

# Estudo da modificação do fluxo de lingotamento contínuo pela interação banho escória

**Autor:** Renan Vieira de Souza

**Orientador:** Prof. Nestor C. Heck

Núcleo de termodinâmica computacional para a metalurgia  
 Centro de Tecnologia –UFRGS  
 Avenida Bento Gonçalves, 9500 Porto Alegre/RS  
 Fone (51) 3308 7102 - www.ct.ufrgs.br/ntcm

## 1. Introdução

Durante o lingotamento contínuo dos aços, sabe-se que mesmo pequenas variações no teor de  $Al_2O_3$  da escória líquida no molde (entre 2-4%, valor típico resultante de técnicas de produção de aços limpos, como por exemplo na Gerdau Aços especiais Usina Charqueadas) já causam um aumento significativo na viscosidade da escória. A viscosidade da escória líquida, usualmente tomada a  $1300^\circ C$ , é o parâmetro mais importante relacionado ao desempenho de pós fluxantes na prática industrial, pois está diretamente relacionado à qualidade dos lingotes produzidos em uma usina siderúrgica. A variação no teor de  $Al_2O_3$  da escória líquida se explica tradicionalmente pela absorção de inclusões; no entanto, a reação de reoxidação na interface escória líquida / metal líquido também é possível:



Sabe-se de alguns textos da literatura que essa reação de reoxidação pode ter maior influência no aumento do teor de  $Al_2O_3$  da escória da escória líquida do que a própria absorção de inclusões do aço, em algumas situações. Por outro lado, cerca de 5% do total das inclusões absorvidas pelas escórias durante o processo de produção de aço acontece através da escória líquida do molde.

## 2. Objetivos

Comparar o desempenho de dois pós fluxantes em relação à variação do teor de  $Al_2O_3$  da escória líquida, quando em contato com o aço, através de experimentos em forno elétrico laboratorial e fornecer uma possibilidade de validação dos resultados da termodinâmica computacional. Os dois pós fluxantes são: o denominado Accutherm ST/ SP 512 SV-DS - utilizados pela usina na fabricação de diversas qualidades de aços – e um novo pó fluxante sem flúor, produzido em laboratório, de composição simples, que vem sendo desenvolvido para substituir o anterior.

Avaliar o desempenho do pó fluxante sem flúor para o parâmetro tecnológico “inclusões”, considerando também a reação de reoxidação que ocorre na interface escória / banho.

Desenvolver uma relação entre escória / banho, através da simulação termodinâmica, em que possamos controlar a variação do teor final de  $Al_2O_3$  da escória, sem que ocorra aumento nessa variação, para o qual se é necessário para se ter um lingotamento contínuo estável.

## 3. Metodologia

### 3.1 – Ensaios em laboratório e simulação

A simulação termodinâmica computacional foi feita utilizando-se o aplicativo FactSage e dois conjuntos de bancos de dados diferentes: FS53 e Ftoxid53+FSStel53. Os dados de entrada são oriundos das composições químicas de uma liga simples Fe-Al-O e de um pó fluxante simplificado.

Os ensaios em laboratório foram realizados em Forno Elétrico Resistivo (Figura 1) a  $1600^\circ C$  e sob atmosfera inerte (Argônio).

A fusão da carga foi realizada em cadinhos de alumina ( $Al_2O_3$ ). Esses possuem ponto de fusão superior àquela temperatura de obtenção do aço líquido, não reagindo com a carga metálica (Figura 2).



Fig.1 - Forno Elétrico Resistivo e sistema de controle.



Fig.2 - Cadinho de  $Al_2O_3$  com carga.

#### 3.1.1 – Preparação e fusão da carga

- ✓ Preparação da carga com ferro puro e alumínio puro. O teor de  $O$  é obtido através da adição de óxido de ferro. Massa total de 1kg (Figura 2);
- ✓ O pó fluxante sintético é composto por silício, alumina e óxido de cálcio;
- ✓ Introdução da carga no forno. Purga de 1h com argônio;
- ✓ Fusão da carga. Taxa de aquecimento de  $5^\circ C/min$  até  $1600^\circ C$ .

#### 3.1.2 – Injeção do pó fluxante e retirada das amostras

Quando  $T = 1600^\circ C$ .

- ✓ Tempo = 22 min – Coleta-se uma amostra do aço ( figura3).
- ✓ Tempo = 25 min – Adição do pó fluxante;
- ✓ Tempo = 40min – Início do resfriamento do forno.



Fig.3 – Amostradores de sucção.

### 3.2 – Preparação da amostra de escória para análises químicas

- ✓ Moagem da escória com granulometria de 200 mesh;
- ✓ Análise química da escória via fluorescência de raio X.

### 3.3 – Análise de inclusões

- ✓ Preparação metalográfica da amostra de aço para análise química (corte, embutimento, lixamento, polimento);
- ✓ Análise química das inclusões via MEV/EDS (Figura 6).

## 4. Resultados e Discussão

Através da simulação termodinâmica computacional, e considerando o sistema Fe-Al-O para o aço e  $SiO_2$ -  $Al_2O_3$ - CaO para escória conseguimos obter os seguintes resultados: O Alumínio (Al) dissolvido no aço reage com a sílica ( $SiO_2$ ) presente na escória líquida formando alumina ( $Al_2O_3$ ) na escória líquida e silício (Si) dissolvido no aço, como comprovamos no (figura 3), que se refere apenas aos componentes que compõe o aço, nota-se que há uma diminuição da quantidade de alumínio (Al) presente no aço em detrimento de um aumento da quantidade de silício (Si), sendo que este não constava na composição inicial no aço. A diminuição brusca da quantidade de alumínio ocorre pelo fato de que há formação de novos componentes no aço, que inicialmente não existiam, formados pela oxidação do alumínio como (AlO,  $Al_2O$ , SiO, CaO), esses óxidos são desprezados da análise por não interferirem diretamente na formação de alumina na escória.

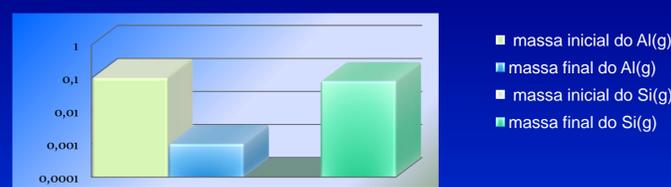


Fig.4 - Variação da massa dos componentes do aço

Na avaliação dos componentes da escória: Temos a reação entre alumínio (Al) e a sílica ( $SiO_2$ ) que nos leva a mudanças na composição da escória líquida, diminuindo a sílica ( $SiO_2$ ), ocorre também um pequeno aumento no teor de alumina ( $Al_2O_3$ ) da escória, conforme o (figura 5). Sendo assim o alumínio reagindo com a sílica é uma fonte possível para a formação de alumina na escória, portanto temos que considerar também essa reação para cálculos do teor de alumina na escória, e não só considerar a absorção da alumina pela escória que se encontra presente no aço na forma de “inclusão”, visto que elaboramos para o experimento um aço puro desprovido de inclusões.

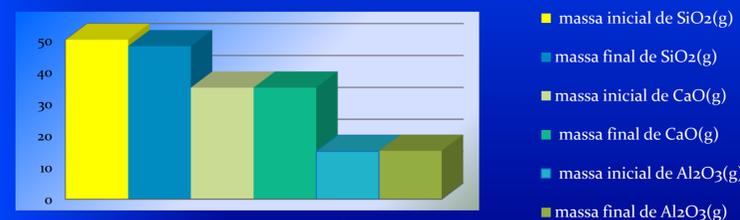


Fig.5 - Variação dos componentes da escória

## 5. Conclusões

- ✓ Através do software FactSage conseguimos desenvolver uma relação de massa (escória / banho), pelo qual obtivemos uma pequena variação de alumina, sendo que essa pequena variação não altera a viscosidade da escória líquida do molde.
- ✓ Obtivemos uma relação entre Al e Si componentes dissolvidos no aço, e  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ , elementos presente na escória líquida.
- ✓ Há uma indicação positiva de que a receita de pó fluxante (escória) sem flúor que usamos, tem potencial para substituir o convencional com flúor.

## 6. Referências

KLUG, J. L. ; HECK, N. C. ; SILVA, D. dos R. ; VILELA, A.,C.,F . MOULD SLAG ALUMINA PICK-UP DUE TO CHEMICAL REACTIONS AT THE METAL-SLAG INTERFACE IN THE CONTINUOUS CASTING PROCESS. In: 65º Congresso Anual da ABM Internacional, 2010, Rio de Janeiro - RJ. Anais do 65º Congresso Anual da ABM Internacional. São Paulo : Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2010.

## 7. Agradecimentos

- Ao Dr. Eng. Wagner V. Bielefeldt por auxiliar nas atividades experimentais.
- A Stolberg pelo financiamento do projeto.