

# Influencia del vertido vibratorio en la matriz y dureza del hierro gris con grafito esferoidal

## Effect of pouring vibration into the matrix and hardness in ductile irons

Rigoberto-Pastor Sánchez-Figueroa<sup>I</sup>, Asdrúbal-Braulio García-Domínguez<sup>II</sup>, Roberto Pérez-Rodríguez<sup>III</sup>, Isnel Rodríguez-González<sup>IV</sup>

I. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya, Facultad de Ingeniería. Holguín, Cuba

II. Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Facultad de Electromecánica. Camagüey, Cuba

III. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Mecánica. La Habana, Cuba

IV. Universidad de Holguín Oscar Lucero Moya, Facultad de Ingeniería. Holguín, Cuba

Correo electrónico: [rigo@facing.uho.edu.cu](mailto:rigo@facing.uho.edu.cu)

Recibido: 24 de octubre de 2015

Aceptado: 30 de diciembre de 2015

### Resumen

Los hierros fundidos constituyen un grupo de materiales muy versátiles con múltiples aplicaciones industriales a partir de la gama de propiedades mecánicas que ofrecen. En este estudio, se expone un análisis experimental de los efectos que provoca la utilización del vertido vibratorio en la matriz y dureza del hierro gris con grafito esferoidal. Como resultado de aplicar diferentes frecuencias de vibración, se demostró una relación directa entre la

frecuencia vibratoria y la dureza obtenida, además, se logra una mejora en la esferoidización. Todo esto conllevó a una reducción de los índices de rechazos y a una disminución de la masa nodulizante.

**Palabras claves:** hierro gris, dureza, grafito esferoidal, vertido vibratorio, nodulizante.

### Abstract

Cast irons constitute a group of most versatile materials with multiple industrial applications from the range of mechanical properties that offer. In this study, an experimental analysis of the effects caused by the use of vibrating pouring into the matrix and hardness of ductile irons is exposed. As a result of applying different vibration frequencies, a direct relationship between the

vibration frequency and the hardness obtained is demonstrated further improvement is achieved in the spheroidizing. All this leads to a reduction in rejection rates and a decrease in mass nodulizant.

**Key words:** ductile irons, hardness, spheroidal graphite, pouring vibration, nodulizant.

### Introducción

La utilización del hierro gris con grafito esferoidal se ha extendido considerablemente en diversas aplicaciones en la ingeniería [1], a partir de sus potenciales ventajas (costos de manufactura adecuados comparados con los de mecanizado, buena capacidad de amortiguación, alta tenacidad y resistencia, buen comportamiento a la fatiga y buena resistencia al desgaste). Su aplicación más intensiva se ha realizado en la industria automotriz y de la construcción.

Debido a la naturaleza metalúrgica del hierro gris con grafito esferoidal, los procesos convencionales de mecanizado por arranque de virutas como el maquinado o el fresado, suelen tener problemas tecnológicos. Se han realizado estudios orientados a la utilización de procesos de mecanizado no convencionales, tales como el maquinado por electroerosión por hilo (*Wire Electrical Discharge Machining*, WEDM) [2, 3]. Los resultados experimentales mostraron la elevada correspondencia entre los parámetros de entrada y la eficiencia del mecanizado del hierro gris con grafito esferoidal por el método WEDM.

La alta aplicabilidad de este tipo de material en componentes estructurales con requerimientos de seguridad, ha conllevado a la determinación de las curvas S-N [4], comportamiento a la fatiga [5], los parámetros de la resistencia dinámica al agrietamiento de las estructuras [6] y a piezas de la industria automotriz [7]. Se demostró experimental y numéricamente que la aplicación de la teoría clásica para el crecimiento de grietas es adecuada para el estudio del hierro gris con grafito esferoidal, solo se debe adaptar al método de los pequeños desplazamientos. Por otra parte, autores han estudiado la correlación entre la resistencia a la fatiga y los aspectos geométricos del grafito nodular, considerándolos como defectos internos [8].

Otros estudios se han centrado en la aplicación de tratamientos térmicos al hierro gris con grafito esferoidal con el objetivo de evaluar sus efectos en la microestructura, propiedades mecánicas y comportamiento a la fatiga [9, 10]. En la misma área, se han efectuado investigaciones para evaluar los efectos de la velocidad de enfriamiento en la microestructura y las propiedades mecánicas en diferentes tipos de geometrías [11]. De la misma forma se estudió el comportamiento micro estructural para uniones soldadas [12].

La revisión bibliográfica evidenció una apreciable actividad investigativa en el estudio del hierro fundido gris con grafito esferoidal, sin embargo, no se observan estudios que correlacionen en el método vibratorio con el proceso de obtención de este material. Por tanto, el objetivo del presente artículo es identificar la influencia del método de vertido vibratorio en la dureza del hierro gris de alta resistencia con grafito esferoidal.

## Métodos y Materiales

Los experimentos se realizaron en Empresa de Fundición Acero – Hierro de Holguín, cumpliéndose con la instrucción tecnológica de fusión en horno de cubilote de 700 mm de diámetro interior, con una composición de la carga adecuada. El vertido se realizó a las temperaturas de 1450 °C y 1425 °C en moldes de probetas “Y” de 25 mm x 75 mm x 175 mm según norma ASTM [13]. La composición de la mezcla de moldeo fue de 5 % de bentonita, 2 % de miel final de la caña, 4 % de agua y el resto de arena sílice, con modificación en una cámara cilíndrica *In mold*. En la tabla 1 se muestra la composición química del metal base obtenido.

**Tabla 1.** Composición química del hierro gris con grafito esferoidal obtenido

C	Si	Mn	P	S	Balance
3,57	2,55	0,52	0,107	0,031	93,222

Para determinar la relación existente entre la frecuencia de vibración y la resistencia a la tracción del hierro gris con grafito esferoidal se desarrolló un diseño de experimento factorial completo tipo  $3^2 \times 2^1$ . Las variables fijas fueron la composición química del metal base, la amplitud de vibración (3 mm), el tiempo de vertido y la velocidad de vertido. En la tabla 2 se muestran las variables dependientes e independiente. Se realizaron dos réplicas (36 ensayos), ejecutados de manera aleatoria.

**Tabla 2.** Variables consideradas en la investigación

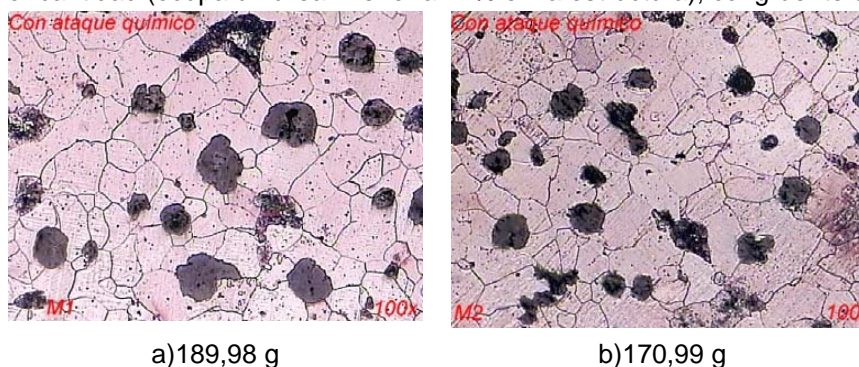
Variabes	Tipo de variable	Niveles
Frecuencia de vibración (Hz)	Independiente	65; 70; 75
Masa de aleación nodulizante NODULAN II (g)	Independiente	189,98; 170,99; 151,99
Temperatura de vertido (°C)	Independiente	1425 °C; 1450 °C
Diámetro nodular (Mk)	Dependiente	
Dureza (HB)	Dependiente	

Las muestras fueron preparadas y observadas antes y después de ser atacadas químicamente con aumentos de 100 X y 400 X, en un microscopio óptico metalográfico (modelo Novel de fabricación China). Los ensayos se correspondieron con las normas ASTM E 407 – 70 y la ASTM E 3 – 80. Los ensayos para determinar la dureza volumétrica se realizó en un durómetro Rockwell-Brinell IBERTEST, con escala 2,5/187, 5/30 (kgf/mm<sup>2</sup>), calibración para k = 2 (%)  $\pm 0,30$ , en un rango de medición de 40 – 300 kgf/mm<sup>2</sup>.

## Análisis de resultados

### Comportamiento microestructural del vertido vibratorio

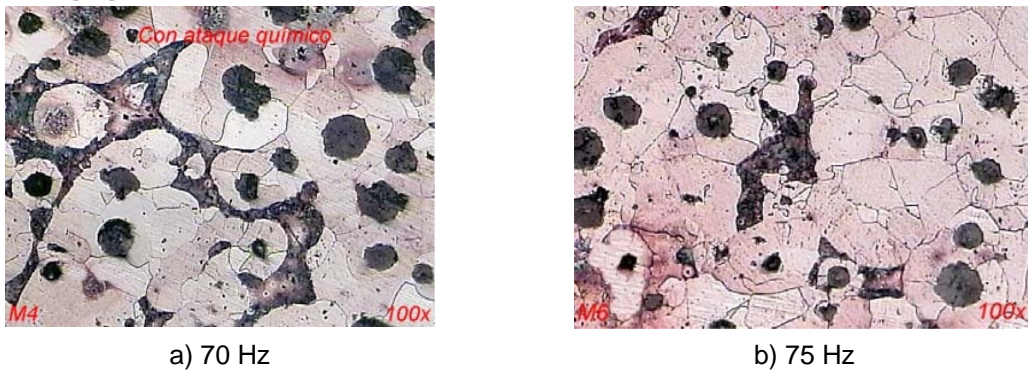
En la figura 1 se muestra el análisis microestructural de dos de las muestras evaluadas obtenidas con masas del nodulizante de 189,98 g y 170,99 g respectivamente, con una frecuencia de vibración de 65 Hz. Se observan inclusiones de grafito nodular que ocupan un área entre un 5 % y un 8 %, con diámetros máximos de los nódulos entre 40  $\mu\text{m}$  y 60  $\mu\text{m}$ . Se evidencia una microestructura compuesta por ferrita en forma de granos, más perlita en menor cantidad (ocupa un área inferior al 2 % en la estructura), congruente con [14].



**Fig. 1.** Muestras obtenidas con una frecuencia de vibración de 65 Hz y masas del nodulizante

Cuando se incrementa la frecuencia de vibración a 70 Hz, como se observa en la figura 2 a), se evidencian inclusiones de grafito nodular con un área ocupada por el grafito superior al 12 %. Se identifica un diámetro máximo de las inclusiones del grafito entre 40  $\mu\text{m}$  y 60  $\mu\text{m}$ . Se observa en la matriz una microestructura

compuesta por ferrita en forma de granos, más perlita con un área ocupada entre el 2 % y el 10 %. Resultados comparables con [15].



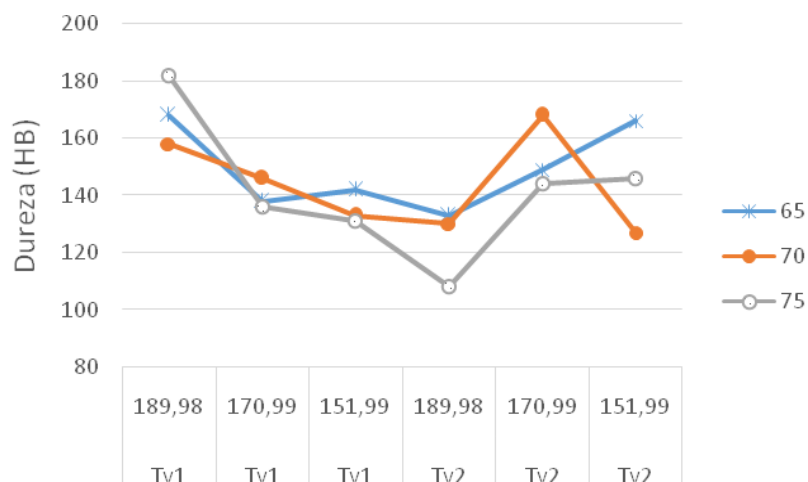
**Fig. 2.** Muestras obtenidas con masas el nodulizante de 189,98 g y con frecuencias de vibración

En la figura 2 b) se observa una muestra obtenida con una frecuencia de vibración de 75 Hz, presentando inclusiones de grafito nodular, con un área ocupada de más del 12 %, con un diámetro máximo de los nódulos de grafito entre 40  $\mu\text{m}$  y 60  $\mu\text{m}$ . Se revela que la matriz posee una microestructura compuesta por ferrita en forma de granos, más perlita (con un área ocupada entre el 2 % y el 10 %).

### Análisis de la dureza

Los resultados experimentales mostraron que cuando se utiliza el vertido vibratorio para la obtención del hierro con grafito esferoidal, la mayor dureza se obtiene cuando se aplica una frecuencia de vibración de 75 Hz con una masa de nodulizante de 189,98 g, para una temperatura de vertido de 1425  $^{\circ}\text{C}$  (Tv1). Si se utiliza una temperatura de vertido de 1450  $^{\circ}\text{C}$  (Tv2), se obtienen resultados menores (ver figura 3).

Si se acude a una frecuencia de vibración de 70 Hz, los resultados son inferiores a los analizados anteriormente, si se utilizan masa de nodulizante de 198,98 g (Tv1) y 151,99 g (Tv2). En el caso de usar la frecuencia de vibración de 65 Hz, los resultados tienden a ser similares al comportamiento anterior.



**Fig. 3.** Relación entre la frecuencia de vibración, la masa del nodulizante y la dureza obtenida del hierro con grafito esferoidal

### Conclusiones

La utilización del vertido vibratorio con una frecuencia de vibración de 70 Hz y 10 % la masa tecnológica del nodulizante, facilita la obtención de la mejor distribución de nódulos en la matriz.

Se demostró experimentalmente, que utilizando una frecuencia de vibración de 75 Hz con una masa de nodulizante de 189,98 g, se obtiene el mejor valor de dureza, para las variables estudiadas.

El método de vertido vibratorio permitió reducir en un 10 % la masa tecnológica del nodulizante, obteniéndose una mejor estructura de la matriz (ferrita más perlita). El área ocupada por el grafito en la estructura fue entre un 8 y un 12 % y el área ocupada por la perlita entre un 20 % y un 45 %.

El método de vertido vibratorio propicia la obtención del diámetro máximo de los nódulos de grafito entre 40  $\mu\text{m}$  y 60  $\mu\text{m}$  para todas las frecuencias de vibración aplicadas.

## Referencias

- Jacas M, Rodríguez M, Ordoñez U. Modelación por Elementos Finitos como Método para la Sustitución de Piezas de Acero por Hierro Nodular. *Ingeniería Mecánica*. 2005;8. ISSN 1815-5944.
- Ozdemir N, Ozek C. An investigation on machinability of nodular cast iron by WEDM. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2006;28(9):869-72. ISSN 1433-3015.
- Oliveira AJ, Boing D, Schroeter RB. Effect of PCBN tool grade and cutting type on hard turning of high-chromium white cast iron. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2015;82(5):797-807. ISSN 1433-3015.
- Jimenez M, Martinez J, Figueroa U, et al. Estimated S-N curve for nodular cast iron: A steering knuckle case study. *International Journal of Automotive Technology*. 2014;15(7):1197-204. ISSN 1976-3832.
- Figueroa C, Ordóñez U, Telésforo J, et al. Estudio experimental sobre el comportamiento del hierro austemperado nitrurado (ADI) a la fatiga de contacto. *Ingeniería Mecánica*. 2001;4(4):21-6. ISSN 1815-5944.
- Han SY, Sohn SS, Shin SY, et al. In Situ fracture observation and fracture toughness analysis of pearlitic graphite cast irons with different nodularity. *Metals and Materials International*. 2013;19(4):673-82. ISSN 2005-4149.
- Kovacs BV. Development of Austempered Ductile Iron (ADI) for Automobile Crankshafts. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2013;22(1):2795-800. ISSN 1544-1024.
- Costa N, Machado N, Silva FS. Influence of graphite nodules geometrical features on fatigue life of high-strength nodular cast iron. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2008;17(3):352-62. ISSN 1544-1024.
- PourAsiabi H, Saghafian H, Pourasiabi H. Effect of austempering process on microstructure and wear behavior of ductile iron containing Mn-Ni-Cu-Mo. *Metals and Materials International*. 2013;19(1):67-76. ISSN 2005-4149.
- Voigt RC, Loper CR. Austempered Ductile Iron---Process Control and Quality Assurance. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2013;22(4):2776-94. ISSN 1544-1024.
- Górný M, Tyrál E. Effect of Cooling Rate on Microstructure and Mechanical Properties of Thin-Walled Ductile Iron Castings. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2012;22(1):300-5. ISSN 1544-1024.
- Fernández Columbié T, Rodríguez González I, Correa Suárez RE, et al. Junta de soldadura disímil de la aleación HK – 40 y del hierro fundido 24. *Ingeniería Mecánica*. 2014;17(2):98-107. ISSN 1815-5944.
- American Society for Testing Materials, ASTM. Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM A370-15. USA: ASTM International; 2015.
- Pina JC, Kouznetsova VG, Geers MGD. Thermo mechanical analyses of heterogeneous materials with a strongly anisotropic phase: the case of cast iron. *International Journal of Solids and Structures*. 2015;63:153-66. ISSN 0020-7683.
- Alonso G, Stefanescu DM, Suarez R, et al. Kinetics of graphite expansion during eutectic solidification of cast iron. *International Journal of Cast Metals Research*. 2014;27(2):87-100. ISSN 1743-1336.