cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Adição de estanho como perlitizante no ferro fundido nodular através da redução *in-situ* da cassiterita

Ângelo PradellaTitton[14]; Matheus Tuzzin[1]; Pablo Schettert Bagatini[15]; Leonardo Pereira[125]; Robinson Carlos Dudley Cruz[12]; Aloisio Nelmo Klein[4]
1.Instituto Hercílio Randon - IHR; 2.UCS; 4.UFSC; 5. UFRGS

Introdução

Os ferros fundidos nodulares são ligas ternárias de Fe-C-Si, em que a maior parte do carbono se encontra livre, na forma de grafita de morfologia nodular. A matriz metálica pode ser austenítica, ausferrítica, martensítica e na maior parte dos casos ferrítica ou perlítica.

A principal maneira de controlar a relação entre ferrita e perlita é através de elementos perlitizantes, dentre os quais se destacam o cobre, o estanho e o manganês. O manganês possui seu uso limitado. O cobre é o elemento de referência, entretanto apresenta elevado custo. O estanho é amplamente utilizado pelas fundições e seu efeito é de 8 a 10 vezes superior ao do cobre.

Na natureza o estanho é encontrado predominantemente na forma de SnO_2, cujo mineral é a cassiterita. Para chegar ao estanho metálico são necessários processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos que apresentam custos energéticos e operacionais.

Objetivos

Avaliar a incorporação do estanho no banho de ferro fundido nodular por meio da adição da cassiterita (SnO_2), reduzindo custos da liga. Verificar se ocorreu a redução do SnO_2 e o efeito esperado de perlitização. Buscou-se ainda avaliar o efeito da adição de estanho na transformação eutetoide e nas propriedades microestruturais do ferro nodular.

Metodologia

Em escala laboratorial, foram produzidas sete ligas de ferro fundido nodular, sendo uma liga base, três ligas com diferentes adições de SnO_2 e três ligas com adições de estanho metálico.

%C	%Si	%Mn	%Mg
3,50 a 3,60	2,45 a 2,55	0,25 a 0,30	0,03 a 0,06

Tabela 1. Composição da liga base (%wt).

A incorporação do perlitizante foi avaliada por meio de espectrometria OES por centelha e para avaliação da matriz, utilizou-se microscopia óptica e eletrônica. Através das curvas de análise térmica também se verificou o efeito perlitizante esperado, ao se adicionar estanho no ferro fundido, com a modificação do comportamento da reação eutetoide.

Resultados e Discussão

A incorporação do estanho contido no SnO_2 é da ordem de 90%, enquanto do estanho metálico é da ordem de 100%. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Fusão	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Adição	SnO_2	SnO_2	SnO_2	SnO_2	Sn	Sn	Sn
%Sn	0,003	0,023	0,063	0,085	0,023	0,052	0,081
Perlitização	57	63	75	75	59	68	77

Tabela 2. Sn medido (%wt) e perlitização (%).

Conforme se observa na Figura 1 , dos registros da microestrutura, ocorreu aumento da perlitização.

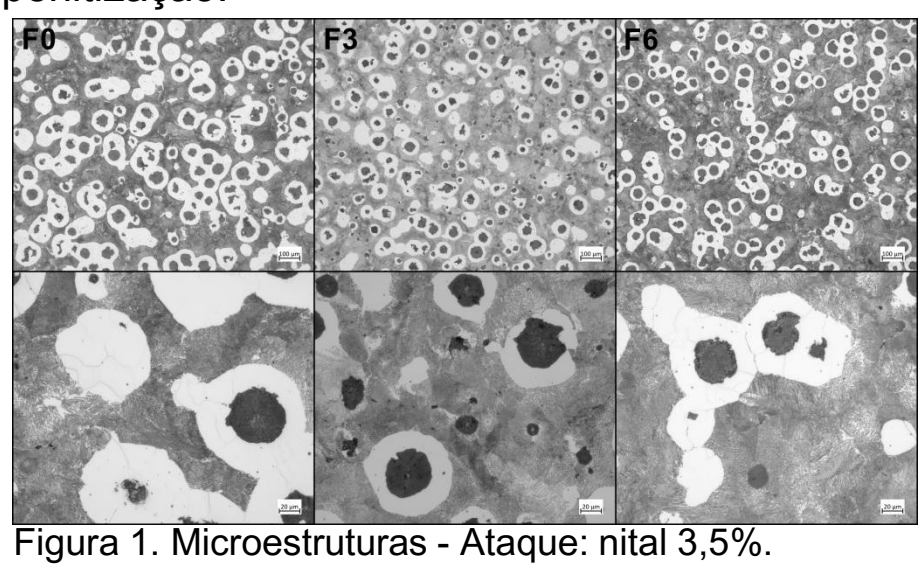


Figura 1. Microestruturas - Ataque: nital 3,5%.

O efeito também se observa na curva de resfriamento, em específico durante a transformação eutetoide.

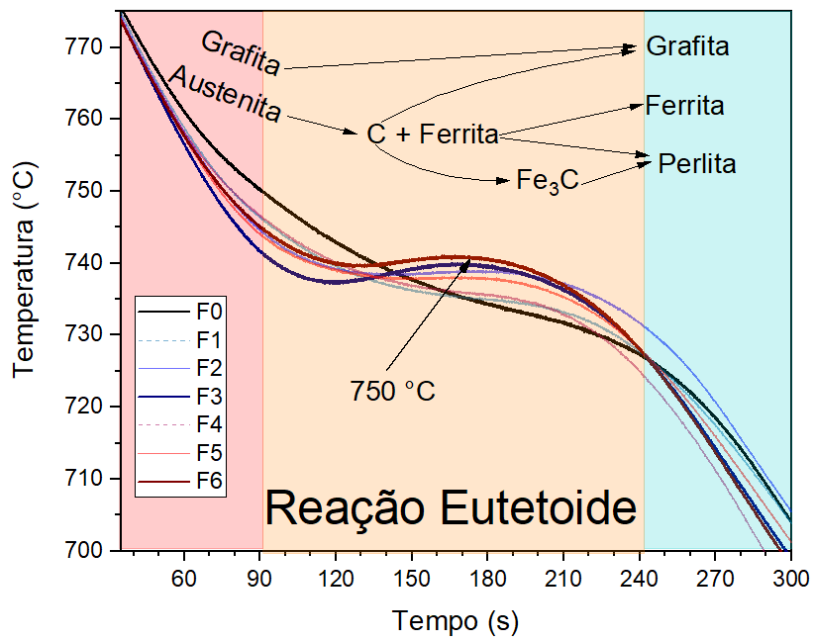


Figura 2. Curvas de resfriamento.

Conclusões

É possível realizar a incorporação de estanho no ferro fundido através da adição de cassiterita diretamente no banho metálico. Não se observou a presença de SnO_2 no MEV.

Para um mesmo teor de Sn, não se observam diferenças entre adições realizadas por SnO_2 e Sn metálico.

Referências e Agradecimentos

TUTTLE, Robert B. **Foundry Engineering**: The Metallurgy and Design of Castings. Independently Published, 2012.

TITTON, Ângelo Pradella *et al*. Effect of SnO2 addition on the mechanical properties of ductile iron. *In*: SEMINÁRIO DE ACIARIA, FUNDIÇÃO E METALURGIA DE NÃO-FERROSOS, 55., 2026, São Paulo. **Anais**. São Paulo: 2026. p. 1077-1087. ISSN 2594-5300. DOI: 10.5151/2594-5300-44033.

WALTON, Charles F. (ed.). **Gray and ductile iron castings handbook**: including data on gray, ductile, white, and high alloy irons. Cleveland: Gray and Ductile Iron Founders' Society, 1971. 679 p.

Os autores agradecem o apoio do Instituto Hercílio Randon e da Mineração Taboca, bem como da Castertech e Randoncorp. O agradecimento se estende ao SENAI-SC, UCS, UFSC, UFRGS e USM pelas parcerias, e à CAPES e ao CNPq.