

EL FUNDIDOR

Única revista de información especializada en el sector

Un homenaje
tandilense a nuestro
oficio fundidor

EL VALOR DEL OFICIO

PÁG. 12 INNOVACIÓN

Hornos de inducción de nueva
generación: eficiencia y
sustentabilidad en la fundición

PÁG. 18 HISTORIA VIVA DE LA FUNDICIÓN

Ermino Gaspari: la pasión por el
oficio y una vida dedicada al metal

PÁG. 36 LOS METALES Y SUS TÉCNICAS

Propiedades mecánicas de la
fundición vermicular.



EL FUNDIDOR



CIFRA
FUNDIDORES
ARGENTINA

OPTIMIZACIÓN DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN MATERIALES METÁLICOS

¿IMPORTA EL TAMAÑO DE GRANO AUSTENÍTICO EN LAS FUNDICIONES DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL?

Los ingenieros Boeri, Massone y Fernandino analizan la influencia del tamaño de grano austenítico (TGA) en aleaciones ferrosas y, particularmente, en las fundiciones de grafito esférico (FGE), abordando hallazgos recientes sobre cómo el TGA afecta la microestructura, la templabilidad y las propiedades mecánicas, y explicando por qué este conocimiento es clave para los fundidores, productores de piezas, que buscan optimizar tratamientos térmicos y obtener piezas con rendimiento confiable.



I N T E M A



Ing. Diego Omar Fernandino

Ingeniero electromecánico, PhD en Ciencia de Materiales, profesor adjunto exclusivo del Departamento de Ingeniería Mecánica de la FI-UNMdP, investigador adjunto de CONICET y coordinador del Área Metalurgia de INTEMA.



Ing. Roberto Enrique Boeri

Ingeniero mecánico (UNMdP), PhD (Metals and Materials Engineering, University of British Columbia), profesor titular del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata (FI-UNMdP), investigador principal de CONICET, INTEMA.



Ing. Juan Miguel Massone

Ingeniero mecánico (UNMdP), PhD en Ciencia de Materiales (UNMdP), profesor titular del Departamento de Ingeniería Mecánica, FI-UNMdP, investigador principal de CONICET, INTEMA.

El tamaño de grano, tanto de la microestructura a temperatura ambiente como a alta temperatura, como es el caso de la austenita en materiales ferrosos, se encuentra dentro de las características que influyen sobre las propiedades mecánicas, la microestructura y la respuesta a los tratamientos térmicos de los materiales metálicos.

Importancia del tamaño de grano austenítico en aceros y fundiciones de grafito esferoidal

En el caso particular de los aceros, el tamaño de grano austenítico (TGA) es una variable que debe ser conocida para, por ejemplo, realizar tratamientos térmicos exitosos, ya que, entre otras características, condiciona la capacidad del acero de adquirir la estructura de temple, denominada templabilidad. A menor tamaño de grano, más refinada será la estructura a temperatura ambiente, y, consecuentemente, mejores serán las propiedades mecánicas más relevantes, como la dureza, resistencia y tenacidad. Por ejemplo, una Martensita obtenida a partir de un grano austenítico más fino presenta mayor tenacidad que aquella proveniente de una austenita con un tamaño de grano más grueso.

Estos conocimientos, ampliamente estudiados para los aceros, no encuentran un paralelo en las fundiciones de grafito esferoidal (FGE). Sin embargo, estas fundiciones compiten con los aceros, aun en el campo de los materiales de alta y muy alta resistencia mecánica, y, a priori, no existen motivos para pensar que su TGA tiene poca o ninguna influencia sobre sus propiedades.

En esta nota, trataremos de analizar los motivos que llevan a que se haya prestado poca atención al TGA en FGE, y presentaremos brevemente resultados de investigaciones que muestran la notable influencia del TGA en el procesa-

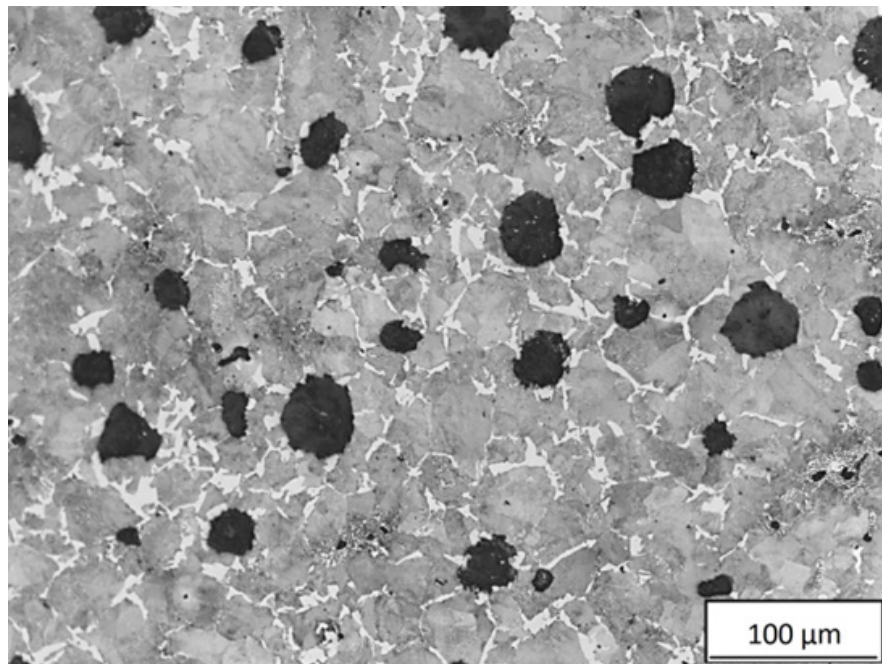


Figura 1. Microestructura de una FGE ferrítico-perlítica resultante de un ciclo térmico que procura delimitar el grano austenítico a partir del crecimiento de la ferrita en su BG.

miento y tratamiento térmico de las FGE.

Uno de los motivos que justifican la falta de caracterización del TGA en FGE es la dificultad en revelar la presencia de ese borde de grano en muestras enfriadas normalmente hasta temperatura ambiente. La figura 1 muestra la microestructura de una fundición perlítico-ferrítica en la que, mediante un procedimiento especial se logra la precipitación de ferrita a lo largo del BG austenítico (Figura1), y permite, así, su caracterización.

La influencia del TGA sobre las transformaciones en estado sólido de las FGE

Los primeros estudios conocidos de la influencia del TGA sobre las transformaciones en estado sólido de las FGE fueron planteados por Sikora y coautores (Figura 2). En este estudio se realizaron ensayos de templabilidad (ensayos Jominy conforme la norma ASTM A255) sobre probetas provenientes de la misma colada y estructura de solidificación (misma composición química y tamaño de pieza), enfriadas directamente luego de un desmoldeo en caliente (granos de austenita primarios de gran tamaño), y los resultados se compararon con

los obtenidos en muestras re-austenizadas luego del desmoldeo (granos mucho más pequeños).

Fue posible observar un cambio muy significativo en la templabilidad de ambas FGE, siendo mucho mayor la templabilidad del material enfriado directamente desde el desmoldeo en caliente (grano muy grande). Más recientemente (Figura 1) se estudió la influencia del TGA sobre probetas normalmente solidificadas en arena y luego sometidas a tratamientos térmicos para disminuir o agrandar el TGA. Así pudo verificarse que la realización de un normalizado disminuye el TGA, mientras que un austenizado a alta temperatura lo aumenta.

Estas observaciones son claramente lógicas y esperables, y coinciden con lo observable en aceros y otras aleaciones metálicas. No obstante, en el estudio se observó la magnitud de los cambios, siendo posible conferir a la misma FGE un TGA variable de entre 25 y 60 micrones aproximadamente.

Al realizar ensayos de templabilidad Jominy sobre muestras de FGE poseyendo estos dos tamaños de grano “extremos”, se obtuvieron los resultados observables

en la Figura 2. Es claro que el menor tamaño de grano contribuye a una menor templabilidad, como se observa en la Figura 2-a. También puede verse en la figura que la misma velocidad de enfriamiento (distancia Jominy, d_j) aplicada al mismo material, pero con distinto tamaño de grano, por ejemplo, a una distancia Jominy de 10 mm, resulta una diferencia significativa de dureza desde 38HRC a 56HRC para las muestras de grano fino y grueso respectivamente, con la consecuente diferencia en la microestructura, tal como se muestra en las metalografías de la Figura 2-b.

Cómo se ve afectado el productor de piezas

Ahora bien, la pregunta es: ¿qué implicancias prácticas de interés para el productor de piezas de FGE pueden tener estos conocimientos?

Son varios los aspectos que pueden señalarse. En primer término, el material que se enfría dentro del molde, directamente luego de colar, presentara mucho mayor templabilidad que ese mismo material cuando ha sido re-austenizado para realizarle un tratamiento térmico. Esa diferencia en templabilidad no es tenida en cuenta por los programas (software) que calculan

tos térmicos, el conocimiento de la influencia del tamaño del TGA sobre la microestructura y propiedades resultantes es fundamental para garantizar el resultado de un dado tratamiento térmico, y satisfacer requisitos de microestructura y propiedades mecánicas.

Quedan, sin embargo, aspectos que no han sido aún resueltos y son motivo de investigación en este momento. Por ejemplo, es necesario identificar cuál es la influencia del TGA sobre las propiedades mecánicas obtenidas en microestructuras de normalizado, temple y austemperizado.

Si los conceptos conocidos para aceros se reprodujeran en las FGE, podríamos esperar que un menor TGA conduzca a mejores propiedades en todos los casos, entendiendo por mejores propiedades a una mejora en la relación tenacidad vs. resistencia a la rotura. Así, por ejemplo, un fundidor podría realizar un tratamiento térmico de normalizado a sus piezas de FGE previo a un posterior tratamiento de temple o austemperizado, esperando mejorar las propiedades del producto final. Sin embargo, deberá comprender que en ese proceso de refinación del TGA ha obtenido, como consecuencia indeseable, una pérdida de templabilidad que podría llevar a la presencia de estructuras no deseadas.

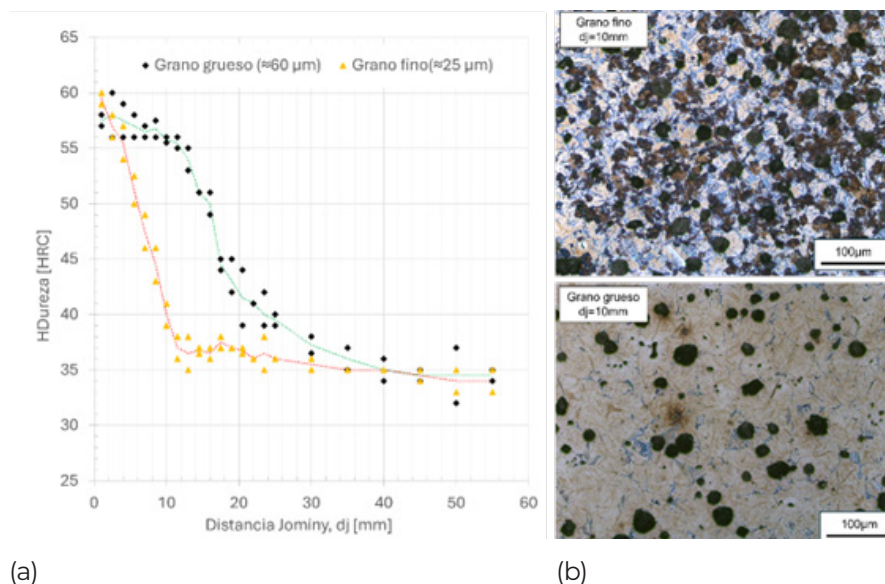


Figura 2. Resultados de los ensayos de templabilidad Jominy sobre muestras de FGE poseyendo dos tamaños de grano diferentes.

(a) Curvas Jominy.

(b) Microestructuras de ambas muestras a una distancia Jominy $d_j=10\text{mm}$.

La muestra de grano fino, y menor templabilidad, ha atravesado la zona de transformaciones perlíticas, permitiendo la precipitación de una importante cantidad de perlita fina, evidente en la metalografía como zonas grises, mientras que el resto de la matriz está formado por martensita y nódulos de grafito.

En cambio, al agrandar el tamaño de grano, la misma velocidad de enfriamiento conduce a una estructura prácticamente formada en su totalidad por Martensita y grafito, lo que justifica su mayor dureza.

la microestructura de una pieza luego de la solidificación o de un tratamiento térmico.

Las piezas que solidifiquen con grano austenítico más fino por haber sido enfriadas a mayor velocidad, presentarán menor templabilidad. Así, con este conocimiento, es posible alcanzar una justificación más acabada de la microestructura observable en distintas secciones de una pieza solidificada normalmente en un molde.

En aquellos casos en los que el fundidor lleve adelante tratamien-

En futuras notas reportaremos los resultados de los estudios que investigan la influencia del TGA sobre la resistencia y tenacidad de FGE ferrítico-perlíticas, perlíticas, ausferríticas y martensíticas.

Referencias bibliográficas

- Lanchas, M., Fernandino, D.O., Massone, J. et al. Revealing, Modification and Influence of the Austenitic Grain Size on the Solid-state Transformations in Ductile Iron. *Inter Metalcast* (2025). <https://doi.org/10.1007/s40962-025-01547-1>
- Sikora, J., & Boeri, R. Solid state transformations in ductile iron—influence of prior austenite matrix microstructure. *International Journal of Cast Metals Research*, (1999)11(5), 395–400. <https://doi.org/10.1080/13640461.1999.11819306>