

Introdução

Na produção de aço pelo processo de lingotamento contínuo, as condições de resfriamento ao qual o lingote está submetido quando em contato com a superfície do molde, influenciam na qualidade e na produtividade do aço lingotado. A solidificação do aço no processo é obtida através da extração de calor do aço líquido pelas paredes do molde refrigerado. A determinação e análise dos parâmetros térmicos (taxa de resfriamento, gradiente térmico e velocidade de solidificação) são necessárias para uma melhor compreensão da microestrutura do metal após sua solidificação.

Objetivos

Projeto de um sistema experimental para obtenção de solidificação unidirecional vertical descendente de 4 lingotes de aço, simultaneamente. Para tanto, serão construídos recipientes cerâmicos, com a mesma tecnologia empregada para obtenção de moldes no processo de microfundição.

Materiais e Métodos

Para a realização dos experimentos de solidificação unidirecional, foram fabricados recipientes cerâmicos como mostrado na Figura 1, através do processo de microfundição.

Os recipientes cerâmicos apresentam características como resistência mecânica à altas temperaturas (~1700°C) e resistência ao choque térmico. Suas laterais foram isoladas termicamente com lã de rocha e em uma de suas extremidades há um bloco maciço de cobre, Figura 2, por onde será feita a extração de calor. O sistema de solidificação unidirecional completo é mostrado na Figura 3.

Para o ensaio de solidificação, foi utilizado o aço, composição química conforme a Tabela 1, que foi fundido em forno indutivo e vazado no molde cerâmico. A temperatura de vazamento do metal foi de aproximadamente 1560 °C, a qual foi definida em função do teor de carbono e a do molde foi de 1000° C – máxima temperatura possível do forno de aquecimento do recipiente cerâmico.

A estrutura resultante da solidificação foi analisada através de micrografia óptica na região da interface metal/bloco de cobre. A macrografia foi feita ao longo do corte longitudinal da amostra solidificada na cavidade do molde cerâmico. Foram realizados os seguintes procedimentos metalográficos: lixamento - realizado com lixadeira manual, utilizando uma seqüência de lixas de carvão de silício com as seguintes granulometrias: #220, #320, #400, #600 e #1200. Ataque químico – realizado por imersão da superfície da amostra em solução nital 5%.



Figura 1 - Molde cerâmico com os blocos de cobre, altura total de 240 mm.



Figura 2 - Bloco de cobre isolado com lã de rocha.



Figura 3 - Sistema de solidificação unidirecional envolvido em lã de rocha.

C	Si	Mn	P	S
0,014	0,19	0,15	0,01	0,01
Cr	Mo	Al	Outros	Fe
0,61	0,14	0,001	0,075	98,80

Tabela 1 – Composição química analisada por espectrometria óptica.

Resultados e Discussões

A Figura 4 mostra o corte na seção longitudinal do lingote. Os defeitos que aparecem nesta figura ocorrem no início da solidificação do aço.

A formação de porosidades (pequenos buracos na periferia do lingote) é atribuída ao aprisionamento dos gases durante o vazamento. O rechupe (vazio no centro do lingote) é atribuído à baixa temperatura do molde (~900°C). Pontos de variação na superfície interna do molde também podem ser identificados diretamente na superfície externa do lingote solidificado, portanto uma das causas da formação do rechupe.

As Figuras 5 e 6 mostram a microestrutura da amostra solidificada na interface metal/bloco de cobre com aumentos de 100x e 200x, respectivamente. Através delas é possível ver uma estrutura com grão ferrítico (fase clara) e perlítico no contorno (fase escura).

De acordo com a literatura esta microestrutura se forma devido ao lento resfriamento em que o aço líquido foi submetido, ou seja, os lingotes foram desmoldados apenas no dia seguinte, dando tempo para que o aço esfriasse lentamente.

Os fatores descritos acima devem ser observados para que os defeitos sejam minimizados.



Figura 4 - Imagem do lingote solidificado. Na régua a escala está em milímetros.

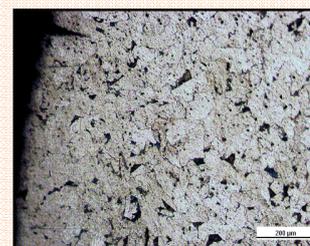


Figura 5 - Microestrutura da amostra solidificada próximo da interface metal/bloco de cobre com aumento de 100x.

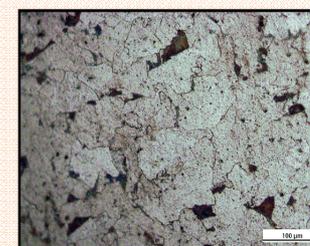


Figura 6 - Microestrutura da amostra solidificada próximo da interface metal/bloco de cobre com aumento de 200x.

Conclusão

Os resultados mostraram que o sistema de resfriamento não se mostrou eficiente para que se tenha uma extração de calor contínua do metal. Dessa forma é necessário modificações no sistema de solidificação unidirecional tais como: refrigeração do bloco de cobre, aumento da temperatura do molde cerâmico para um valor próximo da temperatura de vazamento do aço líquido. Variações na superfície interna do molde devem ser a mínima possível.

Agradecimentos

Agradeço ao Laboratório de Fundição pelo apoio e colaboração no andamento do projeto, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela oportunidade e a CNPQ pelo apoio financeiro.