriamiento diferencial: las tensiones internas producidas por la solidificación diferencial no pueden ser soportadas por el material y se inicia la fisura en aquellas regiones que aun contienen líquido. Estas zonas líquidas se las encuentran en los límites de grano donde además se segregan las impurezas de bajo punto de fusión, que ayudan a la formación de líquido.

Actualmente, se conoce que la reducción en el tamaño del grano del material ayuda a minimizar la segregación porque ésta reduce el tiempo de contacto entre regiones líquidas y sólidas durante la solidificación y se redistribuye el último líquido en un área granular mayor. Por lo que, el aumento del área intergranular por multiplicación de granos minimiza la posibilidad de la grietas en caliente.

Así, surge la necesidad de utilizar los llamados “refinadores de grano” en la fabricación de piezas especiales, pues estos aditivos mejoran la colabilidad y reducen o usualmente eliminan defectos de colada causados por contracción lineal y las grietas en caliente. La composición química de los refinadores para latones siempre incluye al hierro y al boro. Al momento de la colada, mientras disminuye la temperatura del líquido en el molde, el Boro actúa reduciendo la solubilidad del Fe, haciendo que éste último precipite antes del comienzo de la formación de la fase Beta del latón. Se beneficia entonces la nucleación heterogénea de los granos de la fase Beta, resultando en una mayor cantidad de granos nucleados. A medida que se desarrolla el enfriamiento, comienzan las reacciones en estado

sólido precipitando la fase alfa, cuya cantidad y morfología dependerá de la velocidad de enfriamiento y composición química utilizada. Otra de las ventajas del uso del refinador de grano, es una mejor distribución de los elementos aleantes que pueda llegar a tener el latón, gracias a la mayor cantidad de límites de grano, donde se repartirán más uniformemente. Un ejemplo de esto es el caso del plomo, el cual se adiciona para aumentar la maquinabilidad del producto colado en su posterior acabado final.

Probablemente el refinador actúa en el líquido disminuyendo su tensión superficial, y por tanto logra que el líquido “moje” mejor el molde al bajar su viscosidad. Es un parámetro importante a considerar durante la fusión el tiempo de vida del refinador pues todas las ventajas mencionadas no estarán presentes si el refinador no se encuentra activo o en las cantidades requeridas.

Es por todo esto que la vida de las partículas refinantes debe ser valorada por algún tipo de ensayo; si bien es fácil en aleaciones que solidifican como soluciones sólidas monofásicas o con pequeñas segundas fases, es realmente difícil en latones bifásicos debido a que la mezcla de fases enmascara el grano refinado. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo experimental es desarrollar un método para evaluar el tiempo de vida de un refinador de grano en un latón amarillo al plomo.

PARTE EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados fueron latón amarillo Cu-40Zn sin refinador y latón amarillo aleado con pequeñas cantidades de Pb, Al y Fe, los cuales resultan en un Zn equivalente cercano al 40%, con refinadores de distinto origen. Las aleaciones mencionadas fueron re-fundidas y mantenidas a 950 +/- 10°C. La temperatura fue controlada periódicamente a lo largo de todos los ensayos por medio de una termocupla tipo K. Para la fusión se utilizó un horno de crisol de carburo de silicio calefaccionado a gas natural. Las técnicas utilizadas para caracterizar las muestras fueron microscopía óptica (microscopio óptico marca Micoba) y técnicas de preparación metalográficas convencionales. El reactivo usado, para revelar la microestructura, fue FeCl₃ 10 ml, HCl 5 ml y H₂O 100 ml. Se realizaron medidas de tamaño de grano basadas en la norma ASTM E112 - 10. Las muestras fueron luego analizadas por medio de una pistola portátil de fluorescencia de rayos X (marca Bruker S1 - Titán), a fin de determinar su composición química.

RESULTADOS

En primer lugar, se funde un lingote de latón amarillo Cu-40%Zn sin refinador de grano y sin aleantes con distintas velocidades de enfriamiento para observar los cambios en una microestructura sin refinar. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes micrografías:

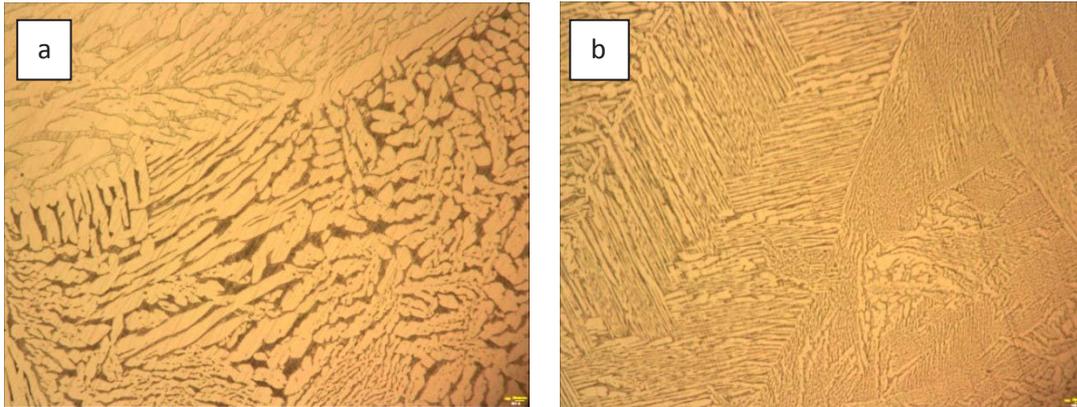


Fig. 1 - (a) enfriada en molde de arena. (b) en molde metálico. 100x aumentos

En las micrografías se observa una matriz de granos Beta (color marrón oscuro), sobre la cual se han desarrollado una serie de agujas de fase Alfa (color marrón claro). Todas comenzaron a crecer a partir de los límites de grano de la fase Beta. Sin embargo, la morfología de las agujas fue cambiando al aumentar la velocidad de extracción calórica; mientras que en el primer caso, una velocidad de enfriamiento lenta permite que las agujas de la fase alfa sean gruesas (Fig. 1 (a)) por otro lado el aumento de la velocidad de enfriamiento modificó la morfología de las agujas volviéndolas más finas (Fig. 1 (b)).

Se realizó exactamente el mismo procedimiento anterior pero con la aleación con refinador. Las metalografías obtenidas son mostradas a continuación;

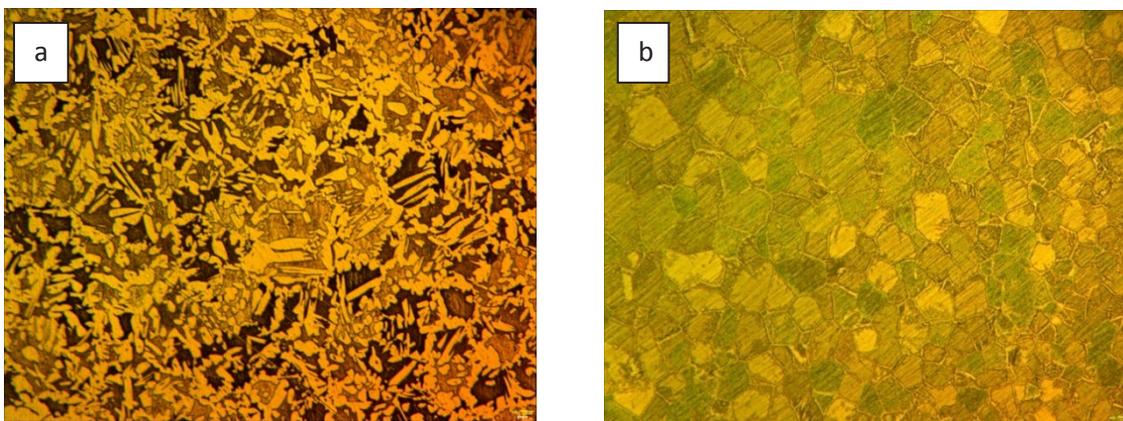


Fig. 2 – (a) Latón 60-40Zn con refinador de grano enfriado lentamente en molde de arena. (b) con refinador de grano templado en agua. 100x aumentos

Se observa el cambio en la morfología de la fase alfa, cuando se compara estas micrografías con las expuestas en la Fig. 1. En el caso del molde en arena (Fig. 2 (a)), la fase alfa nuclea en los bordes de grano de la fase Beta, formando un conjunto de fases difícil de caracterizar por lo intrincado de la disposición. En cambio, en el molde templado en agua, las agujas de alfa fueron apenas visibles, muy finas y en escasa cantidad, observándose más claramente los límites de grano (Fig. 2 (b)).

Del análisis de las imágenes surge la idea que el mejor método para determinar la presencia del refinador en la estructura, es retener la estructura de colada en los instantes iniciales al comienzo de la solidificación. Esto se logra con un temple entre la temperatura de solidus y

el límite alfa/beta. Como resultado se obtiene una estructura granular y el análisis de esta morfología permite dilucidar el efecto del refinador de grano.

Como información adicional, es interesante resaltar que el enfriamiento en coquilla también representa una alternativa posible para lograr una rápida solidificación del metal. Tiene como única dificultad el hecho de necesitar un secado a más de 100°C para quitarle la humedad que pudo haber absorbido el óxido de hierro que se forma en su superficie ya que éste es higroscópico.

Evaluación del fading

A partir de los resultados obtenidos, se evalúan los parámetros siguientes:

Nivel de refinamiento

Cuanto menor sea el tamaño de grano alcanzado en el latón, mayores serán los beneficios en el producto final. Por lo tanto, el tamaño de grano logrado en la colada es un parámetro muy importante a considerar.

Tiempo de vida del refinador (Fading)

Otro parámetro a considerar es el tiempo en que el refinador permanece de manera activa en el metal líquido sin perder su capacidad de refinar la estructura. Puede suceder que pasado cierto tiempo el efecto del refinador sea anulado, generalmente producto de la oxidación o la combinación con otros elementos. Este hecho, conocido también por su nombre en inglés, "fading", es importante para saber si un metal líquido mantenido por largo tiempo a alta temperatura puede ser luego colado sin riesgo a perder el efecto del refinador. Por lo tanto, el tiempo en que el refinador permanece activo y logra un tamaño de grano pequeño también es otro parámetro importante a evaluar.

Teniendo esto como referencia, se procede a templar en agua las muestras coladas en el molde de arena; de esta manera se asegura el rápido enfriamiento para delinear correctamente cada borde de grano. Cada molde es desechado al templarlo, por ser de material descartable, por lo que se debieron fabricar suficientes moldes para tomar la totalidad de las muestras.

Evaluación

El ensayo de evaluación del fading fue realizado sobre la base de lingote de latón amarillo con un refinador de grano que contiene sales de boro. Inicialmente, se re-funde dicho lingote, se extrae una muestra de metal líquido, se la cuela en un molde de arena y se temple el conjunto. Esto último se repite cada una (1) hora hasta llegar al tiempo de 12 horas, correspondiendo por tanto un total de 13 muestras. Durante todo el ensayo se regula la llama del horno para mantener la temperatura en un rango de 950 +/- 10°C. De esta manera se obtienen los datos para poder evaluar tamaño de grano vs. tiempo de mantenimiento en estado fundido. Ver Gráfico 1.



Gráfico 1. Diámetro medio del grano en función de las horas de mantenimiento del líquido a $950 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Se observa del gráfico que la potencialidad del refinador se mantiene activa durante las 12 horas del ensayo, no percibiéndose la presencia de fading. Esto es así ya que la pendiente de la línea de tendencia tiende a cero en el gráfico, manteniéndose los valores de tamaño de grano relativamente constantes en el tiempo.

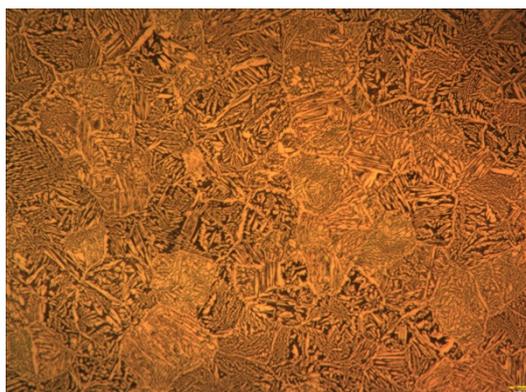


Fig. 3—Estructura de latón después de estar 12 horas en estado líquido a 950°C

En la Fig. 3 se presenta la microestructura templada de la última muestra después de mantenerla líquida, sin agitación y sin flux de cobertura por 12 horas. Observando la metalografía se percibe una creciente cantidad de fase alfa, que se proyecta desde los límites hacia el interior del grano, pero así y todo, se puede ver el borde de grano claramente.

La velocidad de enfriamiento fue siempre constante durante todo el test, entonces la variable extra a considerar fue la composición química. Debido a las 12 horas de mantenimiento, la aleación fue progresivamente perdiendo Zn por volatilización del mismo. Dicha pérdida no fue contrarrestada por el agregado de más Zn por considerarse intrascendente en este estudio, ya que la aleación se conservó siempre dentro del rango bifásico, industrialmente útil. Por lo tanto, al perder Zn, referenciándose al diagrama de equilibrio se tendrán crecientes cantidades de fase alfa evaluadas por la regla de la palanca. A pesar de utilizar alta velocidad de enfriamiento, dichas cantidades de alfa no pudieron ser suprimidas de la estructura, apareciendo por tanto en las figuras de las últimas 3 horas del ensayo, ver Fig. 3. La pérdida de Zn, al hacer crecer la cantidad de alfa coexistente en equilibrio con la fase

beta, dificultó levemente la medición del tamaño de grano en las últimas 3 horas del ensayo para cada refinador. Sin embargo dicha pérdida no afectó de manera significativa a los resultados obtenidos.

Por otro lado, también fue evaluada la variación de los distintos elementos de la composición química del latón en función del tiempo de mantenimiento del metal líquido. El contenido de Zn disminuyó aproximadamente un 2% respecto del total de los componentes de la aleación. Los demás aleantes, Pb, Al y Fe, no sufrieron pérdida alguna en el transcurso de los ensayos. En las últimas horas, su porcentaje relativo se vio ligeramente incrementado, producto de la disminución del porcentaje relativo de Zn en la aleación. Es importante notar que el Fe, principal causante del refinamiento del latón, se mantuvo constante, con valores adecuados para refinar, lo cual se condice con lo observado en los ensayos donde el fading estuvo ausente.

CONCLUSIONES

En definitiva, el método encontrado consta de los siguientes pasos:

- 1) Fabricación de un molde de arena, tipo cilindro hueco de 3 cm de diámetro por 10 cm de alto;
- 2) Colado del metal líquido en el molde de arena;
- 3) Sumersión y agitación del molde en agua, una vez que el líquido haya solidificado (60 segundos después de colado);
- 4) Corte y preparación metalográfica de la muestra;
- 5) Evaluación del tamaño de grano a partir de microscopía óptica;

El método desarrollado permite una rápida y fácil obtención de resultados para evaluar la presencia del refinador de grano en la aleación. El método puede ser reducido al límite de requerir una mínima interpretación y conocimiento por parte del evaluador de la metalografía, dando mayor amplitud de aplicación al método.

Bibliografía:

- *ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys. Various authors. 1991*
- *ASM Handbook Volume 4: Heat Treating. Various authors. 1991*
- *Grain refinement of permanent mold cast Copper base alloys. M. Sadayappan, J.P. Thomson, M. Elboujdaini, G. Ping Gu, and M. Sahoo. 2004*