

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

RESISTENCIA Y TENACIDAD A LA FRACTURA

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FUNDICIÓN VERMICULAR CON DISTINTAS MATRICES

La fundición vermicular (FV) combina las ventajas de las fundiciones laminares y nodulares, ofreciendo un equilibrio entre resistencia mecánica, conductividad térmica y resistencia a la fatiga térmica. Este trabajo analiza cómo los distintos tratamientos térmicos influyen en su microestructura y propiedades mecánicas, ampliando las posibilidades de aplicación industrial de este material estratégico.





Ricardo W. Gregorutti,
Ingeniero Metalúrgico (UNLP),
Investigador Adjunto de la
Comisión de Investigaciones
Científicas de la Provincia de
Buenos Aires.



Jorge E. Grau, Ingeniero
Metalúrgico (FI-UNLP),
Profesional de Apoyo Principal
CIC-LEMIT y docente-
capacitador del curso Fundación
de Precisión (LEMIT-CIC).

La fundición vermicular (FV) es parte de la familia de las fundiciones grises pertenecientes al sistema eutéctico irregular Fe-C, caracterizada por una morfología de grafito intermedia entre las clásicas fundiciones laminares y nodulares (FL y FN, respectivamente).

En la FV, el grafito está interconectado como en el caso de la FL pero exhibiendo una forma compacta, con puntas redondeadas. Estudios realizados para determinar la compacidad de las partículas de grafito revelaron que la relación entre la longitud L y el ancho d (L/d) está en el rango de 2-10 en FV, mientras que para FL, L/d es 30.

Principales propiedades

Estas características morfológicas confieren a la FV una aceptable resistencia mecánica, ductilidad y alta conductividad térmica. La convergencia de estas propiedades promueve una alta resistencia a la

fatiga térmica, propiedad que permite el uso de la FV en componentes sometidos a ciclos térmicos.

Aplicaciones industriales

Las aplicaciones industriales del FV comenzaron en los años 1960, con la fabricación de componentes para vehículos pesados como camiones, tractores y grandes motores diésel para la industria naval. Posteriormente, el interés en este material ha aumentado, especialmente en la industria automotriz para la producción de bloques de cilindros para motores diésel de alto rendimiento, ya que sus mejores propiedades mecánicas en comparación con la FL permiten una reducción considerable del peso de este componente. Al mismo tiempo, se ha reportado el uso del hierro FV en discos de freno en trenes ferroviarios para mejorar el rendimiento de frenado y la vida útil. En la Argentina, el LEMIT ha desarrollado experiencias de uso de la FV en matrices para vidriería,

discos de freno para automóviles de competición y lingoteras para colado de metales líquidos.

Cómo mejorar sus propiedades

Al igual que en el caso de la FN austemperizada (ADI), las propiedades mecánicas de la FV pueden mejorarse mediante el tratamiento térmico de austemperizado, lo que podría extender el uso de este material a diversas aplicaciones industriales. La microestructura austemperizada está compuesta por ferrita acicular y austenita de alto carbono, comúnmente llamada ausferrita.

A continuación, se describirá el estudio realizado referido a la resistencia a la tracción, la tenacidad a la fractura y las propiedades de impacto de este material con microestructuras ferríticas, perlíticas y ausferríticas, obtenidas mediante los correspondientes tratamientos térmicos.

Análisis microestructural

La composición química de la FV analizada, en % en peso, fue la siguiente:

Fe-3,38C-2,56Si-0,48Mn-0,014S-0,020P-0,035Cr-0,027Ni.

encuentran interconectadas formando una red que genera una discontinuidad en la matriz metálica, lo que afecta la capacidad de deformación elástica.

Detalle de los tratamientos térmicos y microestructuras

Microestructura de la matriz	Tratamiento térmico	Temperatura de austenizado	Enfriamiento	Temperatura de austemperizado (Ta)
Ferrítica	Recocido	900 °C	En horno	-
Perlítica	Normalizado	900 °C	En aire	-
Austemperizada	Austemperizado	900 °C	-	300 °C
Austemperizada	Austemperizado	900 °C	-	350 °C
Austemperizada	Austemperizado	900 °C	-	400 °C

Cantidad de austenita retenida en función de la Ta

Ta (°C)	% Austenita retenida
300	28
350	35
400	39

Análisis de las propiedades mecánicas

Esta tabla presentada a continuación muestra los valores de los ensayos de tracción y dureza obtenidos en dichos ensayos.

Las microestructuras ausferríticas mostraron un aumento significativo en las propiedades mecánicas, observándose que la σ_{rot} , la σ_{fl} y la dureza aumentan a medida que disminuye la Ta. Este comportamiento se debe a que la microestructura se vuelve más fina y acicular a menor Ta, como se mostró en la Fig. 3.

La FV con matriz ferrítica mostró la mayor ductilidad con una elongación de 4,4 %, mientras que para la FV perlítica la elongación disminuyó hasta el 1,0 %. En el caso de las FV con matrices ausferríticas la ductilidad aumentó proporcionalmente con la cantidad de austenita retenida.

Cabe destacar que la muestra austemperizada a 400 °C y la perlítica registraron valores similares de σ_{rot} y σ_{fl} . Sin embargo, la elongación de la muestra ausferrítica fue mayor, ya que la presencia de austenita en la microestructura confiere mayor ductilidad.

Matriz	σ_{rot} / MPa	σ_{fl} / MPa	E / GPa	σ / %	HB	CG / %
Ferrítica	337	243	123	4.4	153	95
Pearlítica	632	411	114	1.0	257	90
Austemperizada a 300 °C	943	700	132	0.8	410	85
Austemperizada a 350 °C	848	546	117	1.1	354	90
Austemperizada a 400 °C	675	450	133	2.8	292	95

Por otro lado, el módulo de Young (E), que indica la capacidad de deformación elástica de los materiales, registró valores comprendidos en el rango de 114 a 133 GPa. Estos resultados podrían atribuirse a la distribución heterogénea y a las características morfológicas de las partículas de grafito, que se

Ensayo de tenacidad a la fractura

La tenacidad a la fractura mide la resistencia a la propagación de una grieta. Esta propiedad se evaluó mediante la mecánica de fractura lineal elástica, que define el factor de intensidad de tensión KIC. Este parámetro representa la

capacidad inherente de un material para resistir la extensión progresiva de una grieta por tracción. Cuanto mayor sea el valor de KIC, mayor será la tensión necesaria para producir una rápida propagación de una fisura, y por lo tanto, mayor la resistencia del material a la fractura frágil.

Los resultados representados en la Figura 4 indicaron que la FV ferrítica presentó el valor más bajo de tenacidad a la fractura. Esta propiedad mejoró con el tratamiento de normalizado, aunque los valores más altos se obtuvieron con las estructuras austemperizadas.

Al comparar los valores del factor KIC con los obtenidos en los ensayos de tracción (Tabla 2), se puede inferir que a mayor resistencia mecánica, mayor tenacidad a la fractura y, en consecuencia, mayor energía requerida para propagar una fisura.

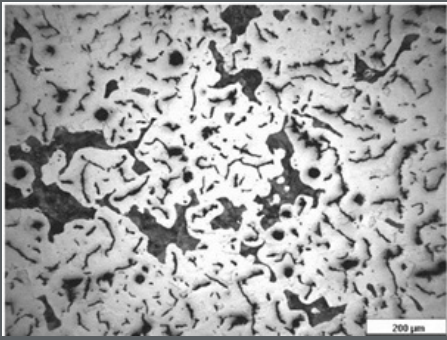
Ensayo de impacto Charpy

El ensayo de impacto Charpy permite determinar la tenacidad de un material en términos de la energía absorbida por el efecto de las cargas dinámicas. Los resultados ilustrados en la Figura 5 indican que la FV con matriz ferrítica registró la mayor energía absorbida, con un valor de 33,3 J, mientras que la FV perlítica mostró la menor tenacidad (14,3 J). Las FV austemperizadas a 300 °C y 350 °C exhibieron energías absorbidas de 17,2 J, 17,6 J y 28,4 J, de acuerdo con las respectivas Ta.

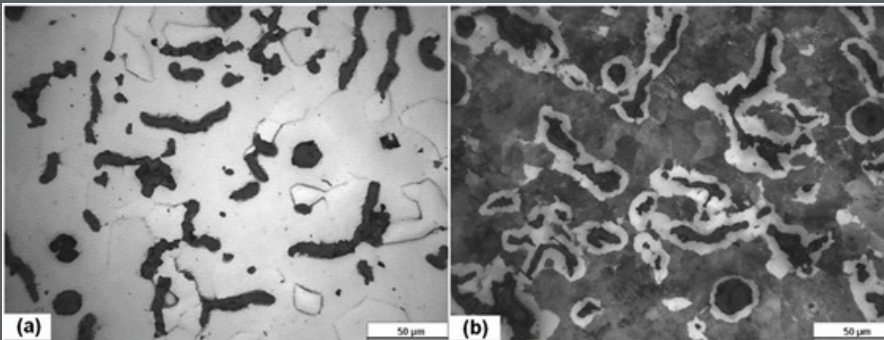
La tenacidad muestra la misma tendencia que la ductilidad, lo que indica que la capacidad de absorción de energía es mayor cuanto más dúctil es el material.

Consideraciones finales

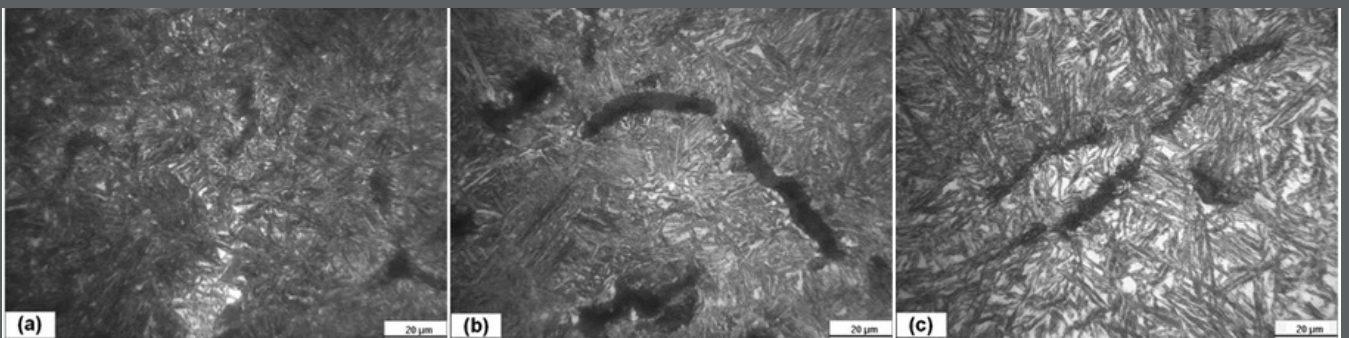
Se ha intentado complementar los datos correspondientes a las propiedades mecánicas de la FV en función de la microestructura de la matriz, con el objetivo de brindar una mayor información que permita incrementar el conocimiento existente sobre este material.

Figura 1

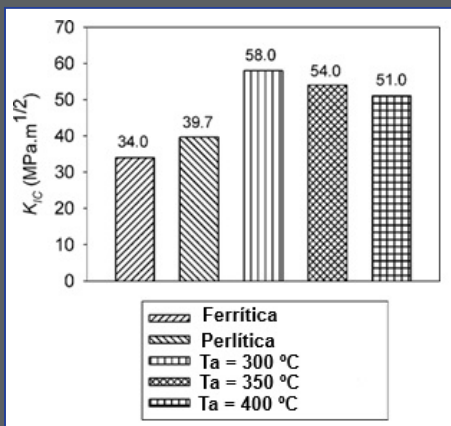
Microestructura de colada de la FV obtenida en molde de arena compuesta principalmente por ferrita y perlita, en una proporción 80/20.

Figura 2

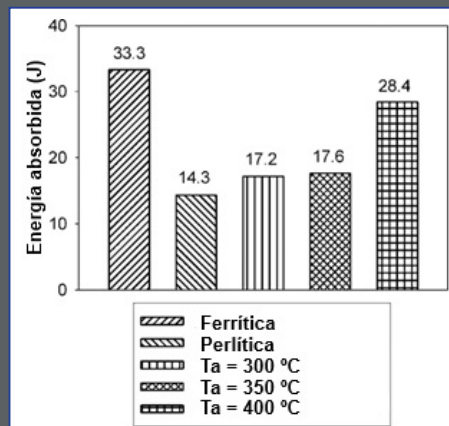
Microestructuras ferrítica (a) y perlítica (b), obtenidas de los respectivos tratamientos térmicos.

Figura 3

Microestructuras de FV austemperizada: (a) 300 °C, (b) 350 °C y (c) 400 °C. Cuanto menor es la T_a , más fina y acicular es la microestructura ausferrítica y con menor contenido de austenita retenida (Fig. 3a). Por el contrario, el aumento de la temperatura de austemperizado genera una microestructura más vasta, con una mayor cantidad de austenita retenida (Fig. 3c).

Figura 4

Factor de intensidad de tensión K_{IC} para las diferentes matrices.

Figura 5

Valores de la energía absorbida en el ensayo Charpy.