

AVALIAÇÃO CRÍTICA DAS AÇÕES "ANTI-CLOGGING" NO LINGOTAMENTO CONTÍNUO

HENRIQUE SILVA FURTADO ⁽¹⁾

MAURIZIO GALLO ⁽²⁾

MARCUS BARCELOS ⁽³⁾

MARCELO FIALHO ⁽⁴⁾

Neste trabalho é apresentada uma análise crítica das recomendações disponíveis na literatura para redução das ocorrências de obstrução por alumina, com base em resultados de testes industriais efetuados no lingotamento contínuo da CST.

Dentre todas as recomendações testadas, a injeção de argônio mostrou ser a mais efetiva, desde que seja garantida uma pressão de retorno mínima. A redução dos eventos de "clogging" com a otimização da injeção de argônio resultou no aumento da capacidade de produção das máquinas em 29.040 t/ano e a redução de 47% das placas com eventos de qualidade de variação de nível do molde fora da faixa, crítica para os aços aplicados em partes expostas.

Várias válvulas contendo refratários com propriedades "anti-clogging" foram avaliadas. Nenhuma delas apresentou resultado superior ao do material utilizado na rotina na prevenção da obstrução por alumina.

Palavras Chaves: lingotamento contínuo, clogging, alumina

XXXV SEMINÁRIO DE FUSÃO & V SEMINÁRIO DE FUNDIÇÃO – 2004 – INTERNACIONAL, 17 A 19 DE MAIO DE 2004 – SALVADOR - BAHIA – BRASIL.

1- Engenheiro Metalúrgico, MSc, membro da ABM, Especialista Sênior da divisão Técnica da aciaria da CST

2- Engenheiro Metalúrgico, membro da ABM, Assistente técnico da MAGNESITA.

3- Engenheiro Metalúrgico, membro da ABM, Especialista da divisão Técnica da aciaria da CST

4- Engenheiro Metalúrgico, membro da ABM, Especialista da divisão Técnica da aciaria da CST

INTRODUÇÃO

Através do conjunto das válvulas e placas refratárias do distribuidor, o aço líquido escoava depositando os produtos sólidos da desoxidação e re-oxidação, formando o “clogging”, ou obstrução por alumina. Este fenômeno ocorre na CST preferencialmente nos aços baixo e ultra-baixo carbono. No primeiro caso, ele é localizado na válvula submersa; no segundo, principalmente na válvula superior do distribuidor (figura 1).

A obstrução por alumina apresenta um grave efeito deletério na produtividade das máquinas, no rendimento do lingotamento, no custo do refratário e na qualidade do aço produzido.

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar as eficiências de algumas alternativas tecnológicas disponíveis na redução da obstrução por alumina, independentemente da limpeza do aço líquido lingotado.

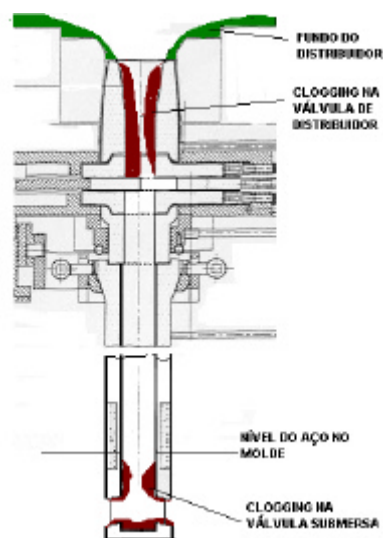


Figura 1: “Clogging” nas válvulas do distribuidor da CST

TEORIA DO PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE ALUMINA NAS VÁLVULAS DO DISTRIBUIDOR

Conforme observação de Rastogi et al⁽¹⁾, a obstrução por alumina é composta de uma rede de grãos microscópicos de alumina (figura 2) podendo ou não apresentar aço solidificado no seu interior. Segundo estes autores⁽¹⁾ o processo de sinterização destas partículas, nas temperaturas de lingotamento, depende do tempo de contato entre elas e o refratário.

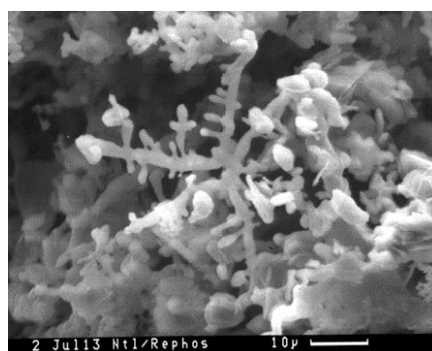
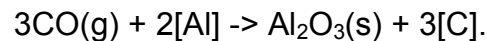
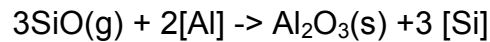


Figura 2: Cluster de alumina que compõe o “clogging”⁽¹⁾

Segundo a Mukai e ZeZé⁽²⁾, as partículas que entrariam em uma subcamada laminar junto a parede do refratário, onde a velocidade do aço líquido seria muito baixa, estariam sob o efeito de uma componente de força perpendicular à parede do mesmo, impulsionando-as ao contato (figura 3). Esta componente seria originária do gradiente de tensão interfacial, existente nesta região, induzido pelo enriquecimento do aço líquido com carbono e silício, resultantes da reoxidação do alumínio do aço pelas impurezas do refratário, ou seja:



Portanto, pela hipótese apresentada anteriormente, independentemente da limpidez do aço, o problema do “clogging” poderia ser minimizado adotando-se as seguintes ações:

- Induzir distúrbios externos para destruir a subcamada laminar do interior das válvulas refratárias utilizando gás inerte;
- Utilizar refratários que evitem a sinterização dos grãos de alumina;
- Minimizar o gradiente de tensão interfacial na subcamada laminar utilizando refratários isentos de carbono.

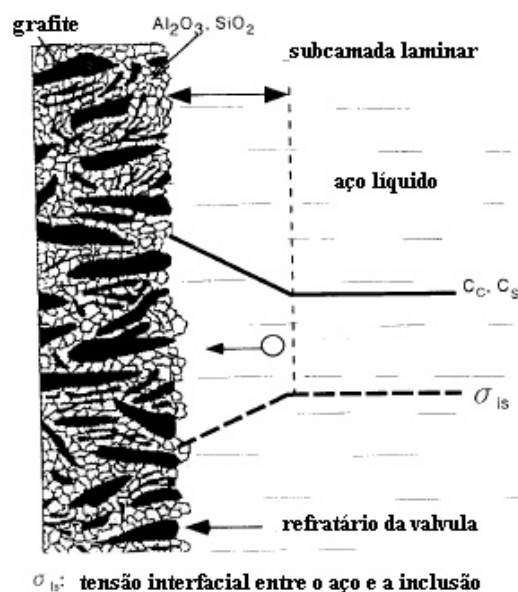


Figura 3: Modelo proposto para o contato entre as inclusões e o refratário⁽²⁾

TESTES INDUSTRIAIS: RESULTADOS E ANÁLISES

INJEÇÃO DE ARGÔNIO.

A injeção de argônio nas válvulas refratárias do distribuidor é o método mais utilizado para reduzir o processo de obstrução por alumina no lingotamento contínuo. Apesar de comprovadamente eficiente, não é incomum observar-se episódios de obstrução prematura, mesmo com a injeção de volumes considerados deste gás. Uma análise destes episódios evidenciou uma forte associação da obstrução (figura 4a) com a queda da pressão de retorno no início do lingotamento

(figura 4b). Neste caso, esta queda pode ser a evidência da existência de fuga do argônio para fora do aço líquido, através de trincas ou juntas dos refratários.

(a)

Erro! Vínculo não válido.

(b)

Erro! Vínculo não válido.

Figura 4: Evolução da obstrução por alumina(a) e da pressão de retorno do argônio(b)

A mudança do ponto de injeção do argônio para uma região de refratário mais estável melhorou substancialmente a sua pressão de retorno. Como resultado foi possível notar uma redução significativa nas perdas de produtividade por obstrução por alumina (figura 5), assim como uma diminuição do número de placas com eventos de qualidade relacionados à variação do nível do molde em torno de 47%.

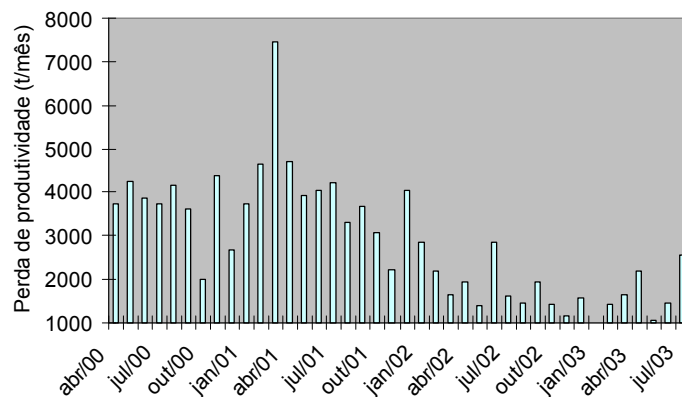


Figura 5: Evolução das perdas de produtividade por obstrução por alumina na CST **TESTE COM A VÁLVULA SUBMERSA COM INSETO DE CaO-ZrO₂-C.**

O conceito associado à utilização de refratários contendo insertos de CaO-ZrO₂-C (~21%; ~46%; ~26%) é a formação de aluminato de cálcio líquido entre a alumina do aço e o cálcio do refratário⁽³⁾. Neste caso, o processo de sinterização das partículas sólidas de alumina seria evitado, inibindo a formação do “clogging” (figura 6).

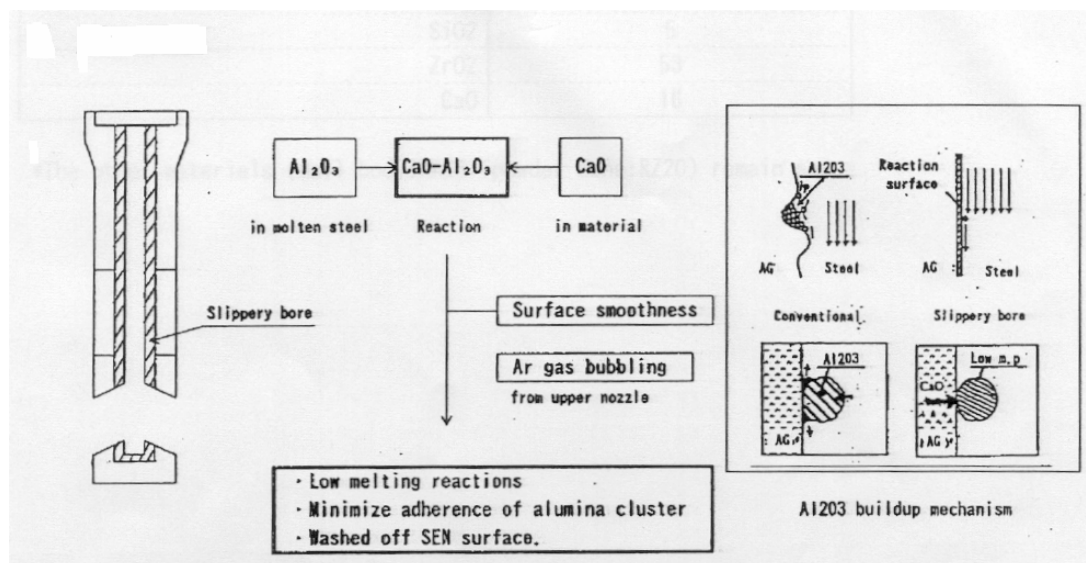


Figura 6: Aspectos teóricos relacionados à utilização do inserto de CaO-ZrO₂-C

Testes industriais foram realizados em 18 distribuidores, intercalando-se a válvula de teste e a de rotina entre os veios do lingotamento. Como pode ser observada na figura 6, a leve tendência de redução da espessura de alumina não apresenta significado estatístico (“p-value” > 0,05) em um nível de confiabilidade de 95%. Este resultado é devido provavelmente à incapacidade do inserto de suprir o cálcio na quantidade e velocidade necessária para formar o aluminato líquido.

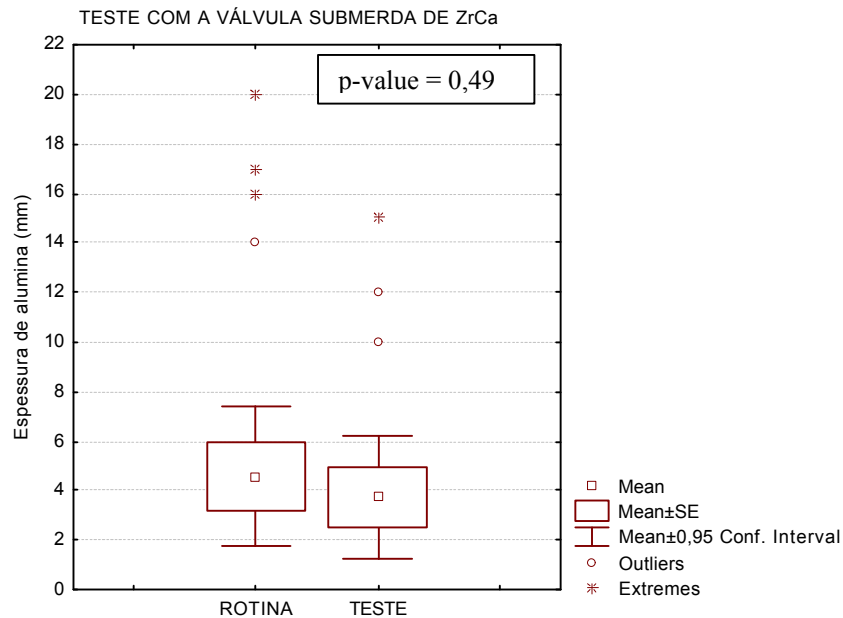


Figura 7: Teste com a válvula de CaO-ZrO₂-C na CST

TESTE COM A VÁLVULA SUBMERSA COM DUPLO “STEP”

A utilização de válvula submersa com duplo degrau no seu interior (“step”) tem sido reportada pela literatura⁽³⁾ como sendo um meio efetivo para a redução da obstrução por alumina no lingotamento contínuo (figura 8).

Este caso parece estar associado a diminuir o efeito da subcamada laminar apresentado anteriormente.

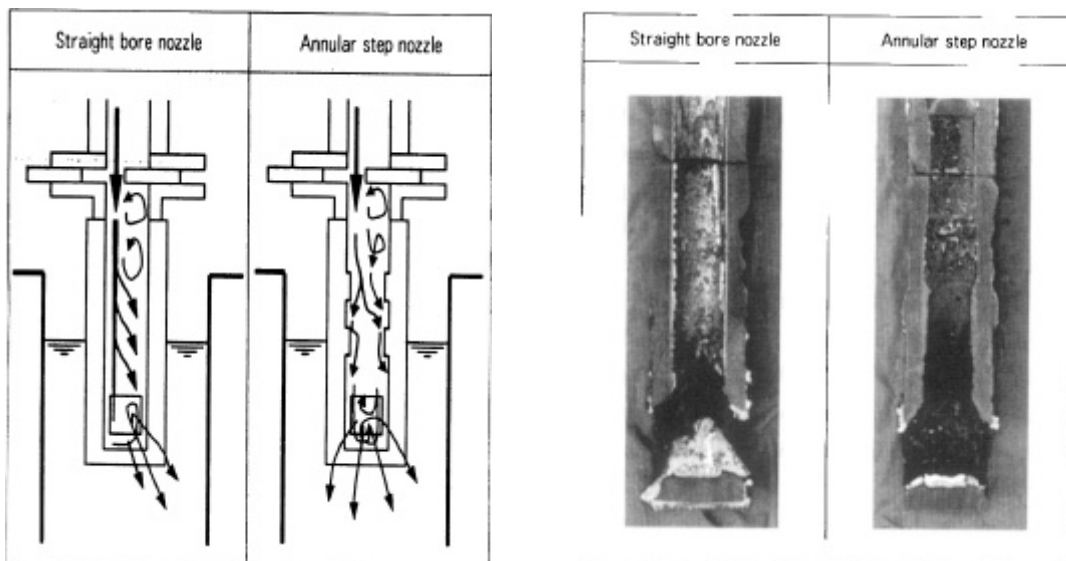


Figura 8: Efeito da Válvula submersa com degrau na ocorrência de “clogging”⁽³⁾

Nos testes comparativos (11 distribuidores), as válvulas submersas de rotina e de “step” foram aleatoriamente posicionadas nos veios, de forma a serem submetidas à mesma qualidade do aço líquido. Como pode ser observado na figura 9, o resultado mostra uma deposição média de alumina ligeiramente maior na válvula de teste; entretanto, sem confiabilidade estatística (“p-value” > 0,05). Portanto, não se pode afirmar que existe diferença entre as duas configurações testadas.

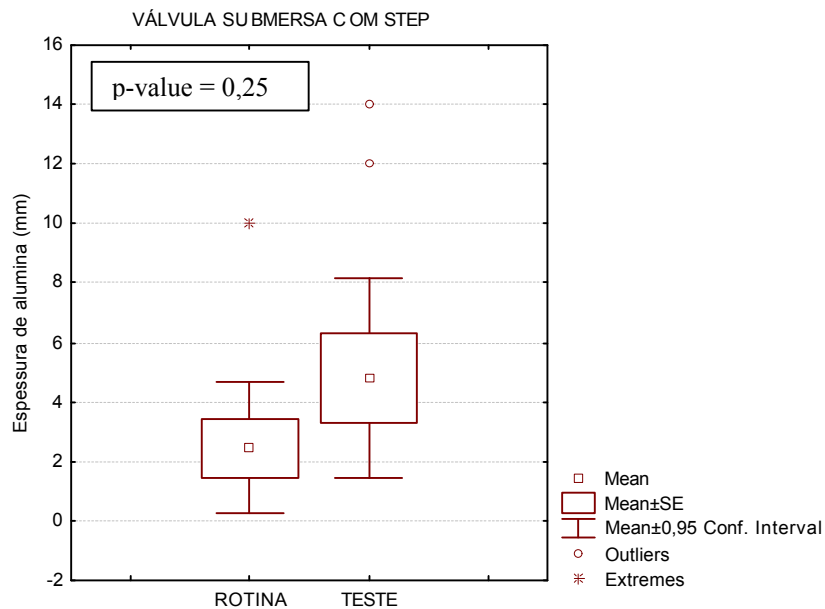


Figura 9: Resultado dos testes com a válvula submersa com duplo “step” na CST
TESTE DA VÁLVULA SUBMERSA COM CAMADA INTERNA DE “C-FREE”

A teoria balizadora da utilização do refratário isento de carbono apresentada anteriormente⁽²⁾ foi testada em 11 distribuidores, intercalando-se a válvula submersa padrão e a “carbon-free” entre os veios de lingotamento. Como pode ser observado na figura 10, não foi observada qualquer diferença significativa nos resultados de espessura de alumina depositada. Portanto, pode-se concluir que este mecanismo não é determinante para processo de obstrução por alumina na CST.

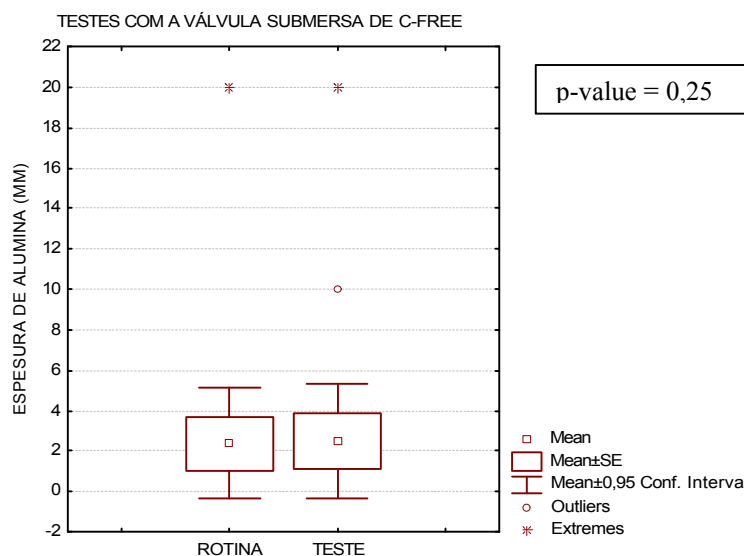


Figura 10: Resultados dos testes utilizando válvula submersa “C-free” na CST

VALVULA SUPERIOR DE DISTRIBUIDOR DE DOLOMITA

A utilização da dolomita como material “anti-clogging” ⁽⁴⁾ é suportada pela teoria da formação de aluminatos líquidos no contato da alumina com o refratário da válvula (figura 6).

Os testes industriais, lingotando aços ultra-baixo carbono, foram realizados em 8 distribuidores. A deposição de alumina foi analisada através de cortes na seção transversal do aço solidificado no interior da válvula superior do distribuidor.

Como resultado, foi apurado que somente uma das válvulas de teste apresentou indícios de deposição de alumina, contra 3 válvulas de rotina. Nos casos onde foram observadas as camadas de alumina, as espessuras eram relativamente finas (figura 11). Portanto, pode-se concluir que a dolomita aparentemente apresenta uma capacidade inibidora do “clogging” semelhante à ação do argônio. Este resultado pode ser atribuído ao teor elevado de cálcio deste material, que favorece a formação do aluminato líquido.

Cabe ressaltar, no entanto, que ocorreram obstruções significativas nas válvulas submersas somente no veio de teste. Estas foram acompanhadas de reduções significativas nas pressões de retorno do argônio injetado pelas placas superiores. Portanto, a utilização da dolomita na válvula superior do distribuidor não elimina a necessidade da injeção do argônio com pressão de retorno elevada e estável.

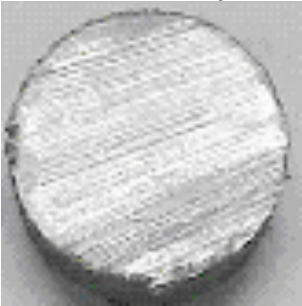





TESTE	VEIO DE TESTE	VEIO DE ROTINA
1	SEM DEPOSIÇÃO 	COM DEPOSIÇÃO 
4	COM DEPOSIÇÃO 	COM DEPOSIÇÃO 
5	SEM DEPOSIÇÃO 	COM DEPOSIÇÃO 

Figura 11: Deposição de alumina na válvula superior do distribuidor

CONCLUSÕES

Das ações “anti-clogging” testadas, a injeção do argônio com pressão de retorno elevada e estável durante todo o lingotamento foi a que apresentou resultados mais efetivos.

A estabilização da pressão de retorno do argônio propiciou a redução nas perdas de produtividade por “clogging”, gerando um aumento da capacidade de produção das máquinas de lingotamento de 29.040t/ano. Além disto, foi possível apurar uma redução do número de placas com eventos de qualidade relacionados à variação do nível do molde de 47%.

As válvulas submersas de “ZrCa” apresentaram resultados de deposição de alumina semelhantes aos de rotina. Estes podem ser atribuídos à quantidade insuficiente de cálcio do refratário para formar o aluminato líquido e evitar a sinterização entre as partículas.

As válvulas submersas com “step” apresentaram resultados de espessura de alumina também semelhantes aos de rotina, indicando que os distúrbios no escoamento do aço líquido, induzido pela sua geometria, não foram suficientes para perturbar a subcamada laminar responsável pelo “clogging”.

Os testes com a válvula submersa de “carbon-free” evidenciaram que o mecanismo baseado no gradiente de tensão interfacial na subcamada laminar não foi determinante para a formação do “clogging” na CST.

A dolomita utilizada na válvula superior do distribuidor apresentou um desempenho “anti-clogging” semelhante à injeção de argônio; entretanto estas válvulas requerem a injeção deste gás com pressão de retorno elevada e estável para reduzir a propensão de obstrução na válvula submersa.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1- Rastogi, R.; Cramb, A. W.; Inclusion Formation and Agglomeration in Aluminum Killed Steel; Proc. 84th Steelmaking Conf., ISS, pp.789-829 (2001).
- 2- Mukai, K.; Zezé, M.; Motion of Fine Particle Under Interfacial Tension Gradient in Relation to Continuous Casting Process; Steel Research, 74,N° 3, pp 131-138 (2003)
- 3- Tsukamoto, N.; Takai, M.; Nomura, O.; Ogata, M.; Lin, W.; Prevention of Alumina Clogging in Submerged Entry Nozzles; Shinagawa Technical Report; Vol44,pp.27-38(2001)
- 4- Moulden, G.T.; Sabol, R.; Development of Doloma Tundish Nozzles to Reduce Alumina Clogging; I&SM, June,pp.35-38 (2000)

CRITICAL EVALUATION OF CONTINUOUS CASTING ANTI-CLOGGING ACTIONS

HENRIQUE SILVA FURTADO ⁽¹⁾

MAURIZIO GALLO ⁽²⁾

MARCUS BARCELOS ⁽³⁾

MARCELO FIALHO ⁽⁴⁾

This work presents a critical evaluation of some continuous casting anti-clogging actions based on CST industrial tests.

The result showed that the more efficient way to avoid clogging is to inject argon keeping a high back pressure over all casting sequence.

All nozzles considered as anti-clogging were tested and no one was able to avoid alumina building-up. In fact, they produced the same results compared to the conventional nozzle.

Dolomite upper nozzle seems to have the same anti-clogging performance as argon injection. Nevertheless, it requires argon injection in order to avoid submerged entry nozzle clogging.

Key words: continuous casting, nozzle clogging

XXXV Steelmaking Seminar & Casting Seminar – 2004 – international, May 17th to 19th, 2004, Salvador, BA, Brazil

1- Metallurgical Engineer, MSc, ABM member, expert of steelmaking technical division of CST

2- Metallurgical Engineer, ABM member, technical assistant of MAGNESITA.

3- Metallurgical Engineer, ABM member, expert of steelmaking technical division of CST

4- Metallurgical Engineer, ABM member, Expert of steelmaking technical division of CST