

RESISTENCIA A LA FATIGA TÉRMICA DE LA FUNDICIÓN VERMICULAR

THERMAL FATIGUE RESISTANCE OF VERMICULAR CAST IRON

R. Gregorutti¹, J. Grau², R. Gotelli², J. Sarutti²

1.- Investigador CIC-LEMIT. metalurgia@lemit.gov.ar

2.- Prersonal de Apoyo CIC-LEMIT

RESUMEN

La Fundición Vermicular (FV) se caracteriza por su elevada resistencia a la fatiga térmica. Esta propiedad permite su uso para confeccionar piezas sometidas a condiciones de trabajo de ciclado térmico. En la microestructura de la FV es común la presencia de grafito nodular, lo que puede afectar las propiedades físicas de la fundición. En este contexto, la resistencia a la fatiga térmica de la FV con variados porcentajes de nódulos fue evaluada mediante ensayos de reciclado térmico entre 70 y 600°C. Los resultados indicaron que, para una cantidad aceptable de 20% de nódulos, el número de ciclos a la primera fisura fue de 350, mientras que para porcentajes de 60 y 80% de nódulos el número de ciclos disminuyó considerablemente a 95 y 80, respectivamente.

Palabras clave: Fundición vermicular, fatiga térmica.

ABSTRACT

Vermicular cast iron (VCI) is characterized by its high resistance to thermal fatigue. This property allows manufacture components subjected to thermal shocks. In the microstructure of VCI is common the presence of nodular graphite, which can affects the physical properties of the material. In this context, the thermal fatigue resistance of the VCI with varying percentages of nodules was evaluated by thermal cycling tests between 70 and 600°C. The results indicated that for an acceptable amount of 20% graphite nodules, the number of cycles at the first crack was 350, while for percentages of 60 and 80% of nodules the number of cycles considerably decreased to 95 and 80, respectively.

Keywords: vermicular cast iron, thermal fatigue.

INTRODUCCIÓN

La Fundición Vermicular (FV) forma parte de la familia de las fundiciones de hierro con grafito libre, conjuntamente con las clásicas Fundiciones Laminares (FL) y Esferoidales o Nodulares (FE), ilustradas en la Figura 1.

La FV inicialmente fue considerada como un defecto de la FE, ya que era encontrada en piezas donde el grafito presentaba una nodularidad deficiente. Sin embargo, los estudios realizados en el marco de los sistemas eutécticos irregulares demostraron que esta nueva fundición de hierro presenta propiedades mecánicas próximas a la FE y propiedades físicas próximas a la FL [1]. Esto se debe a que el grafito vermicular posee una morfología compacta, con extremos redondeados, que reduce el efecto de entalla que producen las partículas de grafito, con lo cual se obtienen resistencias a la tracción de 350 MPa para las matrices ferríticas y 520 MPa para las perlíticas, con alargamientos del 8 y 1%, respectivamente. Al mismo tiempo, la dureza de la FV presenta valores entre 150 y 240 Brinell. Tanto los valores de resistencia mecánica, cuanto los de dureza se encuentran en un estadio intermedios respecto de la FL y FE, como se ilustra en la Figura 2.

Otra característica importante del grafito vermicular es que se encuentra interconectado al igual que en la FL, conformando una red que facilita la conducción de calor. En la Figura 3 se grafican los valores de conductividad térmica de las tres fundiciones de hierro, observándose que si bien la FL es la que posee la mayor conductividad térmica, como consecuencia de la mayor superficie de las láminas de grafito que permite una mejor disipación de calor, la conductividad de la FV presenta valores cercanos a altas temperaturas. La FN es la que posee la menor conductividad térmica debido a que los nódulos de grafito se encuentran aislados unos de otros, lo que no permite la efectiva transmisión del calor.

La combinación de resistencia mecánica, ductilidad

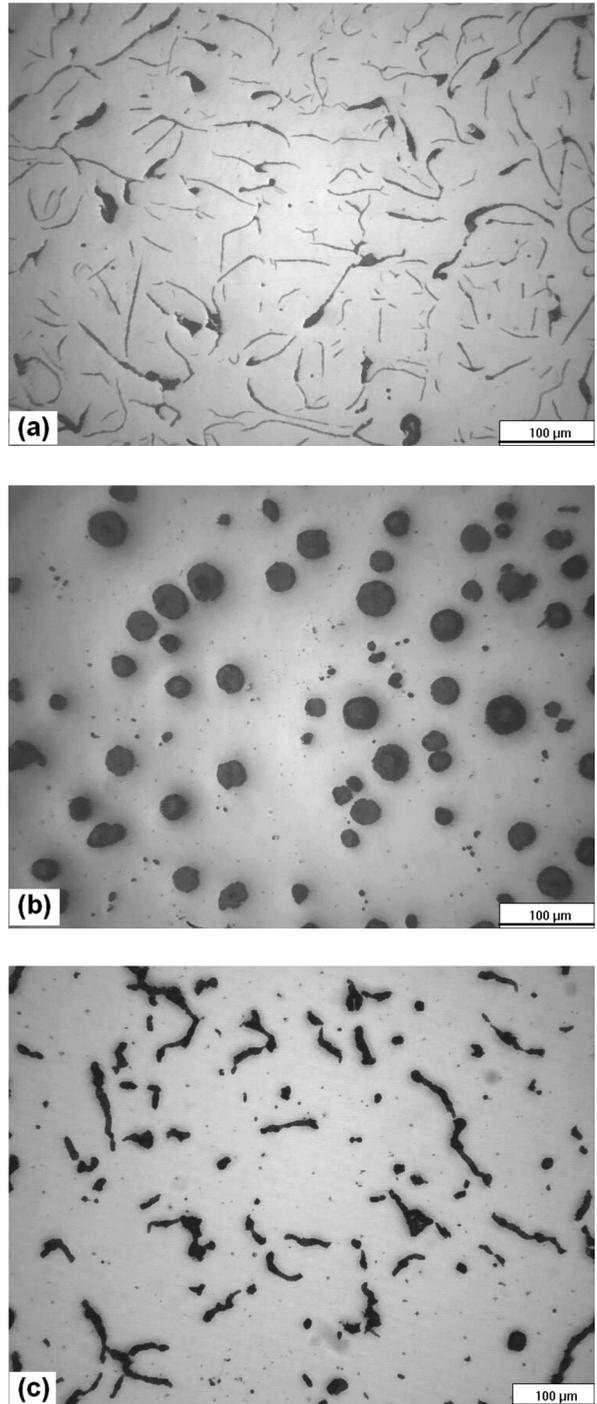


Figura 1. (a) Fundición Laminar, (b) Fundición Esferoidal, (c) Fundición Vermicular.

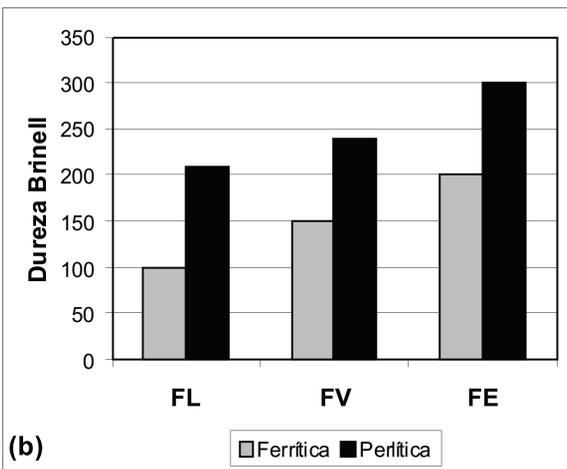
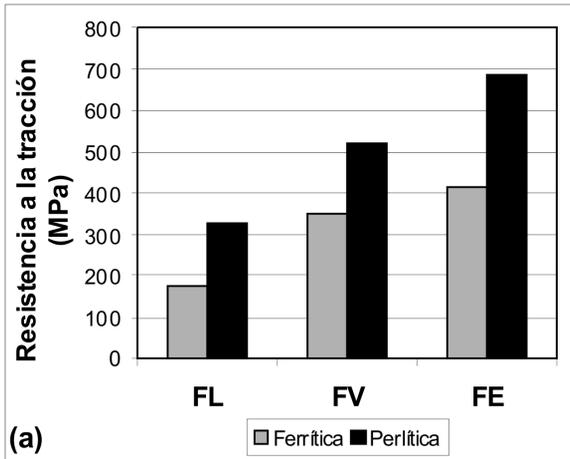


Figura 2. Propiedades de las fundiciones de hierro: (a) Resistencia a la tracción, (b) Dureza.

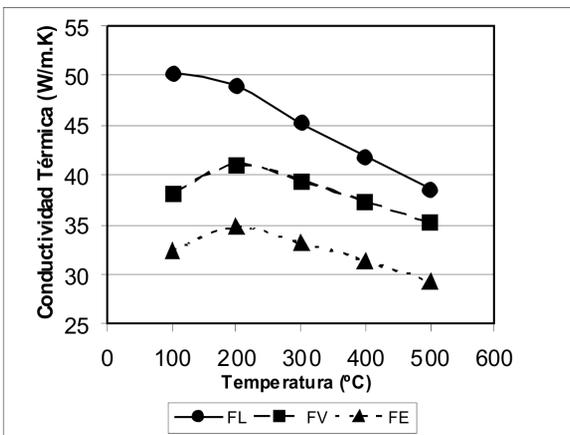


Figura 3. Conductividad térmica de las fundiciones de hierro.

y conductividad térmica conduce a que la FV posea una alta resistencia a la fatiga térmica. Esta propiedad hace viable su uso en piezas sometidas a condiciones de trabajo de ciclado térmico, como por ejemplo, discos y campanas de freno, matrices para vidriería y lingoteras para colado de metales líquidos [2,3]. En los últimos años, ha existido un creciente interés en la FV por parte de la industria automotriz para fabricar blocks de motores diesel, ya que la mayor resistencia mecánica respecto de la FL permite reducir espesores de pared, con lo cual se ha logrado una disminución de hasta un 15% en el peso de la pieza [4-6].

En trabajos previos se ha analizado la resistencia a la fatiga térmica en fundiciones de hierro, encontrándose que la resistencia de la FV es mayor que la FL, como se ilustra en la Figura 4, donde se registran los números de ciclos a la falla en función del contenido de molibdeno para ambas fundiciones [7]. El molibdeno es adicionado debido a que mejora esta propiedad.

En la FV es habitual encontrar un cierto porcentaje de nódulos de grafito (Figura 5), como producto del tratamiento de modificación morfológica.

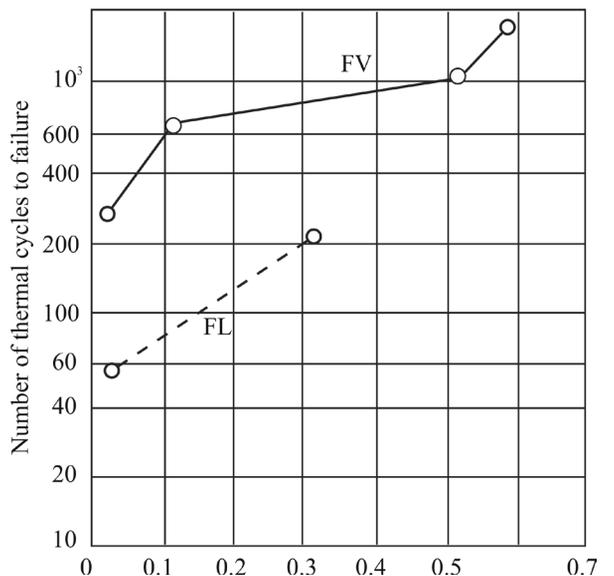


Figura 4. Resistencia a la fatiga térmica de FL y FV.

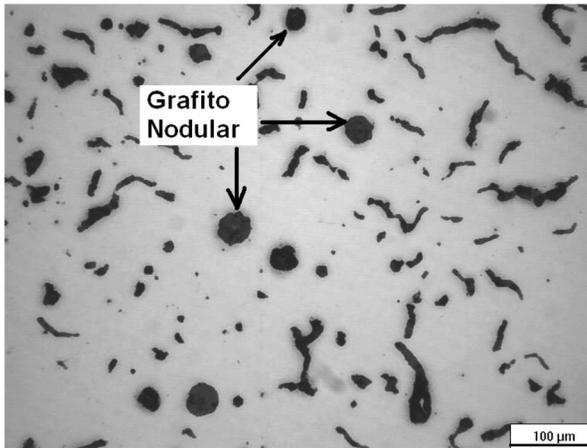


Figura 5. Grafito nodular en la FV.

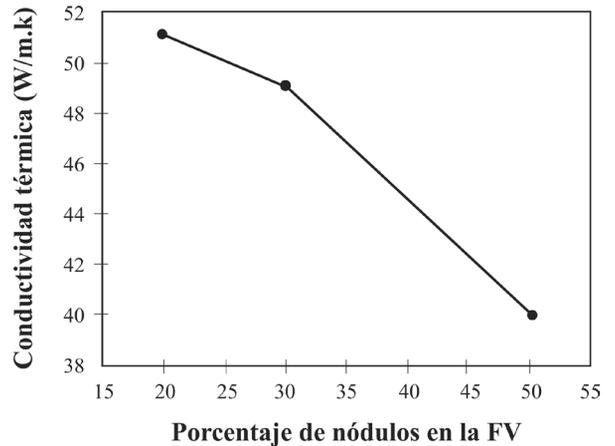


Figura 6. Variación de la conductividad térmica de la FV con el porcentaje de nódulos.

A medida que aumenta el porcentaje de nódulos se incrementa la resistencia mecánica de la FV, el módulo de elasticidad y el coeficiente de expansión térmica, pero al mismo tiempo disminuye su conductividad térmica [1,8]. En la Figura 6 se ilustra la disminución de la conductividad térmica con el porcentaje de nódulos, de acuerdo a calores reportados en Referencia 1, observándose que para un porcentaje de nódulos de 20% la conductividad térmica es de 51 W/m.K, mientras que para un porcentaje del 50% la conductividad se reduce a 40 K/m.K.

En este contexto, el presente trabajo evalúa la resistencia a la fatiga térmica de la FV en ensayos de ciclado térmico y se analiza la influencia de la cantidad de nódulos de grafito en esta propiedad.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Los estudios se realizaron en FV con porcentajes de nódulos de 20, 60 y 80%. La obtención de la FV se realizó mediante el tratamiento en cuchara de la fundición en estado líquido, agregando un 0,4% en peso de la aleación FeSiMgCeCa. Para incrementar el porcentaje de nódulos, se realizaron tratamientos con 0,6 y 0,7% de FeSiMgCeCa, respectivamente. La composición química de las FV analizadas fue la siguiente: 3,4%C, 2,4%Si, 0,2%Mn, 0,025%S y 0,018%P.

El ensayo de fatiga térmica se realizó montando las probetas a ensayar en un dispositivo conformado por dos cabezales. El calentamiento se generó colocando la probeta en el interior de una bobina conectada a un horno de inducción, de modo que el calentamiento se produzca por el denominado efecto Joule. El enfriamiento se realizó mediante una corriente de agua activada mediante una electroválvula de solenoide. Los semiciclos de calentamiento y enfriamiento fueron comandados por un sistema electrónico que activó alternativamente el horno de inducción y la electroválvula de solenoide, de modo de generar el ciclado térmico. El rango de temperaturas de ciclado fue entre 600°C y 70°C, las que fueron determinadas mediante una termocupla Chromel-Alumel. El dispositivo montado para realizar los trabajos se ilustra en la Figura 6.

ENSAYO DE FATIGA TÉRMICA

La finalidad del ensayo de fatiga térmica es determinar la cantidad de ciclos que soporta el material hasta la aparición de las fisuras provocadas por las tensiones generadas durante los respectivos calentamientos y enfriamientos alternativos. El fenómeno que se produce durante el ensayo puede visualizarse en la Figura 8, donde se representa el sistema de embridamiento y las tensiones

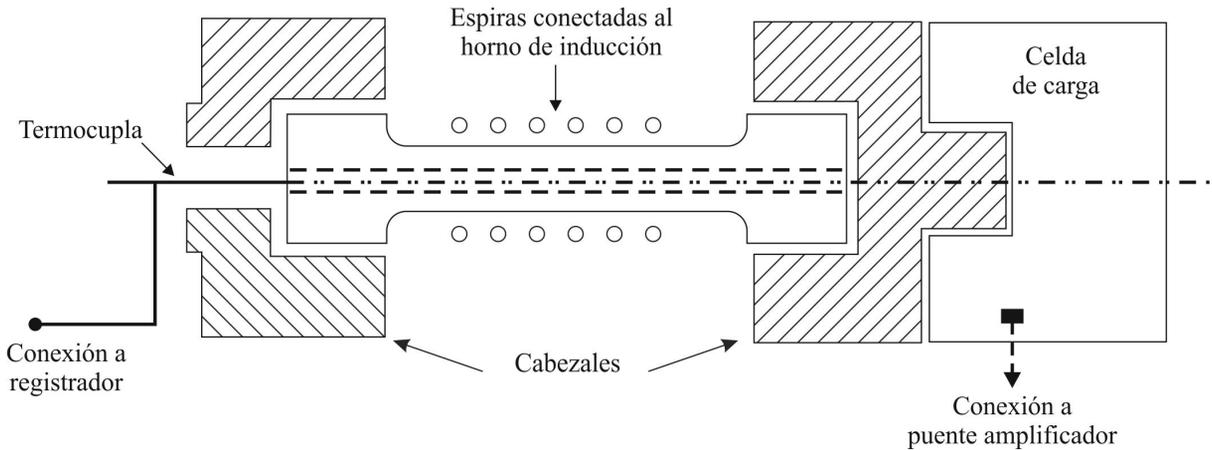


Figura 7. Esquema del equipo de fatiga térmica.

generadas durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento.

Al producirse un calentamiento localizado en la barra, la misma ve impedida su dilatación por los empotramientos, de modo que queda sometida a un estado de tensiones de compresión, cuyos valores quedan definidos por la siguiente expresión:

$$\sigma_C = \alpha(T) * E(T) * \Delta T \quad (1)$$

Donde α es el coeficiente de dilatación y E el módulo de elasticidad.

Las tensiones de compresión generadas pueden alcanzar un valor máximo, dado por el valor de tensión de fluencia (σ_{Fl}) a la temperatura que la barra será calentada. Inversamente, durante el enfriamiento la barra tiende a contraerse, revirtiendo el estado de compresión. Si la

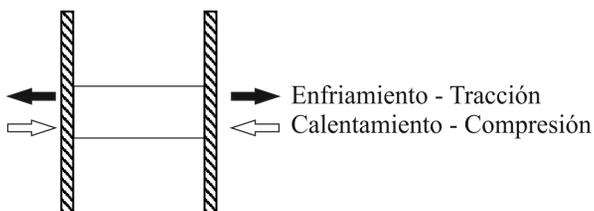


Figura 8. Sistema de tensiones generado durante el ciclo térmico.

tensión de compresión generada durante el calentamiento es inferior a la σ_{Fl} correspondiente a la temperatura a la cual fue calentada la barra, al final del enfriamiento la misma quedará bajo un estado de tensiones nulo. Pero si la tensión de compresión alcanzó el valor de la σ_{Fl} , la barra quedará bajo un estado de tracción. Si esto ocurre, los sucesivos calentamientos y enfriamientos generarán tensiones de compresión y tracción en forma alternativa, lo que conducirá a la fisuración del material por fatiga térmica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ensayo de fatiga térmica se realizó determinando el número de ciclos soportados sin fisuración y el número de ciclos a la rotura de la probeta. Los resultados se ilustran en la Figura 9.

El incremento del porcentaje de grafito nodular produce un significativo descenso en la resistencia a la fatiga térmica de la FV, expresada en la cantidad de ciclos soportados sin que el material se fisure. Para un porcentaje de nódulos del 20%, el número de ciclos a la primera fisura fue de 350, mientras que para porcentajes de 60 y 80% el número de ciclos disminuyó considerablemente a 95 y 80. Al mismo tiempo, cantidad de ciclos hasta la rotura se redujo significativamente de 385 a 160. Este comportamiento se debe a que los nódulos

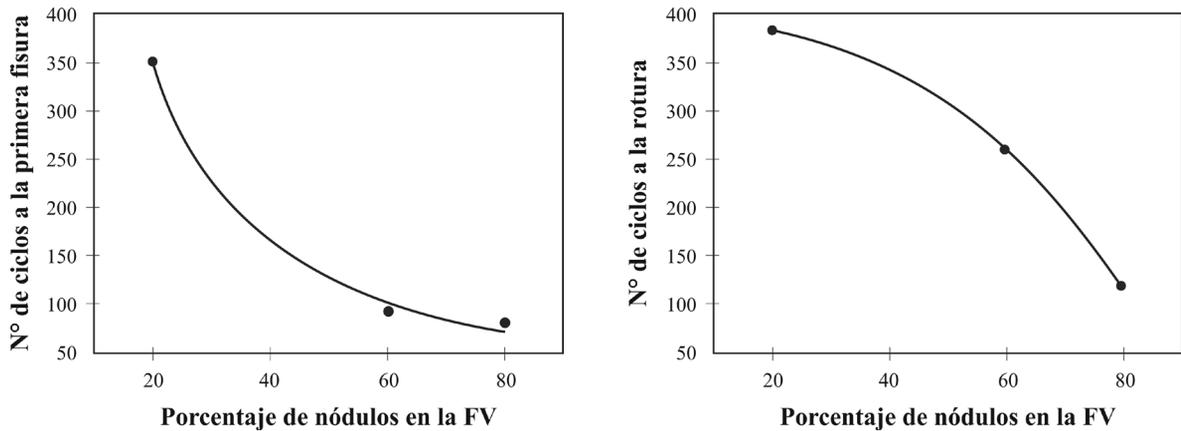


Figura 9. Número de ciclos en función del porcentaje de nódulos.

de grafito se encuentran aislados en la matriz de hierro, lo que disminuye considerablemente la conductividad térmica de la FV, como se indicara en la Figura 6. Otros factores que influyen la reducción en la resistencia a la fatiga térmica son el coeficiente de expansión lineal α y el módulo de elasticidad E . Como se mencionara anteriormente, a medida que el porcentaje de nódulos aumenta, mayores son los valores de α y E . De acuerdo a la Ec. (1), al aumentar α y E aumenta la tensión de compresión generada durante el calentamiento. De este modo, es más probable que se alcance el valor de la tensión de fluencia, con lo cual al producirse el enfriamiento, el material quedaría sometido a tensiones de tracción, generando un proceso de fatiga que hace más factible la rotura del material.

CONCLUSIONES

La FV se caracteriza por su elevada resistencia a la fatiga térmica, superior a la de la FL. Sin embargo la presencia de nódulos en la microestructura genera una marcada disminución en esta propiedad. Los resultados indicaron, que para un porcentaje de nódulos del 20%, el número de ciclos a la primera fisura fue de 350, mientras que para porcentajes de 60 y 80% el número de ciclos disminuyó considerablemente a 95 y 80, respectivamente, lo que condujo a la rotura del material a un número considerablemente menor de ciclos térmicos. En función de los resultados obtenidos, se podría estimar que la cantidad de nódulos admisible en la microestructura de la FV no debe superar el rango de 20 - 30%.

REFERENCIAS

- 1.- D. M. Stefanescu, Metals Handbook, 9th Edition, Vol. 15, Casting, pp. 1455-1484, (1988).
- 2.- R. Gregorutti, R. Gotelli, J. Sarutti, H. Biloni (1992). XVI Jornadas Metalúrgicas SAM y Encuentro Nacional de Refractarios, Rosario, Argentina.
- 3.- J. Percudani, R. Gotelli, J. Sarutti, H. Biloni (1993). XVII Jornadas Metalúrgicas SAM y Segundo Encuentro Argentino de Cerámicos y Refractarios, San Carlos de Bariloche, Argentina.
- 4.- S. Dawson (2008). 68th WFC - World Foundry Congress, pp. 93-99, India.
- 5.- W. L. Guesser, P. V. Duran, W. Krause (2004). Congrès Le diesel : aujourd'hui et demain, Ecole centrale Lyon, Francia.
- 6.- Wang Y., Hu F., Shi H., Fan X. (2010). Modern Cast Iron, 06, pp. 23-26.
- 7.- Y. J. Park, R. B. Gundlach, R. G. Thomas, J. F. Janowak (1985). AFS Trans., Vol. 93, pp. 415-422.
- 8.- E. Nechtelberger, H. Pühr, J. B. von Nesselrode, A. Nakayasu (1982). 49th International Foundry Congress, Chicago, USA.