

# MECANISMOS DE OBSTRUÇÃO DE VÁLVULA SUBMERSA NO LINGOTAMENTO DE AÇOS PERITÉTICOS<sup>1</sup>

Sérgio Luiz de Souza Costa<sup>2</sup>  
Eugênio Pacelli Meireles de Araújo<sup>3</sup>  
Adilson Yukishigue Suda<sup>4</sup>

## Resumo

A produção de aços peritéticos no lingotamento contínuo é muito susceptível à formação de aglomerados de inclusões na válvula submersa, o que pode levar a sua obstrução, comprometendo a produtividade da aciaria. Nesse trabalho foram avaliadas as causas da ocorrência de obstruções em aços peritéticos, tomando como base os mecanismos propostos pela literatura, através do acompanhamento e análise de corridas que apresentaram ou não o problema. Verificou-se que quando ocorreu entupimento, as amostras de aço retiradas na etapa de refino apresentaram enxofre ou magnésio nos contornos das inclusões de alumina. Em função desse resultado inferiu-se que o entupimento pode ser o resultado da interação de inclusões líquidas e sólidas, durante a solidificação do aço, com as inclusões líquidas exercendo o papel de ligante das sólidas. Essa interação é a que ocorre entre as inclusões de sulfeto e de alumina. Outra possibilidade é a de formação de espinélio, através da interação do magnésio dissolvido no banho com as inclusões de alumina. A partir dos referidos mecanismos, foi proposta uma série de ações que se mostraram muito eficientes na redução de entupimento da válvula submersa.

**Palavras-chave:** Inclusão; Aço peritético.

## STEEL REFINING PRACTICE TO PRODUCE PERITECTIC STEEL AT USIMINAS STEEL SHOP

### Abstract

The interruption of the continuous casting due to submerged nozzle clogging has negative effect on the productivity and steel quality. In the continuous casting machine of the Usiminas Steel Shop 1 this effect is aggravated because it has just one strand. The goal of this study was to evaluate the applicability of the mechanisms proposed by literature to explain clogging formation, by observing heats with and without the problem. In every heat it was observed, during the refining treatment, small amount of solid inclusions and large inclusions. In case of clogging formation it was observed sulfur and magnesium on alumina inclusions boundaries. The clogging formation results from the interaction between solid inclusions and liquid inclusions, the first being of alumina type and the latter of calcium sulphide. Another possibility is the formation of spinell through the interaction between magnesium and alumina inclusions. By knowing the clogging mechanisms, a series of counter-measures was proposed which have shown effective in controlling the submerged nozzle clogging.

**Key words:** Inclusion; Steel; Peritectic.

<sup>1</sup> Trabalho a ser apresentado no XXXVIII Seminário de Aciaria – Internacional, 20 a 23 de maio de 2007, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Dr., Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>3</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Gerência de Seção dos Convertedores da Aciaria 1 da Usiminas; Ipatinga, MG.

<sup>4</sup> Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Gerência de Seção de Lingotamento Contínuo da Aciaria 1 da Usiminas; Ipatinga, MG.

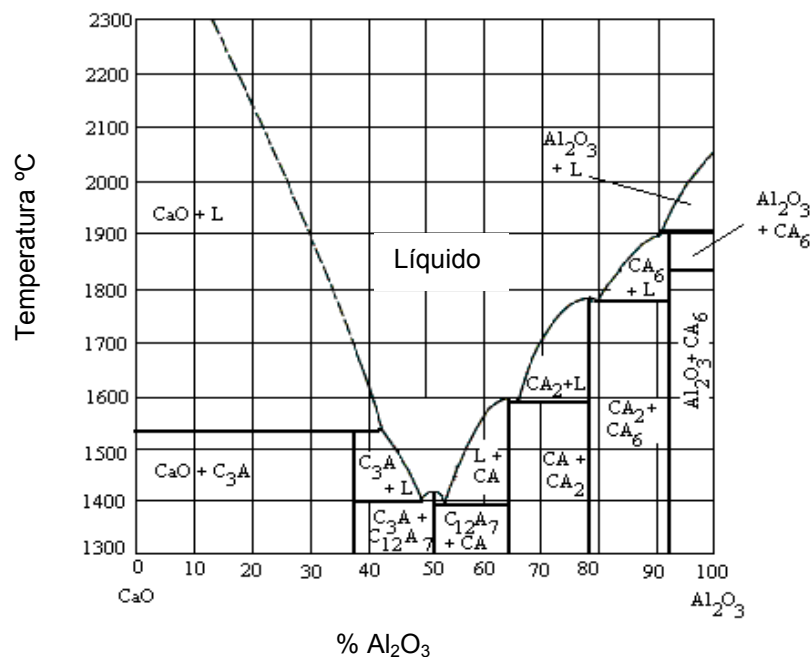
# 1 INTRODUÇÃO

As possíveis causas de obstrução de válvula submersa podem ser atribuídas à deposição de aglomerados de inclusões sólidas ou semi-sólidas na válvula e à baixa temperatura do aço. <sup>(1,2)</sup>

Os materiais sólidos ou semi-sólidos encontrados nos aglomerados nas válvulas do processo de lingotamento de aço podem ser formados de diferentes compostos de alto ponto de fusão e elevada resistência, tais como:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeO-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$  (espinélio),  $\text{TiN}$ ,  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaS}$ . <sup>(1)</sup>

As inclusões de alumina têm um ponto de fusão elevado, sendo sólidas nas temperaturas de lingotamento do aço. Tais inclusões apresentam também elevada tensão superficial e, por isso, existe a tendência de se aglomerarem na válvula, provocando a sua obstrução. Além disso, a presença de inclusões de alumina no produto compromete a qualidade do aço. Por este motivo, é de fundamental importância o controle da quantidade e da morfologia destas inclusões. Para se conseguir este controle realizam-se tratamentos com escória sintética e adição de cálcio.

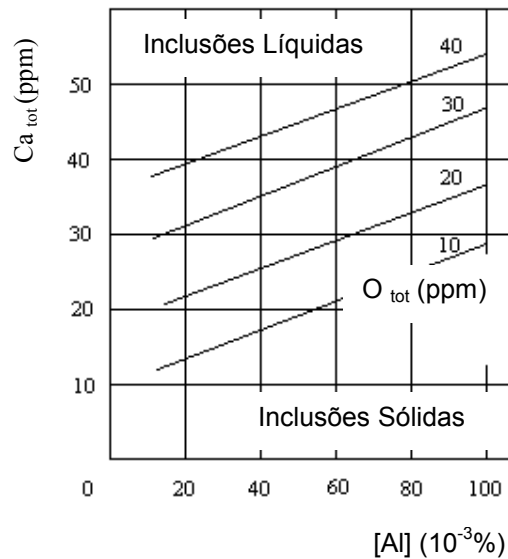
Em aços desoxidados com alumínio e tratados com cálcio, ocorre a formação de aluminato de cálcio cuja composição depende da proporção de  $\text{CaO}$  na inclusão, conforme pode ser visto na Figura 1. Nas temperaturas de lingotamento do aço, as inclusões são líquidas com uma proporção de  $\text{CaO}$  de 40 a 60%.



**Figura 1** – Diagrama de equilíbrio  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ . <sup>(1)</sup>

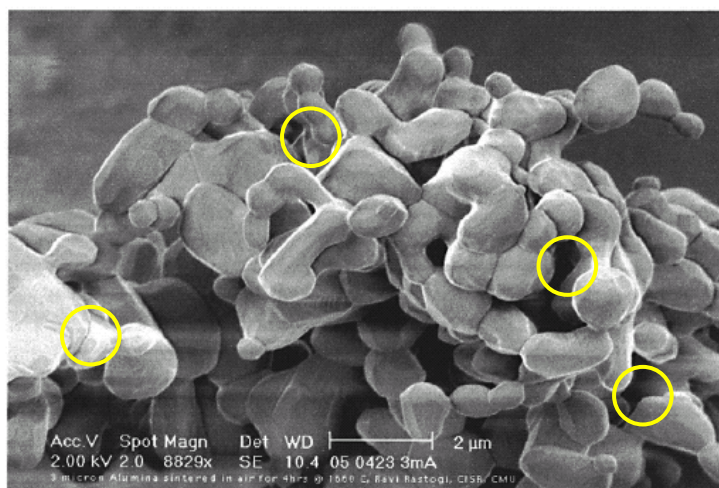
Caso seja baixa a proporção de  $\text{CaO}$ , as inclusões de alumina, nas temperaturas de lingotamento, serão transformadas em inclusões sólidas de aluminato de cálcio, com elevada tensão superficial, que, por sua vez, formarão aglomerados maiores que os de alumina, presentes antes do tratamento com cálcio. O mesmo ocorre com uma proporção maior que 60% de  $\text{CaO}$  na inclusão. Portanto, deve-se ter inclusões de aluminato de cálcio contendo 50% de  $\text{CaO}$  e 50% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Estas inclusões têm ponto de fusão em torno de  $1400^\circ\text{C}$ , sendo líquidas na temperatura de lingotamento do aço.

O controle de inclusões de óxidos, com o objetivo de prevenir a obstrução de válvula submersa, depende da limpidez do aço, determinada por meio das medições dos teores de oxigênio total ( $O_{tot}$ ), de cálcio e de alumínio no aço, conforme mostrado na Figura 2.



**Figura 2** – Quantidade de cálcio necessária para prevenir a obstrução de válvula.<sup>(2)</sup>

No entanto, estudos recentes<sup>(3,4,5)</sup> mostram que o mecanismo de obstrução de válvulas gaveta e submersa é bem mais complexo, pois envolve o equilíbrio simultâneo de enxofre, magnésio, oxigênio, manganês e cálcio. A ocorrência de obstrução não está unicamente relacionada à presença de inclusões sólidas de alumina, como apresentado anteriormente, mas à combinação de inclusões líquidas e sólidas. As fases líquidas, inclusões de baixo ponto de fusão, apresentam também baixa tensão superficial e por isso, aderem à superfície do refratário e colam às inclusões sólidas e, assim, provocam a obstrução, Figura 3. As regiões circuladas, ilustram o mecanismo de colagem de inclusões.



**Figura 3** – Micrografia de um aglomerado de alumina em uma válvula submersa.<sup>(3)</sup>

Pode ocorrer também a formação de espinélio, que é uma fase complexa gerada da interação química de inclusões de baixo ponto de fusão com inclusões de elevado ponto de fusão, igualmente prejudicial.

Atuar apenas na redução de inclusões sólidas não é suficiente para eliminar a obstrução, uma vez que, sempre ficarão retidas no aço inclusões sólidas para combinação com as inclusões líquidas.

## **2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Foram acompanhadas industrialmente duas séries de aços peritéticos. Na primeira série, foram acompanhadas corridas sem injeção de CaSi e na segunda com injeção, representando um total de 36 corridas. Durante este acompanhamento, retiraram-se amostras de aço no distribuidor para contagem de inclusões. Além disso, foram retiradas amostras de escórias, antes e após tratamento no forno panela, para avaliação da composição química das mesmas.

O objetivo principal da experiência era de minimizar a ocorrência de obstrução de válvula submersa, em aços peritéticos com teores visados de enxofre inferiores a 0,01%, por meio da redução da quantidade de inclusões líquidas de sulfeto e sólidas. Para isso, todas as corridas foram produzidas utilizando gusa com teor de enxofre inferior a 0,004% e com percentual de sucata na carga metálica de 15%, visando a obter teor de carbono de fim de sopro de 0,06% e temperatura de fim de sopro de 1660°C. Além disso, a adição de fundentes na panela foi alterada para 10 kg/t de aço, para garantir, ao mesmo tempo, uma escória com composição química adequada e volume suficiente para absorver as inclusões do aço sem perder suas propriedades físico-químicas.

Durante o vazamento do aço, promoveu-se um vigoroso borbulhamento de argônio para acelerar o processo de formação da escória de refino secundário. Além disso, para o controle de sua oxidação, adicionou-se 30 kg de alumínio granulado, uniformemente sobre a escória.

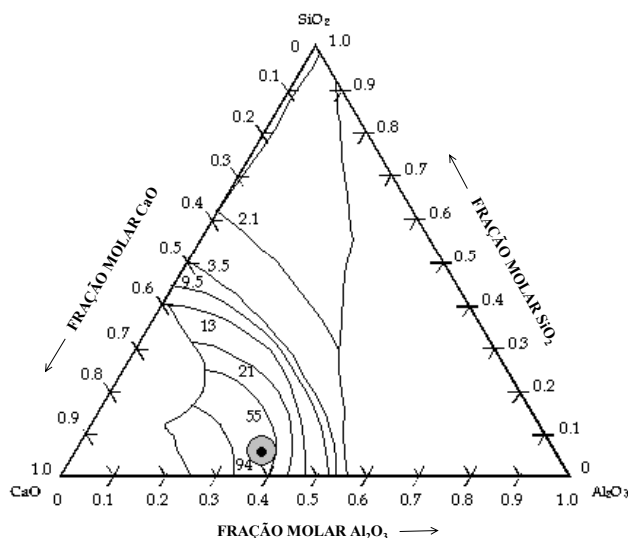
No forno panela, visou-se 0,03% de alumínio ao final de tratamento e injetou-se 40 kg de CaSi.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados das análises dos teores de carbono, de alumínio, de nitrogênio e de cálcio, e da temperatura fim de sopro, em geral, ficaram dentro das faixas visadas (N 0-50 ppm, Al 0,01-0,045%, Ca 8-50 ppm). Em todas as séries não se verificou casos de obstrução.

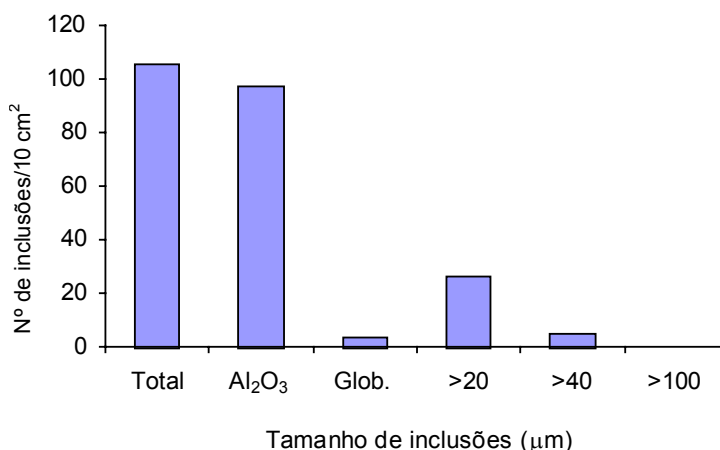
Observou-se que o teor de enxofre, em muitos casos, foi reduzido no vazamento, não sendo necessária uma redução no forno panela. Portanto, não foram geradas inclusões de CaS no interior do metal líquido no refino secundário, cujo efeito é muito prejudicial a ocorrência de obstrução, uma vez que, tais inclusões são líquidas, aderem à parede da válvula e funcionam como um ligante para as inclusões de alumina. Assim, se for necessário promover uma redução do teor de enxofre, é melhor que seja feita em etapas anteriores ao forno panela.

A composição química da escória obtida está em uma região com baixa temperatura de fusão e elevada capacidade de enxofre e alumina, conforme Figura 3. Assim, caso fosse necessário dessulfurar o aço, a escória estaria adequada.



**Figura 3** - Composição química da escória após tratamento no Forno Panela.

Os resultados das análises metalográficas das amostras de aço apresentaram baixíssimas quantidades de inclusões. Em nenhum dos casos, houve ocorrência de inclusões maiores que 100  $\mu\text{m}$  e somente em algumas corridas, foi verificada a presença de inclusões globulares, conforme Figura 4. Portanto, todos os fatores contribuíram para a não obstrução da válvula submersa durante o lingotamento.



**Figura 4** – Resultados médios de limpeza dos aços peritéticos produzidos

Com base nos modelos desenvolvidos por Cramb<sup>(3)</sup> e Gaye<sup>(5)</sup> foi possível realizar algumas simulações para identificar se as inclusões formadas no processo de fabricação do aço seriam líquidas ou sólidas. Esse modelo leva em conta o equilíbrio simultâneo de sete elementos: silício, alumínio, cálcio, magnésio, manganês, oxigênio total, enxofre e a temperatura em que o aço líquido é processado. Os resultados das simulações, tomando como referência os referidos modelos, indicaram em todos os casos, quantidade de inclusões líquidas inferiores a 10 ppm.

Pode-se afirmar que todas as condições metalúrgicas contribuíram para o sucesso do lingotamento do aço, livre de entupimentos, ou seja, praticamente sem inclusões líquidas e poucas inclusões sólidas de pequeno tamanho. Com a redução das inclusões líquidas, que promovem a colagem das inclusões sólidas, não se verificou o crescimento de espécies não metálicas promotora da obstrução. Também não houve depósito de alumina porque a quantidade dessas inclusões foi muito pequena.

## 4 CONCLUSÕES

A composição química da escória obtida está em uma região de baixo ponto de fusão e elevada capacidade de alumina, o que é benéfico tanto do ponto de vista de redução de inclusões como de dessulfuração do aço.

No entanto, com as contramedidas adotadas não foi necessário promover redução do teor de enxofre no forno panela. Assim, não foram geradas inclusões de CaS no interior do metal líquido, cujo efeito é de favorecer a ocorrência de obstrução, uma vez que tais inclusões são líquidas, aderem à parede da válvula e funcionam como ligante das inclusões sólidas de alumina e aluminato de cálcio. A redução do teor de enxofre, se necessário, deve ocorrer em etapas anteriores ao refino secundário. Caso contrário, é necessário promover uma drástica redução das inclusões sólidas de alumina.

Em algumas corridas foi verificada a presença de inclusões globulares, mostrando que além de elevado grau de limpidez, as inclusões são de pequeno tamanho e sólidas. Portanto, todos os fatores contribuíram para a não ocorrência de obstrução da válvula submersa durante o lingotamento. Por tudo isso, pode-se afirmar que todos os procedimentos operacionais adotados contribuíram para o sucesso do lingotamento do aço livre de entupimentos.

## REFERÊNCIAS

- 1 NADIF, M., GATELIER, C. Influence d'une addition de calcium ou de magnésium la solubilité de l'oxygène et du soufre dans l'acier liquide. *Revue de Métallurgie – CIT*, v.83, n.5, p.377-94, mai 1986.
- 2 FARIES, F., GIBBINS, P. C. and GRAHAM, C. – Comparison of different calcium injection methods for production of aluminum treated steels for billet casting – *Ironmaking and steelmaking*, p. 23-31, v.13 (1986).
- 3 CRAMB, A. W., RASTOGI, R., MADDALENA, R. L.. Nozzle clogging. The IASE Steel Foundation, Pittsburg, PA, 2003. Cap. 9, 17p.
- 4 CRAMB, A. W., RASTOGI, R., MADDALENA, R. L.. The making, shaping and treating of steel: casting: Nozzle clogging .11 ed. Pittsburg: Aise Steel Foundation, 2003. 1v, cap. 9.
- 5 GAYE, H. R. The making, shaping and treating of steel: casting: Inclusion formation in steels. 11 ed. Pittsburg: Aise Steel Foundation, 2003. 1v, cap. 3.