

Processo de Controle para Ferro Vermicular

A consideração mais importante durante a produção do Ferro Vermicular (CGI) é evitar a formação de grafite lamelar (em flocos) causada pela falha do magnésio. Durante o período de 10 a 15 minutos do final do pré tratamento até o final do vazamento, até 0,003% de Mg pode ser perdido devido a falha. Se o ponto de partida inicial do ferro tratado com base estiver muito próximo da transição abrupta de CGI/ferro cinzento, os fundidos produzidos no final da panela podem conter grafite em flocos. Não é suficiente conhecer o comportamento de solidificação do ferro no início da fundição. A produção confiável de alto volume de CGI requer uma técnica de medição que também pode determinar a forma da grafite no final do processo de fundição.

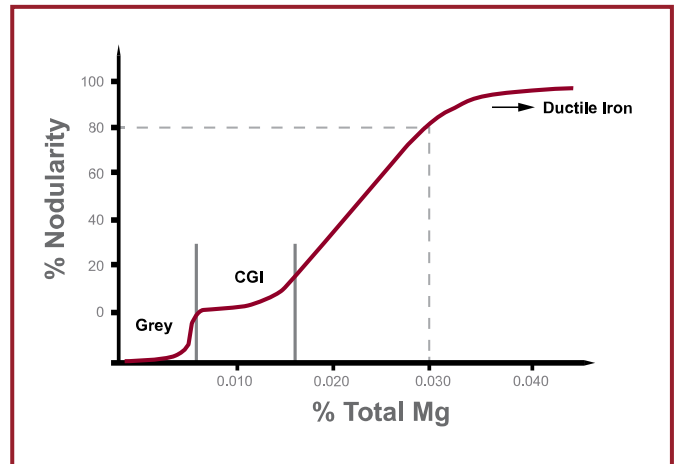


Figura 1: A transição abrupta de grafite compactada para floco ocorre em menos de 0,001% de Mg

Magnesium Fading

O grafite em flocos aparece pela primeira vez em microestruturas CGI como fragmentos discretos de flocos. Na ausência de magnésio, o grafite começa a crescer com uma morfologia em flocos. À medida que a solidificação avança radialmente para fora, o magnésio ativo se segrega à frente da interface sólido/líquido. Dependendo do teor inicial de magnésio e da taxa de solidificação, a segregação de Mg pode resultar em crescimento estável de grafite compactado ao redor do perímetro da célula. Se as condições locais de solidificação permitirem a formação de manchas em flocos, várias dessas manchas crescerão e as propriedades mecânicas do CGI serão reduzidas em 20 a 30%.

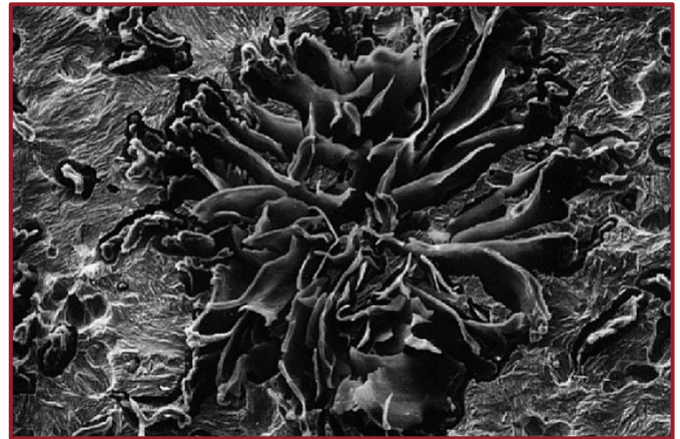


Figura 2: Manchas de individuais de flocos se formam quando o tratamento com magnésio é insuficiente

Nodularidade, Flakes e Força

A presença de grafite em flocos altera imediatamente as propriedades mecânicas do CGI. As bordas afiadas do floco permitem o início da fissura enquanto as superfícies lisas do floco promovem a propagação da fissura pela delaminação ao longo da interface floco / metal. A presença de até mesmo uma pequena quantidade de grafite em flocos resulta em uma redução abrupta de 20 a 30% na resistência à tração e no módulo de elasticidade. Resistência à fadiga e tenacidade ao impacto também são significativamente reduzidas com o início da formação do *patch* de flocos. O maior teor de carbono (3,6-3,8% C) típico de fundições CGI reduz ainda mais a força em regiões contendo floco. Uma estrutura de flocos totalmente tipo A, produzida com composição CGI, teria resistência à tração a temperatura ambiente menor que 200 MPa.

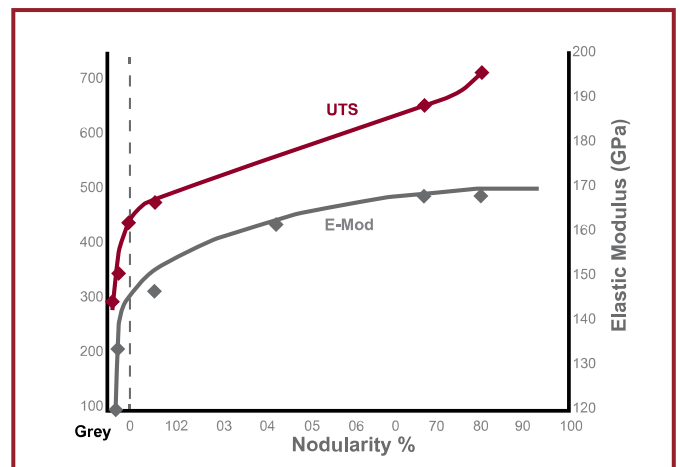


Figura 3: A resistência e a rigidez diminuem de 20 a 30% assim que o grafite em flocos aparecer

Microestrutura e Controle de Porosidade

Embora a maioria das especificações CGI permitam 0-20% de nodularidade, muitas peças complexas, como blocos de cilindros e cabeçotes, incorrem em defeitos de contração antes que o limite de 20% de nodularidade seja atingido. Como mostrado na Figura 1, a nodularidade dentro da janela do CGI pode ser relativamente constante em uma faixa de aproximadamente 0,006% de Mg. No entanto, à medida que o teor de Mg aumenta dentro do intervalo, o início da porosidade de contração pode começar. Isto é mostrado na Figura 4, onde duas peças de teste com microestruturas semelhantes têm um comportamento de contração (*shrinkage*) significativamente diferente (fundo plano vs. fundo curvo com alguma porosidade interna).

O processo de medição e controle da análise térmica SinterCast foi desenvolvido especificamente para controlar a produção de CGI (ferro vermicular) na extremidade inferior da janela do CGI para fornecer a resistência ideal a porosidade (*shrinkage*). Embora as microestruturas na Figura 4 sejam efetivamente as mesmas, os valores do Índice de Modificação de SinterCast (MGM) são 36 e 45, fornecendo a resolução necessária para medir e prevenir defeitos de porosidade.

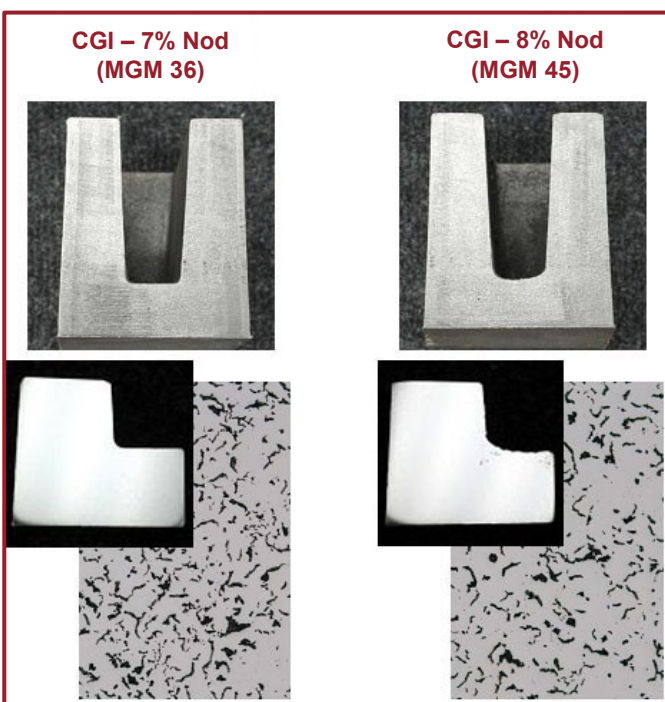


Figura 4: O aumento do magnésio pode causar defeitos de encolhimento (*shrinkage*) antes que qualquer alteração na microestrutura seja observada. As duas peças de teste foram produzidas a partir da mesma panela de uma tonelada. A única diferença é a adição de 60 g de Mg antes de lançar a segunda amostra.

O Copo de Amostras SinterCast

A medição de análise térmica SinterCast é obtida imergindo o copo de amostragem no ferro. A amostragem por imersão garante que o copo de amostragem e o ferro estejam em equilíbrio térmico, evitando qualquer solidificação induzida por resfriamento e evitando a oxidação que ocorre quando amostras de ferro são despejadas em vasos de análise térmica. Como a janela CGI é tão pequena, é fundamental garantir que todas as diferenças medidas sejam devidas ao comportamento de solidificação do ferro e não devido a variações na técnica de amostragem. Seis revisões de controles separados são executados pelo software SinterCast no início de cada análise para garantir que cada amostra seja obtida consistentemente.

As paredes do Copo de Amostras SinterCast são tratadas com um revestimento reativo que consome magnésio ativo para simular o *fading*. O revestimento é projetado de tal forma que o teor de magnésio na região separada por fluxo na parte inferior do Copo de Amostragem será 0,003% menor do que no centro do Copo de Amostragem. Se o teor de magnésio inicial do ferro estiver muito próximo da borda do ferro cinza, a região separada por fluxo se solidificará como ferro cinzento, enquanto a região central se solidificará como CGI.

O Copo de Amostras SinterCast contém dois termopares reutilizáveis em um tubo de aço protetor. O primeiro termopar está localizado no centro térmico da amostra, enquanto o segundo está localizado na base do tubo de proteção, cercado pelo ferro reagido. Assim, o termopar central indica o comportamento de solidificação no início da fundição, enquanto o termopar inferior simula o comportamento de solidificação no final da fundição.

Essa reação patenteada de redução de magnésio permite que as fundições controlem de forma confiável a produção de CGI na extremidade inferior da janela CGI estável, fornecendo uma microestrutura ideal de CGI e evitando defeitos de porosidade.

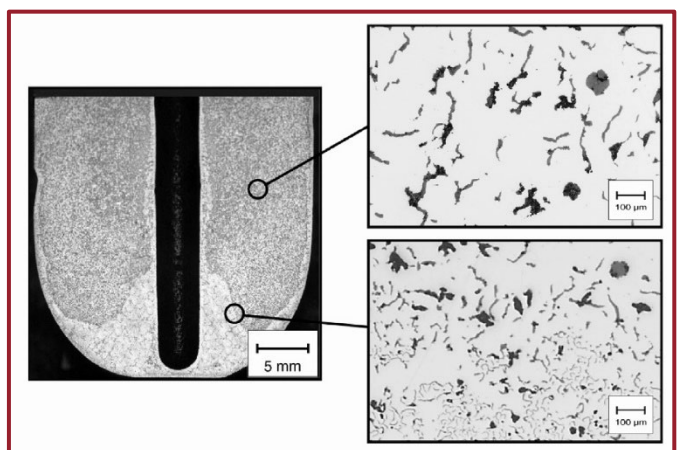


Figura 5: O revestimento de parede reativo consome magnésio para simular o *fading* na parte inferior do copo de amostragem SinterCast.