

SOLUÇÃO INTEGRADA PARA OTIMIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO DE AÇO ⁽¹⁾

Francisco José Carrara Fava ⁽²⁾
Giovanni Angelo Tancredo ⁽³⁾
José Izidoro Coelho Ferreira ⁽⁴⁾
Wagner Mariano Sampaio ⁽⁵⁾

Resumo

Conceitualmente, o processo de lingotamento contínuo do aço prima pela otimização da produtividade com qualidade e segurança operacional. Propriedades metalúrgicas, condições de refino do aço, características dos equipamentos e performance dos insumos utilizados são fatores determinantes para a satisfação desses objetivos. Eventos como a deposição de alumina, produto da desoxidação ou reoxidação, têm efeitos nocivos à qualidade do aço e à continuidade do sequenciamento de corridas no lingotamento contínuo. Metodologias para minimização da deposição de alumina nos refratários têm sido estudadas e entre elas o controle físico mediante a injeção de argônio mostra-se eficiente ação de controle *anticlogging*. Refratários prensados isostaticamente, dotados de sistema de injeção de argônio, contribuem para redução da deposição de alumina sem o comprometimento da performance das peças. Com a minimização da deposição de alumina, a equalização da performance dos refratários torna-se necessária à otimização do sequenciamento de corridas. Válvulas submersas com injeção de argônio e região de contato com pó fluxante com teores de até 82 % zircônia permitem tempos de lingotamento significativos. Aliado a essas soluções, foi adequado um sistema de troca rápida de válvulas submersas, a partir de know-how *Krosaki Harima Co.*, que oferece condições para o cumprimento das funções pelos refratários, determinando assim, um conjunto de soluções integradas para o lingotamento contínuo de aços.

Palavras-chave: Lingotamento contínuo, alumina, injeção de argônio, troca rápida.

(1) Contribuição técnica ao XXXVI Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais, ABM, Vitória, Maio de 2.005.

(2) Engenheiro Mecânico, Assistente Técnico de Mecanismos – Magnesita S.A.

(3) Engenheiro Metalurgista, Assistente Técnico de Lingotamento Contínuo – Magnesita S.A.

(4) Engenheiro Mecânico, Analista de Engenharia – Magnesita Service S.A.

(5) Engenheiro Metalurgista, Gerente da Fábrica de Válvulas Longas e Submersas – Magnesita S.A.

1. INTRODUÇÃO

Antes da indústria siderúrgica adotar a prática de lingotamento contínuo do aço, o método utilizado consistia em transformar o metal líquido em semi-acabados sólidos, através de um processo intermitente, conhecido por lingotamento convencional.

No processo de lingotamento contínuo o aço líquido é convertido diretamente em produtos semi-acabados, apresentando assim inúmeras vantagens sobre o método anterior sob vários aspectos, tais quais, custo, rendimento metálico, uniformidade de produtos, simplificação no fluxo de produção, dentre outros.

O processo de lingotamento contínuo do aço prima pela otimização da produtividade com qualidade e segurança operacional. Propriedades metalúrgicas, condições de refino do aço, características dos equipamentos e performance dos insumos utilizados são fatores determinantes para a satisfação desses objetivos.

O sequenciamento de corridas em um mesmo distribuidor de aço permite que as pannels sejam lingotadas de forma ininterrupta, otimizando a produtividade do equipamento. Todo fator que promove a descontinuidade desse processo deve ser minimizado sem depreciação da qualidade e segurança operacional.

Entre os principais fatores limitantes pode-se citar a deposição de alumina nos canais refratários durante o processo de lingotamento. O alumínio contido no aço líquido é extremamente sensível à reoxidação, o que frequentemente resulta na formação de sólidos dendríticos, na forma de óxidos de alumínio, Al_2O_3 .

Nesse trabalho são apresentadas metodologias para minimização da deposição de alumina nos refratários e aumento do tempo de lingotamento, bem como os resultados obtidos em siderúrgicas brasileiras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Teorias sobre deposição de alumina

Clogging ou obstrução em lingotamento contínuo é a deposição de material nos canais de passagem de aço entre o distribuidor e o molde. Geralmente concentra-se na válvula superior do distribuidor e na válvula submersa.

Diversos mecanismos de formação de clogging têm sido estudados há vários anos e as soluções até hoje encontradas visam a redução do fenômeno sem no entanto eliminá-lo em definitivo.

A *teoria da camada limite* de SINGH de 1974 é citada por CRAMB (2002, p.C1-H-169) e por OGIBAYASHI (1995, p.3-13). Um fluido passando por um canal tende a ter a velocidade reduzida nas camadas próximas às paredes devido às forças de fricção. Um esquema das linhas de fluxo é mostrado na Figura 1.

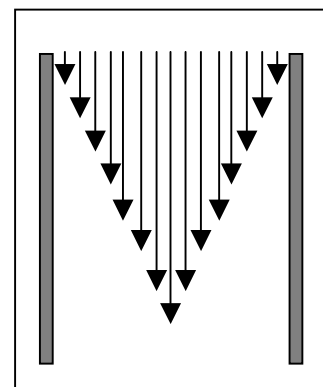


Figura 1. Linhas de fluxo em dutos.

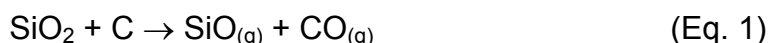
As inclusões que passam por essa camada limite não se movem devido à velocidade próxima de zero do líquido.

Nesse momento, as inclusões aderem ao refratário, ocorrendo sinterização em temperaturas da ordem de 1540°C.

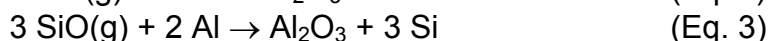
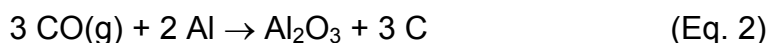
Segundo a *teoria da separação do fluxo*, o acúmulo de inclusões usualmente predomina em regiões preferenciais da válvula refratária, conforme citação da teoria de DAWSON de 1990 por CRAMB (2002, p.C1-H-169). Nos locais onde existe modificação da direção do fluxo de aço devido geometria, a turbulência e o fluxo reverso permitem a aproximação das inclusões à parede da válvula.

Na Figura 2, um esquema simula o acúmulo de material às paredes do duto numa região onde a modificação da direção do fluxo acontece.

Em casos de refratários em alumina-grafite, SASAJIMA et. al. (2000, p.164-167), CRAMB (2002, p.C1-H-169) e OGIBAYASHI (1995, p.3-13) comentam que a redução do refratário promove a formação de espécies gasosas, de acordo com a equação 1.



As espécies gasosas reagem com o alumínio do aço formando-se a alumina, conforme mostrado nas equações 2 e 3.



Todas essas teorias têm o mesmo objetivo de explicar o fenômeno de deposição de alumina durante o lingotamento contínuo. No entanto, a fabricação de aços limpos, está diretamente relacionada com as condições de processo desde a fusão e refino.

2.2 Métodos para otimização da performance do lingotamento contínuo

Além das condições de processo de fabricação do aço em equipamentos de refino primário e secundário, no lingotamento contínuo é possível minimizar a formação e deposição de alumina no distribuidor.

2.2.1 Válvula superior multi-poros

Em máquinas que utilizam tampão é comum a deposição de alumina na ponta do mesmo, prejudicando o controle de fluxo de aço. Nesse caso, é comum a prática de injeção de argônio pela válvula superior de distribuidor, tangenciando a ponta do tampão.

A técnica convencional dispõe apenas de injeção via material poroso que, normalmente, apresenta resistência inferior a produtos isostaticamente prensados. Como consequência, há uma limitação do número de painéis por seqüencial devido o desgaste na região de contato entre o tampão e a válvula superior do distribuidor. Uma nova tecnologia permite a mesma injeção de argônio, direcionada para a região da ponta do tampão, onde normalmente há acúmulo de alumina, sem a depreciação das características físicas do refratário. Isso significa que é possível a injeção de argônio pela válvula superior do distribuidor sem a queda de sua performance operacional.

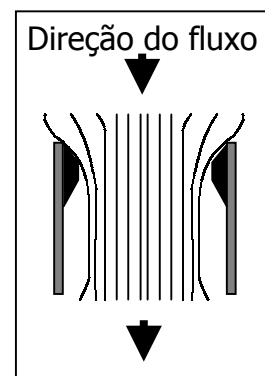


Figura 2. Fluxo com mudança de direção.

A Figura 3 apresenta o projeto refratário da válvula isostaticamente prensada.

O argônio é injetado através de tubo metálico, passando por slits, saindo pelos multi-poros localizados na parte superior da peça.

Válvulas convencionais que utilizam material poroso na região de injeção de argônio apresentam susceptibilidade de maior desgaste na região de contato com o tampão. Uma vez desgastada a região de controle de fluxo de aço, o lingotamento deve ser interrompido e a troca de distribuidor efetuada.

A válvula citada já é utilizada em usinas siderúrgicas brasileiras e tem se mostrado uma técnica adequada para a otimização das condições de lingotamento contínuo de aço. O seu uso têm proporcionado ainda uma maior segurança operacional no caso de lingotamento de aços onde o desgaste de refratários é fator limitante da performance do sequencial.

2.2.2 Válvula submersa *anticlogging*

Outra região susceptível à deposição de alumina é o canal interno das válvulas submersas. Nesse caso, baseado nas teorias apresentadas, alguns desenvolvimentos têm sido feitos em usinas siderúrgicas brasileiras.

Entre as técnicas utilizadas, duas apresentam solução química para minimização da deposição de alumina. Na região interna da válvula submersa pode ser aplicada, durante a fabricação do refratário, uma mistura *anticlogging*, que minimiza a formação ou deposição de alumina.

A Figura 4 mostra o projeto refratário da válvula submersa, cujo material interno apresenta-se como solução química para minimizar e eliminar a deposição de alumina.

Uma opção é o uso de material rico em Zircônia-CaO-Grafite (ZG-CaO-C), cujo CaO tem a função de formar, com a alumina presente no aço, um material de baixo ponto de fusão, evitando assim o acúmulo nas paredes do refratário (IKEMOTO, 1995, p.15-21), (YAMADA *et. al*, 1994, p.25-31)

Já a outra opção é um material que apresenta baixo teor de carbono (*Carbon less*). De acordo com a teoria das reações internas do refratário, citada nesse texto, há formação de alumina a partir do produto da reação entre sílica e grafite da válvula. Com a eliminação de um dos reagentes, no caso o carbono, a reação não se completa e a formação de alumina, bem como o seu acúmulo, são evitados.

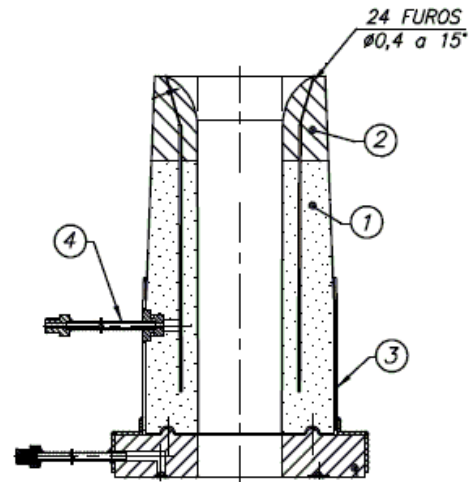


Figura 3. Projeto de válvula superior de distribuidor

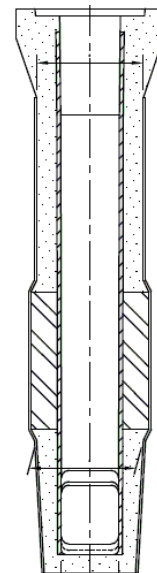


Figura 4. Projeto de válvula submersa com material *anticlogging*

2.2.3 Válvulas submersas com injeção de argônio

Uma eficiente metodologia *anticlogging* é a criação de uma barreira física mediante injeção de argônio pelo corpo da válvula submersa, impedindo a aproximação de aglomerados de alumina à parede da válvula.

Largamente empregada no Japão, nas usinas brasileiras tem demonstrado performance superior aos demais métodos de controle de deposição de alumina.

A injeção de argônio é feita por canais *slits* no interior da peça, passando por uma região permeável ao gás, prensado isostaticamente quando da confecção da válvula submersa.

A Figura 5 mostra um projeto refratário de válvula submersa com injeção de argônio. O gás inerte passa por um tubo metálico instalado na peça antes da utilização, chegando até o interior do refratário.

A configuração dos canais *slits* é estabelecida de acordo com a região de maior formação de alumina. O projeto é estabelecido após observação prática das ocorrências e controle de gases é feito por painéis adequados com controle de pressão, vazão e contra-pressão.

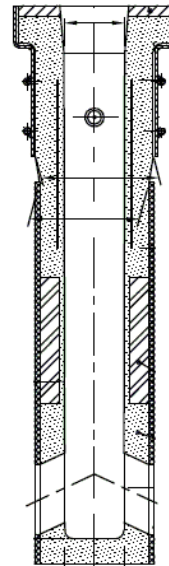


Figura 5. Projeto de válvula submersa com injeção de argônio

2.2.4 Região de escória com elevado teor de zircônia

Buscando aumentar o tempo de lingotamento, uma das alternativas é a elevação do teor de zircônia da região que sofre o ataque por pó fluxante na válvula submersa.

As dimensões de uma válvula submersa são definidas de acordo com as características da máquina, principalmente pelas dimensões do molde, que limitam o diâmetro externo da mesma. Sendo assim, a adequação do teor de zircônia se faz necessária para permitir o aumento da performance desejável nas válvulas submersas.

A vida útil do refratário da válvula submersa depende de alguns fatores:

- qualidade da mistura zircônia-grafita utilizada;
- espessura da região com zircônia-grafita;
- tipo de aço lingotado;
- características do pó fluxante;
- controle e variação de nível de aço no molde.

Quando se trata do projeto refratário da válvula submersa, a performance pode ser otimizada mediante a adequação da espessura da região com zircônia-grafita ou pelo enobrecimento do material aplicado.

Modificações dimensionais são limitadas pela espessura da placa lingotada, respeitando uma distância mínima entre a parede do molde e a válvula. Há variações da seção transversal da válvula que permitem otimização dessa espessura.

No entanto, é possível adequar as características da zircônia-grafita, tornando-a mais resistente ao desgaste. Basicamente, teores elevados de zircônia na mistura aumentam significativamente a resistência ao desgaste.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesse texto foram fruto de observação e análise da aplicação das soluções refratárias mencionadas anteriormente em usinas siderúrgicas brasileiras.

3.1 Válvula superior multi-poros

Durante o lingotamento de aço baixo carbono acalmado ao alumínio com a válvula convencional, observa-se a ocorrência de alumina na ponta do tampão e parte superior da válvula.

Com a utilização de válvula superior com injeção multi-poros, há uma redução significativa de qualquer acúmulo de alumina. A avaliação pode ser feita durante o lingotamento verificando-se a evolução da posição do tampão, monitorada pelo sistema de controle da máquina de lingotamento contínuo.

Na Figura 7, um croquis da região de ocorrência de alumina com utilização de válvula convencional e o efeito na posição do tampão durante o lingotamento.

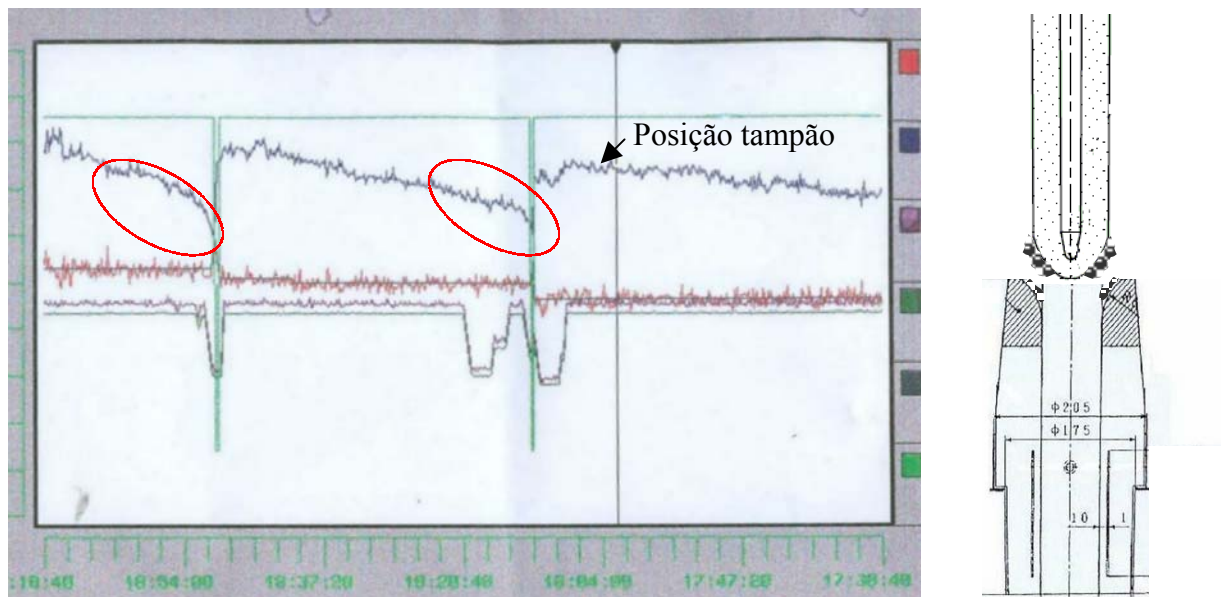


Figura 7. Ocorrência de deposição de alumina em aços acalmados ao alumínio.

Na Figura 8 é mostrada a configuração com válvula superior multi-poros, onde a redução de deposição de alumina é significativa e permite melhores condições de lingotamento.

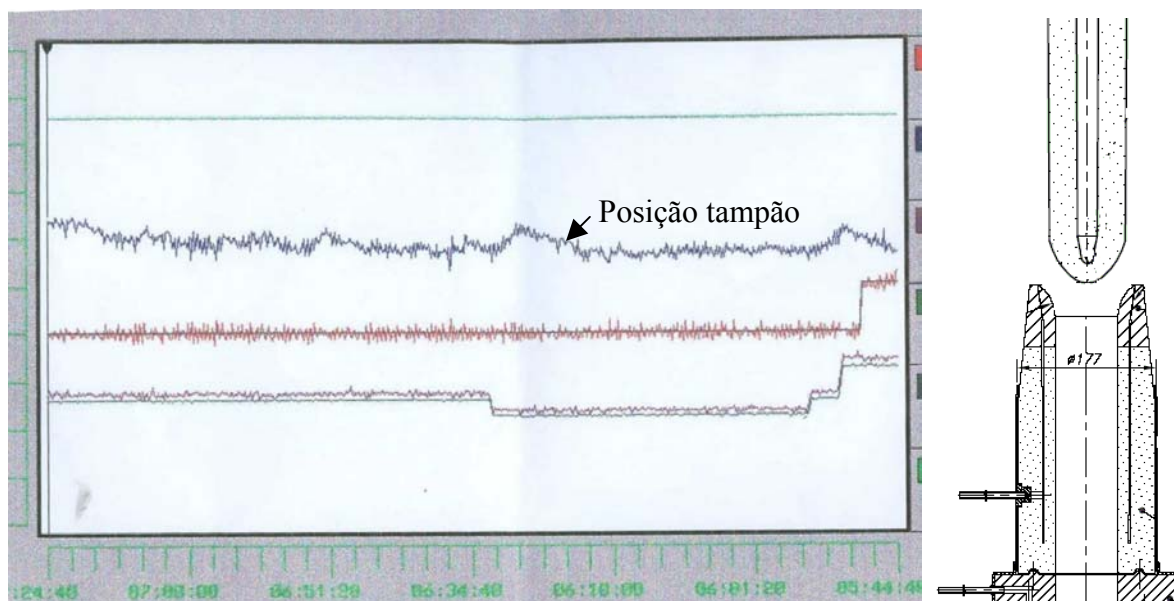


Figura 8. Lingotamento de aço baixo carbono acalmado ao alumínio.

3.2 Válvula submersa com material *anticlogging*

A tecnologia de materiais *anticlogging* têm sido empregada nas usinas brasileiras e os resultados são significativos na otimização das condições de processo e produção de aço.

As Figuras 9 e 10 mostram válvulas submersas utilizadas por cerca de 500 minutos durante o lingotamento de aços baixo-carbono acalmados ao alumínio, onde normalmente observa-se deposição de alumina após cerca de 350 minutos de uso. A ausência de acúmulo ou deposição de alumina no interior da peça independe do método utilizado.



Figura 9. Válvula submersa com *anticlogging* ZG-CaO-C 500 minutos lingotamento



Figura 10. Válvula submersa *anticlogging* Carbon less 500 minutos lingotamento

3.3 Válvula submersa com injeção de argônio

O efeito da injeção de argônio como contramedida para reduzir ocorrências de obstrução por alumina é ainda mais notável. A Figura 11 mostra uma comparação entre válvulas lingotadas nas mesmas condições de tempo, temperatura e tipos de aços, sendo uma com injeção de argônio e a outra, válvula comum.

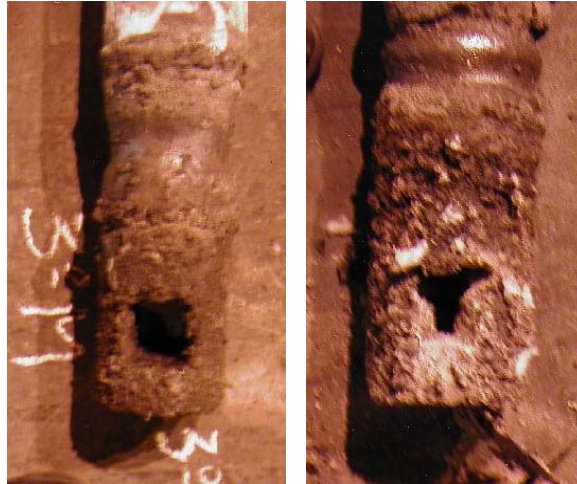


Figura 11. Válvula submersa com injeção de argônio (à esquerda) e válvula submersa comum (à direita)

3.4 Região de escória com elevado teor de zircônia

A disponibilidade de diferentes teores de zircônia na mistura refratária oferece os benefícios desejados, sejam eles associados à resistência a choque térmico ou resistência ao desgaste e erosão.

Na Figura 12 é mostrada a comparação entre performance de válvulas submersas com diferentes teores de zircônias, lingotadas nas mesmas condições: pó fluxante e aço baixo carbono acalmado ao alumínio.

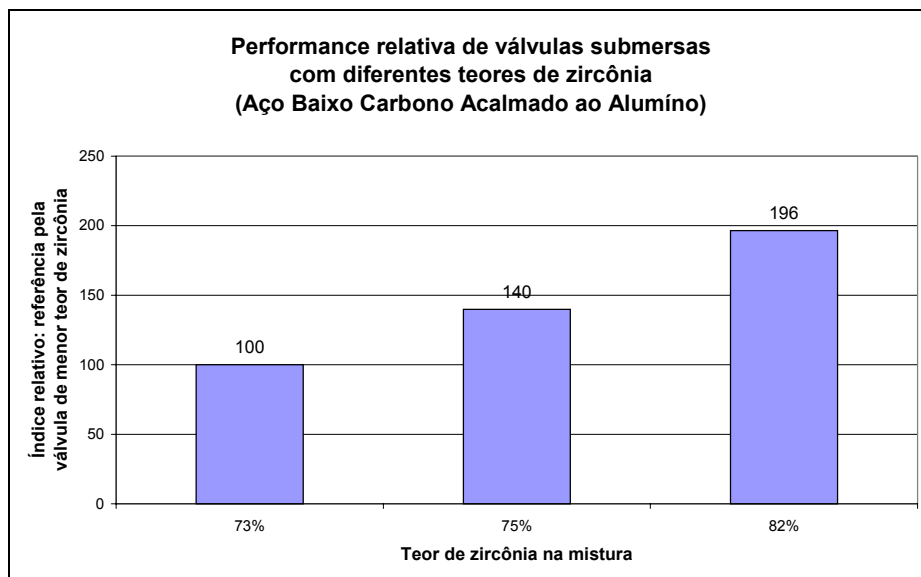


Figura 12. Performance de válvulas submersas com diferentes teores de zircônia.

Válvulas com maiores teores de zircônia apresentam resultados até 96% superiores a válvulas com menores teores de zircônia, que são utilizadas como válvulas de emergência, sem necessidade de pré-aquecimento.

4. CONCLUSÃO

A busca pela otimização das condições operacionais e de processo no lingotamento contínuo tem evoluído juntamente com os recursos mecânicos e refratários. O resultado tem se refletido no número de corridas lingotadas em cada seqüência, bem como na operacionalização de tarefas e eficiência no combate à deposição de alumina.

As tecnologias na fabricação de refratários isostaticamente prensados, no que diz respeito à válvulas superiores multi-poros, válvulas submersas *anticlogging* e injeção de argônio, têm contribuído para esse desenvolvimento.

A comprovação das teorias relacionadas à deposição de alumina tem sido possível pela inovação desses novos produtos. Várias siderúrgicas brasileiras já verificaram e aprovaram a performance dessas tecnologias.

Aliado a essas soluções, foi adequado um sistema de troca rápida de válvulas submersas, a partir de know-how *Krosaki Harima Co.*, que oferece condições para o cumprimento das funções pelos refratários, determinando assim, um conjunto de soluções integradas para o lingotamento contínuo de aços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRAMB, A. W. Oxides defects, slags and cleanliness control. In: CONTINUOUS CASTING OF STEEL BILLETS, BLOOMS AND SLABS, 2002, Vancouver. Brimacombe Continuous Casting Course...Vancouver: University of British Columbia, 2002. p.C1-H169.

OGIBAYASHI, S. Mechanism and countermeasure of alumina buildup on submerged nozzle in continuous casting. **Taikabutsu Overseas**, Tokyo, v.15, n.1, p.3-13, Mar.1995.

SASAJIMA, Y.; ANDO, M.; TAKAHASHI, S. Development of a carbon-and silica-free submerged entry nozzle. **Journal of the Technical Association of Refractories**, Tokyo, v.20, n.3, p.164-167, Sept. 2000.

IKEMOTO, T.; SAWANO K. Alumina build-up on ZCG submerged nozzle. **Taikabutsu Overseas**, Tokyo, v.15, n.1, p.15-21, Mar. 1995.

YAMADA, Y.; TSUTSUI, Y.; KANEMATSU, K. Evaluation method on alumina build-up to submerged nozzle. **Taikabutsu Overseas**, Tokyo, v.14, n.2, p.25-31, June 1994.

GLOBAL SOLUTION FOR CONTINUOUS CASTING OPTIMIZATION ⁽¹⁾

Francisco José Carrara Fava ⁽²⁾
Giovanni Angelo Tancredo ⁽³⁾
José Izidoro Coelho Ferreira ⁽⁴⁾
Wagner Mariano Sampaio ⁽⁵⁾

Abstract

The continuous casting process of steel has been constantly studied, in order to improve its productivity, to produce higher quality steels, with high operational safety. In doing that, factors like metallurgical properties, refining conditions, characteristics of the equipments, quality of the raw materials have vital importance. One of the most deleterious effects, which goes against the goals mentioned above, is the deposition of alumina on the refractories channels used in the continuous casting process. This alumina, generated due to the oxidation or reoxidation of aluminum present in the steel, decreases the steel quality and might interfere or even stop the continuous casting process. Some techniques have been studied in order to minimize the alumina deposition. Among them, one of the most effective ones is the argon injection through the refractory shrouds. The shrouds, which are isostatically pressed, present some microporous or channels, through which the argon is injected under pressure. This technique is employed without any negative impact to the life of the shrouds. In order to achieve a good sequence of heats in the continuous casting, it is very important that all the refractories parts present a similar life. Otherwise the process has to be interrupted. Thus, Submerged Entry Nozzles (SEN) demand special attention since they work under severe conditions. Complying with that, Submerged Entry Nozzles are usually produced with capability of argon injection, associated with the use of a material with a high corrosion resistance at the slag line. Usually the material of the slag line is a ZrO₂-Graphite material, with 82% zirconia content. The utilization of the techniques above, associated to the know-how from Krosaki Harima Co. for the quick change of the Submerged Entry Nozzles, represents a global solution for the refractories for the continuous casting process of steel.

Key-words: Continuous casting, alumina, argon injection, quick change.