

O USO DO TESTE DE CUNHA COMO CONTROLE DE NUCLEAÇÃO NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS EM FERRO FUNDIDO CINZENTO

Eduardo de Sousa Moreira

eduardo@eduardomoreira.eng.br

O uso do teste de cunha é fundamental na avaliação do grau de nucleação do ferro fundido cinzento, com esse teste simples e prático se pode prever a forma da grafita em diferentes espessuras da peça a ser fundida. O objetivo desse artigo é mostrar como o super aquecimento e tempo de manutenção do banho podem alterar a altura de coquilhamento. Será mostrado também como o teste de cunha pode ser eficiente na medida da espessura limite para formação de ferro branco e a determinação do material a ser fundido através de ensaios metalográficos e de dureza em um corpo de prova que simula uma peça de diferentes espessuras. Portanto, este artigo mostrará os estudos realizados e comparativos entre alturas de coquilhamento no teste de cunha, dureza e metalografia.

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.*

1 INTRODUÇÃO

É observado que, com a modernização dos processos de fundição, empresas que ainda estão em fase de modernização passam por diversos problemas ao abandonarem alguns testes simples, rápidos e conhecidos, um exemplo é o teste de cunha, quando se quer implantar a análise química. A análise de grau de nucleação, através desse teste, é de extrema importância no controle do ferro fundido cinzento. O presente trabalho procurará demonstrar como o grau de nucleação do metal pode ser mais influente sobre as características mecânicas do que a composição química e como a nucleação tem forte relação com a espessura da peça.

Através de análises metalográficas e análises de durezas em um corpo de prova, que pode ser fabricado dentro da própria empresa, será apresentado como o grau de nucleação controlado pelo teste de cunha é diferente para cada espessura de peça de mesma composição química e, conseqüentemente, a inoculação de cada panela de vazamento é diferente para cada fusão.

2 TESTE DE CUNHA

A grande maioria das fundições de ferros fundidos utiliza a composição química como único controle de banho dos ferros fundidos [1]. Quando o ferro fundido solidifica, ele passa por diversas mudanças de fases [2].

O teste de cunha foi, por muito tempo, uma das maneiras mais utilizadas na análise do ferro fundido cinzento, hoje, poucos utilizam essa técnica de análise, para definir o grau de nucleação e até mesmo estimar a classe do material que está sendo fundido. Esse recurso se deve principalmente pelo fato de que a cunha não apresenta um valor exato e depende principalmente do bom senso e conhecimento prático de como realizar a análise.

O teste determina de forma fácil e rápida a espessura-limite para formação de ferro fundido cinzento sem coquilhamento [3].

O uso apenas da análise química é válido quando se tem um processo altamente confiável de peças seriadas e sem muitas alterações de tipo de espessura da peça e matéria-prima, o que se observa é que grande parte das fundições fazem pequenos lotes de peças, com geometrias variadas e diferentes classes de ferro fundido cinzento. Nesse caso, o melhor método é o controle de nucleação através da análise da cunha e correção para o material necessário, momentos antes do vazamento.

Esse teste ajuda a determinar a quantidade de inoculante necessário para preparar o material para o vazamento [4]. A escolha da cunha a ser utilizada depende das peças e classes de ferro cinzento a serem fabricados, a Tabela 1 demonstra os tamanhos de cunha, segundo a norma ABNT NBR6846/1985, e na Figura 1 o desenho mostrando as dimensões da cunha, de mesma norma.

Tabela 1: Dimensões das cunhas Fonte : ABNT NBR6846 / 1985

| Cunha N° | B (mm) | H (mm) | A (grau) | Comprimento (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 |

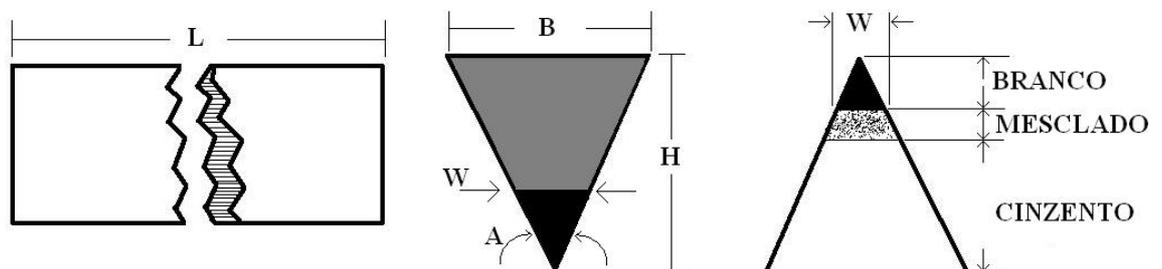


Figura 1 – Desenho da cunha Fonte : ABNT NBR6846 / 1985

Para os experimentos deste artigo, escolheu-se a cunha “W3”, cujas dimensões se assemelham às espessuras de peças a serem fundidas nos testes. Na prática, deve ser escolhida uma cunha que seja capaz de medir a nucleação das peças a serem fundidas,

relacionando a altura de coquilhamento da cunha com a espessura da peça. Ou seja, se as peças a serem fundidas possuírem espessura de no máximo 5 mm, deve ser escolhida uma cunha em que o máximo W seja no mínimo de 5 mm.

Os ferros fundidos são ligas eutéticas que se solidificam de forma estável quando o carbono do eutético encontra-se exclusivamente na forma de grafita livre, originando o ferro fundido cinzento, e se solidificam de forma metaestável quando o carbono se encontra combinado, formando cementita[5]. As diferentes curvas de super esfriamento estão ilustradas na Figura 2.

A curva 1 apresenta a curva de solidificação de ferro fundido Cinzento, a curva 2, de um ferro fundido mesclado, e a curva 3, de um ferro fundido branco. A quantidade de super esfriamento depende da velocidade de extração de calor pelo molde, da composição química do material e do grau de nucleação[6].

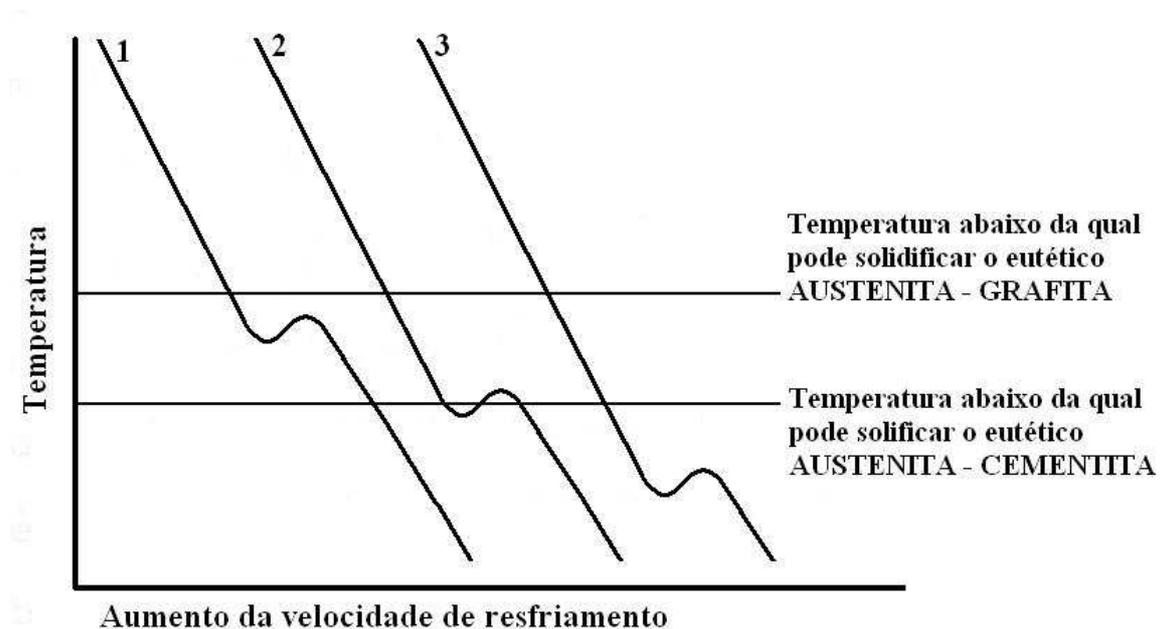


Figura 2: Curvas de Resfriamento

No teste de cunha, varia-se a velocidade de extração de calor pelo molde, ou seja, a parte inferior da cunha esfria mais rapidamente que a parte superior, criando diferentes velocidades de resfriamento.

Com a adição de inoculante, aumenta-se o grau de nucleação e, conseqüentemente, diminui-se a velocidade de resfriamento. Esse tratamento se efetua pouco antes do vazamento para se diminuir o superesfriamento e assim minimizar a tendência ao coquilhamento [7].

2.1 Materiais e Métodos

Confeccionado em areia de macho, o molde da cunha deve possuir parede mínima de 20 mm as tolerâncias gerais são de 0,8 mm com exceção para o comprimento, cuja tolerância é de 3,0 mm [8].

Utilizou-se para os testes um forno de fusão por indução, com cadinho de 1000Kg e potencia de 600KWh, com uma carga metálica composta de 50 % de retorno, 25 % de aço, 25% de gusa. O teor de carbono e silício, após fusão do material foi 3,56% e 1,74% respectivamente, e com isso uma classe FC-200 para peças de cerca de 5 mm de espessura. Na Figura 3 pode-se observar o aumento da altura de coquilhamento através do tempo de manutenção do banho, na cunha “A” a temperatura de 1480 °C, com espera de 20 minutos que é condição normal para vazamento de ferro fundido cinzento na Fundição Ícaro Ltda; na cunha “B” a temperatura de 1510 °C, com espera de 35 minutos; na cunha “C” a temperatura de 1510 °C, com espera de 55 minutos; e na cunha “D” a temperatura de 1510 °C com espera de 75 minutos, sem adição de nenhum material para correção. As temperaturas de 1510 °C foram escolhidas para simular um super aquecimento do ferro contido no forno, podendo ser causado por um erro operacional, pela parada de algum outro equipamento que impeça o vazamento, ou para desnuclear propositalmente o banho. É possível visualizar uma alteração da altura de cunha apenas com o tempo de manutenção do ferro líquido em temperatura elevada.



Figura 3: Alturas de coquilhamento

Também é possível notar, na primeira cunha, que a nucleação está maior (baixa espessura de coquilhamento), e na última cunha um grau de nucleação menor (alta espessura de coquilhamento), que comprova a perda de nucleação com o superaquecimento do metal base do forno. As setas indicam a espessura limite para se obter ferro cinzento na cunha “A” e na cunha “D”, é possível observar na cunha “D” que se ultrapassou a altura de coquilhamento máxima, e apareceram regiões coquilhadas na parte superior da cunha.

2.2 Resultado e Discussão

Antes da retirada da cunha do metal que está no forno, é muito importante saber qual classe de ferro fundido cinzento é desejado obter para que as informações obtidas após o teste sirvam para ajustar a composição química e direcionar a quantidade de inoculante necessário para nuclear a grafita e evitar o coquilhamento. A fundição deve conhecer o teor necessário de inoculante para reduzir a altura de coquilhamento, em 1 mm, ou 2 mm, conforme necessidade. Nos testes realizados, observou-se que para uma inoculação de 0,5% de FeSi, a altura de coquilhamento reduziu 2 mm em todos os casos. É importante lembrar que isto é variável para cada fundição e/ou processo utilizado. Como o grau de nucleação natural do banho varia, o teste de cunha pode ser utilizado para “ajustar” o teor de inoculação [1].

Foi utilizado um corpo de prova de fabricação própria da empresa Fundição Ícaro Ltda., moldado em areia a verde. Nesse corpo de prova foi possível notar as diferentes características, tanto na metalografia quanto no ensaio de dureza, sem alteração de composição química, pois os testes foram feitos na mesma peça, mostrando que, em cada espessura, obtém-se um material com características diferentes, mesmo com composição química igual. Isso comprova que a taxa de resfriamento tem relação direta com o superesfriamento e este com o tipo de microestrutura formada.

Na Figura 4, está representado o desenho do corpo de prova utilizado nesse experimento.

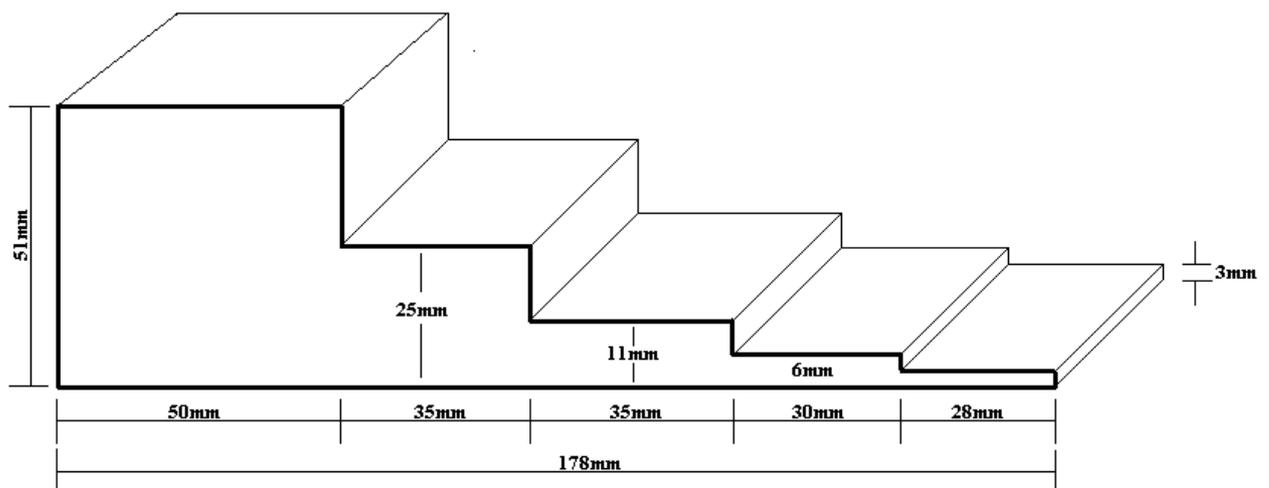


Figura 4: Corpo de prova – Adaptado[9]

Esse corpo de prova foi fundido com uma cunha de altura de 3 mm, que é o limite de espessura do fundido para que tenha uma microestrutura de ferro cinzento [3]. Sua composição química é de 3,55%C, 2,09%Si, medida através de análise de espectrometria do metal vazado, e com outros elementos de liga residuais. Na Tabela 2 podem ser observados os diferentes resultados no ensaio de dureza em relação à metalografia de cada espessura da peça.

Tabela 2: Dureza X Metalografia

| Espessura do corpo de prova em mm | Dureza em HB | Metalografia |
|-----------------------------------|--------------|---|
| 3 | 255 | Forma: I Distribuição: C (A) Tamanho: 2 e 3 |
| 6 | 229 | Forma: I Distribuição: C (A) Tamanho: 2 e 3 |
| 11 | 207 | Forma: I Distribuição: A (C) Tamanho: 3 e 4 |
| 25 | 197 | Forma: I Distribuição: A (B) Tamanho: 4 a 6 |
| 51 | 187 | Forma: I Distribuição: D Tamanho: 5 a 7 |

É possível observar também as diferentes formas da grafita nas diferentes espessuras do corpo de prova como mostrado na Figura 5.

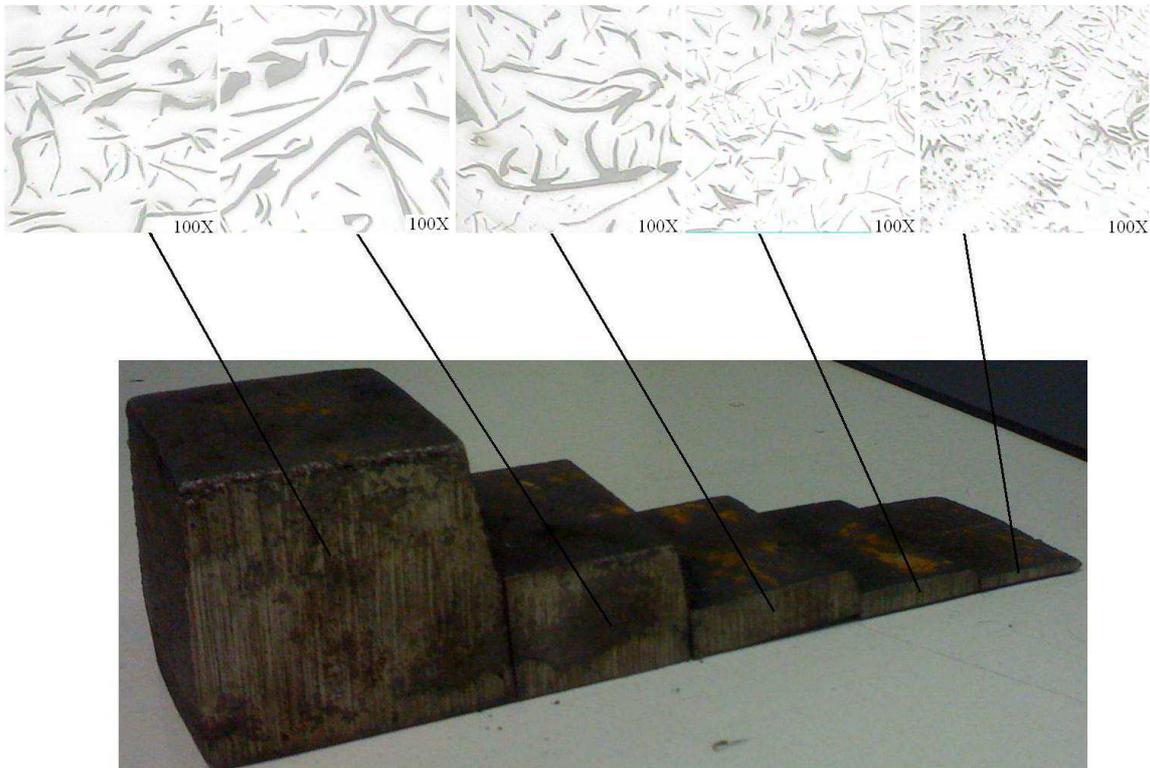


Figura 5: Metalografia nas diferentes espessuras

O ferro fundido cinzento tem suas principais características físicas e mecânicas definidas pela forma da grafita, como foi visto na Figura 5, há uma grande diferença entre a espessura de 3 mm e a espessura de 51 mm. Ou seja, dependendo da espessura da peça, obtiveram-se classes diferentes de material (classificando apenas pela dureza e metalografia). Nesse caso, se o corpo de prova fosse fundido com a mesma composição química, porém com uma altura de cunha maior, a espessura de 3 mm apresentaria coquilhamento.

3 CONCLUSÃO

Observou-se que o teste de cunha pode ser utilizado para fazer ajustes na inoculação, ao invés de adicionar quantidades fixas de inoculantes, como ocorre na maioria das fundições, com isso se pode obter maior repetibilidade na nucleação, entre uma panela e outra, ou seja, aproveitando-se da nucleação natural do banho.

Ficou claro que devemos utilizar a composição química como fator orientativo e não decisivo na obtenção de peças de diferentes espessuras, e que em uma mesma peça podemos obter características diferentes, sendo importante saber em que local da peça deve ter o material especificado.

REFERÊNCIAS

- 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 Nº11, 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 – Nº 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