

LA PRUEBA DE LA CUÑA COMO CONTROL DE LA NUCLEACIÓN EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS DE HIERRO FUNDIDO GRIS

Eduardo de Sousa Moreira

Sitio: www.eduardomoreira.eng.br
E-mail: eduardo@eduardomoreira.eng.br

La prueba de la cuña es esencial para evaluar el grado de nucleación del hierro fundido gris, con eso sencillo test muy práctico se puede predecir la forma de grafito en diferentes espesores de la pieza a ser fundida. El propósito de este artículo es mostrar como el sobrecalentamiento y el tiempo de mantenimiento del hierro líquido puede cambiar la altura de la cementita. También se muestra como la prueba de la cuña puede ser eficaz para medir el límite de espesor para formación de hierro blanco e la determinación del material a ser fundido a través de pruebas metalográficas y dureza en una muestra (pieza de prueba) que simula una pieza de diferentes espesores. Así ese artículo le mostrará los estudios y la comparación de las alturas de cementita en las pruebas de la cuña, dureza y metalografía.

The use of wedge test is crucial in the assess the degree of nucleation of gray cast iron, with this simple practical test can predict the form of graphite in different thickness of the piece to be fused. The aim of this paper is to show the super warming and maintenance time bath can change the height of chilling. Will be shown as the wedge test can be effective in measuring the thickness limit for formation of white iron and the determination of the material to be cast through metallographic tests and hardness in a body of evidence that simulates a number of different thicknesses. Therefore, this article will show you the studies and comparative between chilling height and the wedge test, hardness and metallography.

Key words: Wedge Test, Gray Cast Iron, cooling, chilling.

1 INTRODUCCIÓN

Se observa que con la modernización de los procesos de fundición y control, las fundiciones que todavía están en el proceso de modernización tienen muchos problemas por abandono de algunas pruebas sencillas, rápidas e conocidas, un ejemplo es la prueba de la cuña, que se pasa por alto cuando se despliega un análisis químico. El análisis del grado de nucleación, esa prueba sencilla, es muy importante en control del hierro fundido gris. Este artículo demostrará cómo el grado de nucleación del hierro fundido gris puede ser más influyente por las características mecánicas que la composición química y cómo la nucleación tiene fuerte relación con el espesor de la pieza.

A través de análisis metalográfico y de dureza en un cuerpo de prueba, que se puede hacer fácilmente en la propia fundición, se presentará cómo el grado de nucleación controlado pela prueba de la cuña es diferente para cada espesor de la pieza con misma composición química, entonces, la inoculación de cada cuchara es diferente para cada fusión de hierro, y también para cada espesor de pieza.

2 PRUEBA DE LA CUÑA

La gran mayoría de las fundiciones de hierro utiliza solo la composición química como control del hierro [1]. Cuando el hierro fundido solidifica, él pasa por diversos cambios de fases [2].

La prueba de la cuña fue por mucho tiempo una de las maneras más utilizadas en análisis de hierro fundido gris, pocos hoy en día utilizan esta técnica de análisis, para definir el grado de nucleación y hasta mismo predecir la clase de material que está haciendo. Esto se debe principalmente al hecho de que la cuña no presenta un valor exacto y depende sobre todo del buen censo y conocimiento práctico de como hacer la análisis.

Esta prueba determina de manera fácil y rápida el espesor-límite para la formación del hierro fundido gris sin cementita (Hierro blanco por enfriamiento rápido) [3].

El uso exclusivo de la análisis química solo es válido cuando se tiene un proceso muy confiable y con piezas sin alteración de espesor y una materia prima también muy confiable, pero la gran mayoría de las fundiciones hacen pequeñas producciones de piezas, con formatos muy distintos y diferentes clases de hierro fundido gris. Para estos casos es mucho mejor usar el control de nucleación a través de la cuña y su corrección antes del basamento del hierro en el moldeo.

Esta prueba le ayuda a determinar la cantidad de inoculante que se necesita para hacer el material correcto para el basamento [4]. La elección de la cuña a ser usada depende de las piezas que se quiere hacer, la Tabla 1 muestra los tamaños de cuña conforme la norma brasileña ABNT NBR6846/1985, y en la Figura 1 el diseño muestra las dimensiones de cuña, de misma norma.

Tabla 1: Dimensiones de las cuñas: ABNT NBR6846 / 1985

Cuña N°	B (mm)	H (mm)	A (grado)	Longitud (mm)	Máximo W (mm)
W1	5,0	25,0	11,5	100	2,5
W2	10,0	32,0	18,0	100	5,0
W3	19,0	37,0	28,0	100	9,5
W3.½	25,0	44,0	32,0	130	12,5
W4	32,0	51,0	34,5	150	16,0

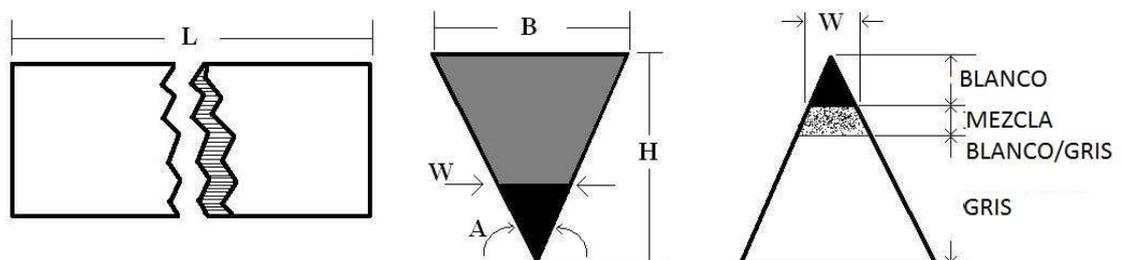


Figura 1 – Diseño de la cuña: ABNT NBR6846 / 1985

Para los experimentos de este artículo, fue elegido la cuña “W3”, cuyas dimensiones parecer se al espesor de las piezas utilizadas en las pruebas. En la práctica, se debe elegir una cuña que sea capaz de medir la nucleación de las piezas que se quiere fundir, en

relación a altura de enfriamiento de la cuña con el espesor de la pieza. En otras palabras, se las piezas que se quiere fundir tuvieren espesor de hasta 5mm, entonces se debe elegir una cuña en que el máximo W, sea de no mínimo 5mm.

Los hierros fundidos son aleaciones eutécticas que solidifican de forma estable cuando el carbono eutéctico se encuentra exclusivamente en forma de grafito libre, originando el hierro fundido gris, y se solidifican de forma meta estable cuando el carbono se encuentra combinado, formando cementita[5]. Las diferentes curvas de súper enfriamiento se ilustran en la Figura 2.

La curva 1 presenta la curva de solidificación del hierro fundido Gris, la curva 2, de un hierro fundido mezclado (Blanco + Gris), y la curva 3, de un hierro fundido blanco. La cantidad de súper enfriamiento depende de la velocidad de extracción de calor por lo moldeo, de la composición química del material y del grado de nucleación[6].

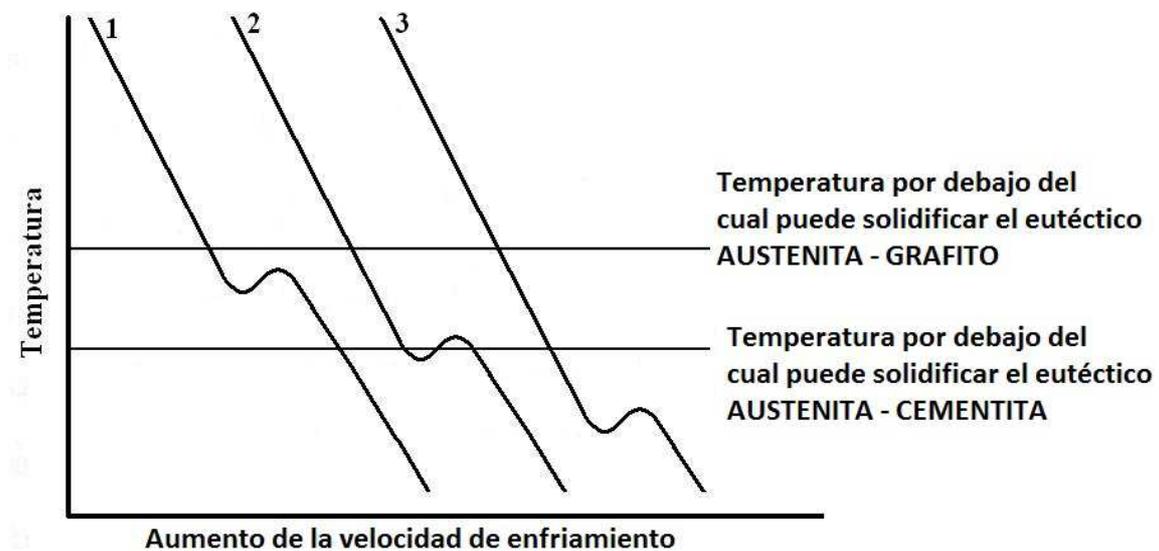


Figura 2: Curvas de Enfriamiento

En la prueba de cuña, se cambia la velocidad de extracción de calor por lo moldeo, en otras palabras, la parte del bajo de la cuña (W) enfría mucho más rápido que la parte de arriba, causando varias velocidades de enfriamiento.

Con la inoculación, se aumenta lo grado de nucleación y, por lo tanto se disminuye la velocidad de enfriamiento. Este tratamiento se hace poco antes de verter el hierro en el moldeo, para disminuir el súper enfriamiento y así minimizar la tendencia al enfriamiento (Hierro Blanco y/o mezclado) [7].

2.1 Materiales y Métodos

Hecho en arena de macho (ISO-CURE), el moldeo de la cuña debe tener pared mínima de 20 mm las tolerancias generales son de 0,8 mm con excepción de la longitud, cuya tolerancia es de 3,0 mm [8].

Se utilizó para las pruebas un horno de fusión por inducción, con crisol de 1000Kg y potencia de 600KWh, con una carga metálica compuesta de 50 % de canales, 25 % de acero, 25% de arrabio. El contenido de carbono y silicio, después de la fusión de los materiales fue 3,56% e 1,74% respectivamente, y con eso una clase FC-200 para piezas de

alrededor de 5 mm de espesor. En la Figura 3 se puede mirar lo aumento de la altura de enfriamiento a través del tiempo de mantención del baño líquido, en la cuña "A" la temperatura de 1480 °C, con espera de 20 minutos que es la condición normal para fundición de hierro fundido gris en la Fundición Ícaro Ltda; en la cuña "B" la temperatura de 1510 °C, con espera de 35 minutos; en la cuña "C" la temperatura de 1510 °C, con espera de 55 minutos; y en la cuña "D" la temperatura de 1510 °C con espera de 75 minutos, sin adición de ningún material para corrección. Las temperaturas de 1510 °C fueran elegidos para simular un sobrecalentamiento del hierro contenido en el horno, que puede ser causado por un error de operación, por una parada de alguno otro equipo que evite la fundición del hierro para el moldeo, o para reducir la nucleación a propósito. Es posible mirar una alteración de altura de cuña solo con el tiempo de mantención del hierro líquido en temperatura alta.



Figura 3: Alturas de enfriamiento

También es posible mirar, en la primera cuña, que la nucleación es mayor (bajo espesor de enfriamiento), y en la última cuña un grado de nucleación pequeño (alto espesor de enfriamiento), que prueba la pérdida de nucleación con el sobrecalentamiento del metal base del horno. Las flechas indican el espesor limite para se obtener hierro gris en la cuña

“A”, y en la cuña “D” es posible observar que se ha superado la altura de enfriamiento máximo, y apareció regiones enfriadas en la parte superior de la cuña.

2.2 Resultado y Discusión

Antes de retirarse la cuña del metal que esta en el horno, es muy importante saber cual clase de hierro fundido gris se desea obtener para que las informaciones obtenidos después de la prueba sirven para el ajuste de la composición química y determinar la cantidad de inoculación necesaria para nuclear el grafito y evitar el enfriamiento. La fundición debe conocer la cantidad necesaria de inoculación para reducir la altura de enfriamiento en 1 o 2 mm, como sea necesario. En las pruebas, se observó que para una inoculación de 0,5% de FeSi, la altura de enfriamiento cayó por 2 mm en todos los casos. Es importante recordar que eso cambia de fundición para fundición como el proceso utilizado.

Dado que el grado de nucleación natural del hierro líquido es variable, la prueba de la cuña puede ser utilizado para “ajustar” la cantidad de inoculación [1].

Se utilizó un cuerpo de prueba de fabricación propia de la Fundición Ícaro Ltda, moldeado en arena a verde. En ese cuerpo de prueba fue posible mirar las diferentes características, en la metalografía y en prueba de dureza, sin cambio en la composición química, ya que la prueba fue hecha en la misma pieza, mostrando que, en cada espesor, se tiene un material con características diferentes, mismo con composición química igual. Esto demuestra que la tasa de enfriamiento tiene relación directa con el súper enfriamiento y este con el tipo de microestructura formada.

En la Figura 4, se representa el diseño del cuerpo de prueba utilizado en este experimento.

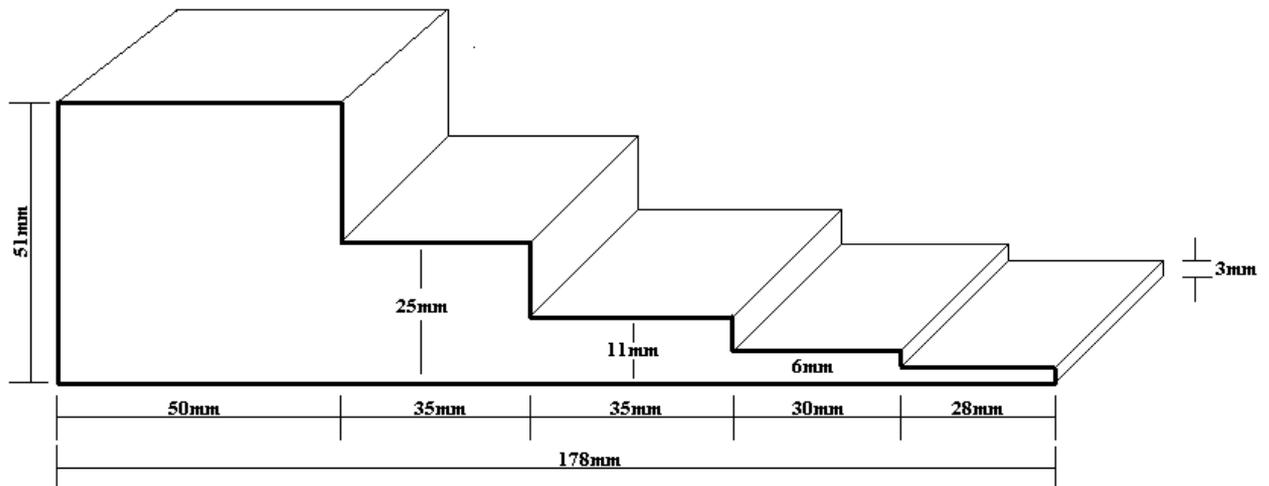


Figura 4: Cuerpo de prueba – Adaptado[9]

Este cuerpo de prueba fue fundido con una cuña de altura de 3 mm, que es el límite de espesor del fundido con el fin de tener una microestructura de hierro gris [3]. Su composición química es de 3,55% C, 2,09% Si, medida a través de análisis de espectrometría del metal de la pieza, y con otros elementos de aleación residuales. En la Tabla 2 se puede

observar los diferentes resultados en las pruebas de dureza en relación a metalografía de cada espesor de la pieza.

Tabla 2: Dureza X Metalografía

Espesor del cuerpo de prueba en mm	Dureza en HB	Metalografía
3	255	Forma: I Distribución: C (A) Tamaño: 2 e 3
6	229	Forma: I Distribución: C (A) Tamaño: 2 e 3
11	207	Forma: I Distribución: A (C) Tamaño: 3 e 4
25	197	Forma: I Distribución: A (B) Tamaño: 4 a 6
51	187	Forma: I Distribución: D Tamaño: 5 a 7

Es posible observar también las diferentes formas del grafito en los diferentes espesores del cuerpo de prueba como mostrado en la Figura 5.

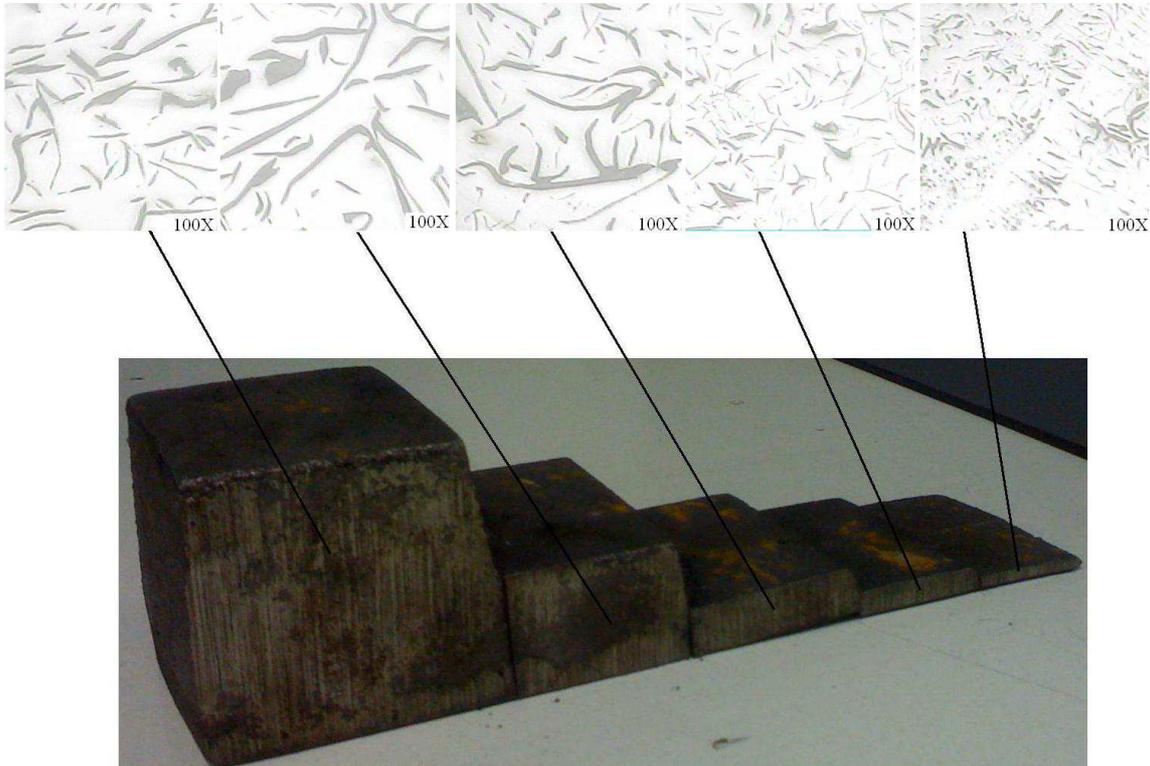


Figura 5: Metalografía en los diferentes espesores

Lo hierro fundido gris tienen sus principales características físicas e mecánicas definidos por la forma del grafito, como fue mirado en la Figura 5, hay una gran diferencia entre el espesor de 3 mm y el espesor de 51 mm. En otras palabras, dependiendo del espesor de la pieza, se obtuvieron clases distintas de material (con clasificación sólo por dureza e metalografía). En este caso, si el cuerpo de prueba fuera fundido con la misma composición química, pero con una altura de cuña mayor, el espesor de 3 mm se presentaría enfriado.

3 CONCLUSIÓN

Se observó que la prueba de la cuña puede ser usada para hacer ajustes en la inoculación, en lugar de agregar cantidades fijas de inoculantes, como ocurre en la mayoría de las fundiciones, con eso se puede obtener mayor repetición en la nucleación, entre una cuchara y otra, en otras palabras, se aprovechando de la nucleación natural del hierro líquido..

Se quedó claro que debemos utilizar la composición química sólo como guía y no como un factor decisivo en la obtención de piezas con espesores distintos, y que en una misma pieza se puede obtener características diferentes, y que es importante saber en que locales de la pieza se debe tener el material especificado.

BIBLIOGRAFIA

- 1 FUOCO, R.; CORRÊA, E. R.; SANTOS, E. R. e AMARAL D. D. - 12º CONAF – Congresso de Fundição. – São Paulo - 2005
- 2 American Foundry Society 5-L - Pour the perfect Cup. - Revista Modern Casting – Vol 97 N°11, Committee, Schaumburg, Illinois - Nov. 2007
- 3 BOTELHO, C. A. V. A – Sistema Brasileiro de Respostas Técnicas SBRT – USP/DT – abr. 2007
- 4 BEX, T. Chill Testing of Iron – Modern Casting – www.thefreelibrary.com
- 5 MÜLLER, A. – Solidificação e Análise Térmica dos Metais – UFGRS – 1º edição - 2002
- 6 PIESKE, A.; FILHO, L.M.C e REIMER, J.F. – Ferros Fundidos Cinzentos de Alta Qualidade – Sociedade Educacional Tupy – 2 edição - 1976
- 7 SANTOS, A. B. de S. S.; BRANCO, C. H. C. – Metalurgia dos ferros fundidos cinzentos e nodulares – São Paulo - IPT – 1991
- 8 ABNT – Ferro fundido, Avaliação da tendência ao coquilhamento - Método de Ensaio – NBR 6846 Maio 1985
- 9 SCHEID, H.; WEISSKOPF K.; BÄHR, R. – Revista Fundição e Serviços – Pg. 28 - Editora Aranda – Ano 18 – N° 182 – Fev. 2008
- 10 MULLINS J. D.; MURATORE E.C. – The Effect of Metallic Charge/Melt History on Nucleation Potential in Ductile Cast Irons – Ductile Iron Society meeting, June 1998
- 11 ABNT - Materiais Metálicos - Dureza Brinell. Parte 1: Medição da Dureza Brinell - NBR NM 187-1 – Maio 1999