

CONTROLE DO PROCESSO AOD-L PELO SISTEMA CARBOMETRIA

Décio Sartori Felix Filho ¹
 Antony William de Almeida ²
 Humberto Marin ³

Resumo

O conversor AOD é o principal equipamento utilizado na produção de aços inoxidáveis. O processo de produção do aço inoxidável no AOD ocorre através da injeção de uma mistura de oxigênio e gás inerte no banho metálico, com o objetivo de fazer a oxidação seletiva do carbono. Com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir o custo de fabricação, o “Sistema Carbometria” foi implantado no conversor AOD-L da ArcelorMittal Inox Brasil. Este sistema é composto de equipamentos, que fazem a análise dos gases gerados durante a elaboração do aço, e de um modelo matemático que executa cálculos de previsão do carbono. Após sua implantação, foi possível reduzir o tempo de processo e o consumo de insumos.

Palavras-chave: Conversor AOD; Aços inoxidáveis.

AOD-L PROCESS CONTROL BY CARBOMETRY SYSTEM

Abstract

The AOD converter is the main equipment for the production of stainless steels. The refining of stainless steels in AOD converters is performed by the injection of oxygen and inert gas mixture into the metallic bath, to selectively oxidize the carbon. Aiming to increase the productivity and decrease the production cost in stainless steel, the “Carbometry System” was developed and installed in the AOD-L converter. This system comprises some gas analyzers, that perform the analysis of the fumes generated during the process, and one model that calculates the bath carbon content. Using this system it is possible to decrease the process time and the material consumption.

Key words: AOD converter; Stainless steels.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de aços inoxidáveis nas últimas décadas fez com que fosse desenvolvida uma gama de diferentes processos de fabricação em conversores. Atualmente, o processo em conversores AOD ocupa a liderança absoluta na produção de aços inoxidáveis, pois permite obter alta produtividade, além de possibilitar uma produção com qualidade e custo competitivos.

O conversor (também chamado de convertedor) AOD, cuja sigla significa *Argon Oxigen Decarburization*, é um vaso de aço, na forma de barril, revestido com tijolo refratário em seu interior e com uma abertura na parte superior para receber o banho metálico e escoar a escória e o aço inoxidável. É caracterizado, principalmente, pelo sopro de uma mistura de oxigênio e gás inerte na lateral do vaso, através de ventaneiras, sendo que essa mistura penetra no banho metálico, promovendo rápidas reações e agitação no banho, que são os grandes diferenciais desse processo. Em

alguns conversores (AOD-L) também é instalada uma lança, com o objetivo de aumentar a taxa de injeção de oxigênio e com isso reduzir o tempo de processamento do aço inoxidável.

O objetivo do processo AOD-L é fazer a conversão de um banho metálico com alto teor de carbono em aço inoxidável, minimizando o custo de fabricação e maximizando a produtividade. Visando atingir estes objetivos foi desenvolvido no conversor da ArcelorMittal Inox Brasil o sistema de previsão do teor de carbono contido no aço, através da análise química dos gases gerados. Este sistema é conhecido como “Sistema Carbometria”.

O sistema Carbometria é composto por analisadores de gases que fazem a medição dos teores de CO, CO₂, H₂ e O₂ presentes no gás de exaustão e, um modelo matemático que calcula,

¹Engenheiro Metalúrgico, Engenheiro de Controle do Processo da Aciaria. Praça 1º de maio, 9, Centro, Cep 35180-018, Timóteo, MG, Brasil.
 E-mail: decio.sartori@arcelormittal.com.br

²Engenheiro Elétrico, Engenheiro de Automação da Aciaria. Praça 1º de maio, 9, Centro, Cep 35180-018, Timóteo, MG, Brasil.
 E-mail: antony.almeida@arcelormittal.com.br

³Engenheiro Metalúrgico, MCs. Gerente de Aciaria. Praça 1º de maio, 9, Centro, Cep 35180-018, Timóteo, MG, Brasil.
 E-mail: humberto.marin@arcelormittal.com.br

armazena e gerencia as variáveis do processo. Basicamente, o modelo calcula o teor de carbono contido no banho metálico, através da análise dos gases gerados, e interage com sistema de automação realizando o controle das fases do processo.

Com o conhecimento do teor de carbono contido no banho é possível eliminar fases intermediárias de amostragem e, conseqüentemente, reduzir o tempo de processamento dos aços no conversor. Além disso, é possível também evitar sopros excessivos de oxigênio, diminuindo a oxidação de elementos nobres tais como cromo e manganês, reduzindo o custo de fabricação dos aços.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Método de Produção do Aço Inoxidável na ArcelorMittal Inox Brasil

O processo de produção do aço inoxidável se inicia com a fusão de sucata e ferroligas, nos fornos elétricos a arco (FEA), e com a produção de ferro gusa nos altos-fornos. O ferro gusa dos altos-fornos é desfosforado em uma estação de tratamento (PTG) e misturado ao metal dos fornos elétricos a arco para então ser carregado no conversor AOD-L, onde vai ocorrer o processo de transformação da carga metálica líquida em aço inoxidável.

No conversor AOD-L, o aço pode ser produzido em duas diferentes rotas, denominadas de “duplex” e “triplex”. Na principal rota, “duplex”, o aço é descarburado pelo AOD-L e os ajustes finais de composição química e temperatura são realizados na metalurgia de panela. Já na rota “triplex”, o aço é parcialmente descarburado no AOD-L e a descarburuação final ocorre num desgaseificador a vácuo (VOD). A Figura 1 mostra as duas diferentes rotas de produção dos aços inoxidáveis na ArcelorMittal Inox Brasil.

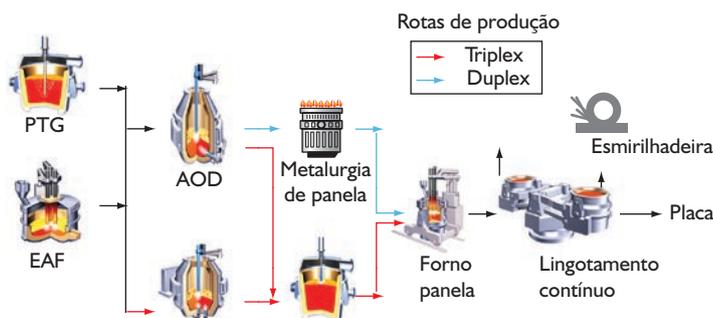


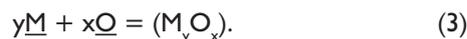
Figura 1. Fluxograma de produção na rota “duplex” e “triplex”.

2.2 Mecanismo de Descarburuação no Conversor AOD-L

Na produção do aço inoxidável em conversores AOD, as reações envolvidas na redução do carbono podem ser diretas ou indiretas.⁽¹⁾ Durante a descarburuação direta, o carbono reage com oxigênio gasoso (Equação 1) ou com oxigênio dissolvido no metal líquido (Equação 2):



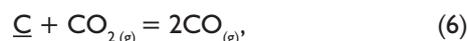
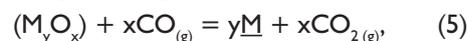
O oxigênio injetado pode reagir com o carbono e os metais dissolvidos no metal líquido (Equações 2 e 3):



Os metais oxidados formam Cr_2O_3 , FeO e MnO , principalmente próximo às regiões das ventaneiras, os quais ficam aderidos às bolhas de gás inerte, formando uma espécie de casca de óxidos que sobe no banho junto com as bolhas. Durante a subida, os óxidos reagem com o carbono dissolvido no banho, formando gás CO que vai para o interior das bolhas, enquanto os metais retornam ao banho metálico. Esse tipo de descarburuação é denominado de descarburuação indireta e pode ser escrita como:



A reação de descarburuação indireta (Equação 4) pode acontecer pela combinação das reações na interface escória-gás (Equação 5) com a interface metal-gás (Equação 6) ou como uma combinação da dissociação de óxido metálico na interface metal-escória (Equação 7) com a interface metal-gás (Equação 2):



Existem duas condições distintas de controle da reação de descarburuação. Com um teor de carbono relativamente alto, a taxa de descarburuação do aço inoxidável é alta, sendo independente da quantidade de carbono, mas dependente do fluxo de oxigênio. Com um teor de carbono relativamente baixo, a taxa de descarburuação é pequena e dependente da concentração do carbono no banho. O teor crítico de carbono, onde ocorre a transição da cinética da reação de ordem 0 para primeira-ordem em relação ao carbono, é dependente do sistema.⁽¹⁾ Essas observações levam à conclusão de que, para altos teores de carbono, a etapa controladora da descarburuação é o transporte do oxigênio gasoso, e com baixa concentração de carbono a etapa controladora é o transporte de carbono na fase metálica.⁽²⁾

2.3 Metodologia do “Sistema Carbometria”

O “Sistema Carbometria” é composto por equipamentos que fazem a captação, secagem, limpeza e análise dos teores de CO , CO_2 , H_2 e O_2 presentes nos gases gerados durante a elaboração do aço no conversor AOD-L, bem como de um modelo matemático que calcula, armazena e gerencia as variáveis do processo.

A captação é feita através de uma sonda, localizada dentro da tubulação do sistema de desempoeiramento. Os gases captados são secos, limpos e analisados por equipamentos localizados próximos ao local de captação, em uma cabine blindada, protegida de poeira e com temperatura controlada. A Figura 2 mostra, à esquerda, o painel do sistema de análise de gases e, à direita, as sondas que fazem a captação dos gases gerados.



Figura 2. a) Painel do sistema de análise de gases e b) sondas de captação do gás.

Os teores obtidos de CO, CO₂, H₂ e O₂ dos gases alimentam então um modelo matemático que executa os cálculos de previsão do teor de carbono do banho e o exibe em uma interface gráfica (IHM), conforme mostra a Figura 3. O modelo matemático também interage com o sistema de automação realizando, automaticamente, os ajustes do processo.

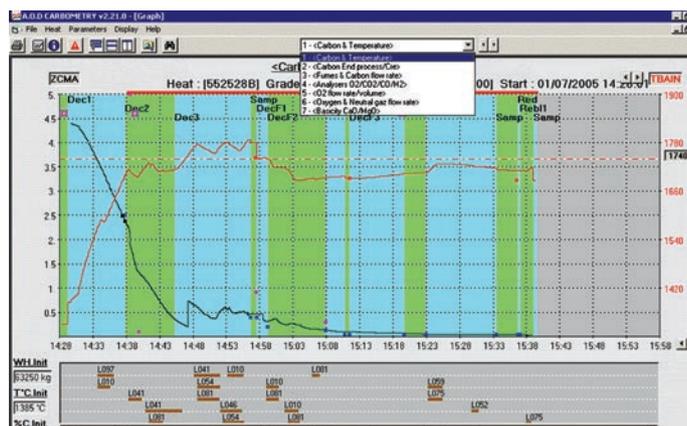


Figura 3. Tela da IHM do modelo Carbometria.

O processo de descarburização é dividido em fases que utilizam o sopro combinado, lança e ventaneiras, e fases que utilizam somente as ventaneiras. Inicia-se com altas vazões de oxigênio e baixas vazões de gás inerte e, à medida que o carbono é queimado, as vazões de oxigênio vão diminuindo e o gás inerte aumentando de forma a garantir a redução seletiva do carbono com menos oxidação dos metais.

O modelo matemático utiliza duas metodologias distintas para a previsão do teor de carbono contido no banho, conforme explicitado no item 2.2. Nas fases iniciais do processo, onde o carbono é superior a 0,40%, o modelo realiza um balanço de

massa do carbono, sendo que a etapa controladora da descarburização é o transporte do oxigênio gasoso. Nas fases finais do processo, onde o teor de carbono é inferior a 0,40% e a taxa de descarburização é pequena, o modelo considera uma fórmula linear para a previsão do teor de carbono.

A equação que expressa o teor de carbono do banho nas fases iniciais do processo é escrita como:

$$C_{\text{final}} = C_{\text{inicial}} + C_{\text{adições}} - C_{\text{gases}} \quad (8)$$

em que:

C_{final} = Quantidade de carbono no banho (em kg);

C_{inicial} = Quantidade de carbono no pré-metal carregado (em kg);

$C_{\text{adições}}$ = Quantidade de carbono proveniente das adições (em kg); e

C_{gases} = Quantidade de carbono presente nos gases gerados (em kg).

A equação (2.8) é utilizada no cálculo de previsão do teor de carbono até o banho atingir 0,40%. O banho metálico carregado possui um alto teor de carbono de aproximadamente 4% e, quando o teor de carbono do banho atinge o valor de 0,4%, o sopro de oxigênio pela lança de topo é interrompido e o processo de remoção do carbono é realizado somente com o sopro de oxigênio pelas ventaneiras.

As fases que utilizam somente o sopro pelas ventaneiras são denominadas de “Fases finais de descarburização”. Nessas fases o modelo matemático utiliza fórmulas lineares para calcular o teor de carbono do banho, conforme mostra a equação (2.9):

$$\%C_{\text{aço}} = A * \frac{\partial C}{\partial T} + B, \quad (9)$$

em que:

$\%C_{\text{aço}}$ = Teor de carbono no banho (em %);

$\frac{\partial C}{\partial T}$ = Taxa de descarburização (kg/min); e

A, B = Constantes da equação.

As constantes A e B da Equação 9 foram determinadas realizando amostras de aço e, coletando os valores da taxa de descarburização no momento da amostragem, para diversas corridas. Aplicando a regressão linear nos dados coletados, foi possível determinar os valores de A e B da equação. Conforme mostra a Figura 4, os valores A e B da Equação 9 são 0,0097 e 0,0124, respectivamente.

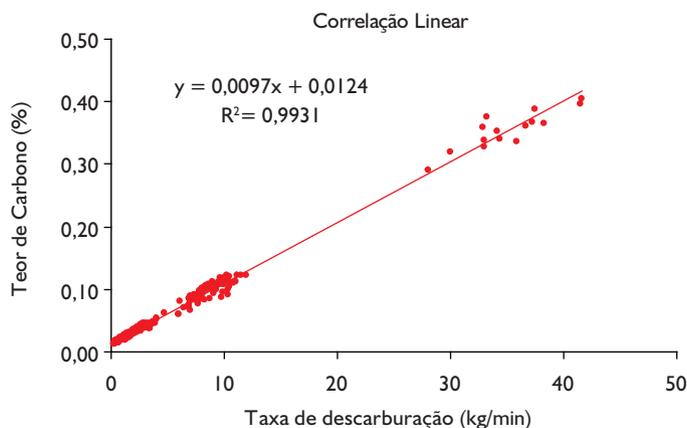


Figura 4. Correlação linear entre o teor de carbono do banho e a taxa de descarburização.

Porém, é possível determinar outras equações lineares (constantes A e B) que podem ser utilizadas para melhorar o acerto do modelo, principalmente quando a taxa de descarburização é baixa (menor que 10 kg/min). Portanto, à medida que os equipamentos do “Sistema Carbometria” determinam a análise química dos gases gerados, o modelo calcula a taxa de descarburização e o teor de carbono do banho, de acordo com os valores A e B especificados.

Uma função importante do modelo é o gerenciamento das mudanças de fases do processo, pois possibilita reduzir o grau de oxidação dos metais nobres e, conseqüentemente, reduzir o consumo de ferro-silício gasto na desoxidação do banho. Para se ter uma menor oxidação durante o sopro de oxigênio, o processo é dividido em fases, sendo que cada uma possui vazões de oxigênio e gás inerte distintas. Para minimizar a oxidação do cromo é importante que ocorram as mudanças de fase nos momentos adequados, ou seja, antes que o carbono do banho atinja o carbono crítico de cada fase. O modelo carbometria gerencia automaticamente estas mudanças de fases, através do cálculo do teor de carbono contido no aço, ou seja, quando o teor de carbono calculado pelo modelo atinge o carbono objetivado da fase, especificado para cada tipo de aço e vazão utilizada, o modelo muda, automaticamente, a fase do processo.

Outro ponto que contribui para minimizar a oxidação do cromo é a adição de ferro-ligas com alto teor de carbono, tais como ferro-cromo e ferro-manganês, nos momentos adequados, ou seja, essas ligas devem ser adicionadas ao longo das fases de descarburização de modo a manter a taxa de descarburização o mais constante possível. Uma diminuição acentuada da taxa de descarburização é um indicativo que o carbono do banho está próximo ao carbono crítico da fase e, portanto, o atraso das adições podem superoxidar o banho e, conseqüentemente, aumentar o consumo do agente desoxidante. Para que isso não ocorra o modelo constrói na “IHM Carbometria” a curva da taxa de descarburização, que orienta o operador quanto ao momento correto de realizar essa tarefa, ou seja, quando a curva da taxa de descarburização começa a diminuir bruscamente, ferro-ligas contendo carbono são adicionadas.

3 RESULTADOS

O Sistema Carbometria foi implantado em 2005 e, desde então, todas as corridas produzidas no conversor AOD-L são controladas por este sistema.

Destaca-se após a implantação do sistema Carbometria uma evolução do índice de produtividade do processo no AOD-L, passando de 61,3 t/h em 2005 para 65,1 t/h em 2007 devido, principalmente, à redução do tempo de processamento dos aços.

Anteriormente ao sistema Carbometria, eram realizadas no mínimo duas amostras de aço durante o processo de descarburização no conversor AOD-L, a fim de medir o teor de carbono contido no banho. Com a implantação do sistema foi possível eliminar uma destas amostras, reduzindo o tempo de processo no conversor. A Figura 5 mostra a redução do tempo de processo para os aços inoxidáveis baixo carbono (AISI 304).⁽³⁾

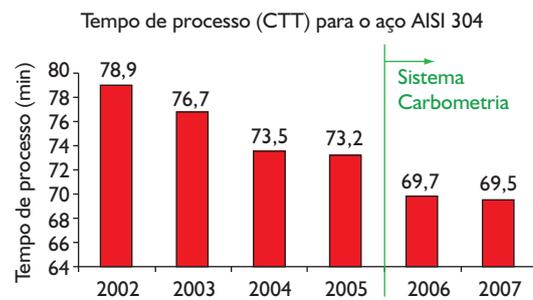


Figura 5. Tempo de processo nos aços inoxidáveis AISI 304.

Outro ponto importante é a redução do número de corridas reprocessadas no conversor, por causa do teor de carbono estar fora da faixa especificada do aço. Isto foi possível devido à maior precisão do “Sistema Carbometria” em prever o teor de carbono do aço, principalmente, nas fases finais de processo. A Figura 6 mostra a evolução do índice de reprocesso no conversor AOD-L.

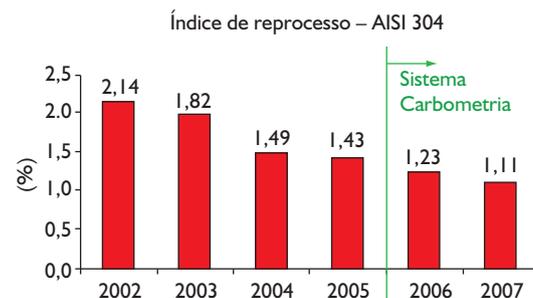


Figura 6. Índice de reprocesso no AOD-L.

Outro benefício advindo foi a redução do custo de fabricação dos aços, decorrente da redução de consumo de ferro silício que apresentou, em 2007, o melhor resultado desde o início da operação do conversor em 2002, conforme mostra a Figura 7.

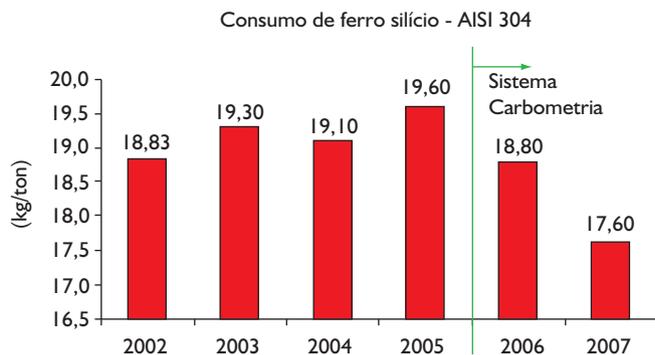


Figura 7. Consumo de Ferro silício gasto na redução dos aços AISI 304.

4 CONCLUSÃO

A implantação do “Sistema Carbometria” aprimorou as condições de controle operacional no conversor AOD-L, aumentando a flexibilidade do fluxo produtivo e proporcionando melhor desempenho global da Aciaria.

Obteve-se aumento consistente da produtividade do conversor AOD-L, passando de 61,3 t/h, em 2005 para 65,1 ton/h, bem como uma redução significativa no custo de fabricação dos aços inoxidáveis, através da redução do número de corridas reprocessadas e, redução significativa do consumo de ferro silício gasto na recuperação do cromo oxidado.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos aos idealizadores José Cordeiro Neves e Antônio Francisco Martins Barreto, aos colaboradores Jean Baptiste Marquet, Philippe Troboe e Jean Cloude Roux, representantes da equipe da Arcelor System, Jean Cloude Grisvard, representante da Arcelor Research, e à equipe operacional do conversor AOD-L, pelas contribuições em prol deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 VERCRUYSSSEN, C.; WOLLANTS P; ROOS, J. R.; ROBERTSON, D. G. C.; BERTELS, L. Mathematical modeling of refining of stainless steel in MPA converter. *Ironmaking and Steelmaking*, v. 21, n. 4, p. 287-96, 1994.
- 2 FRUEHAN, R.J. Nitrogenation and decarburization of stainless steel. *Metallurgical Transactions B*, v. 6, n. 4, p. 573-8, Dec. 1975.
- 3 ASTM INTERNATIONAL. *A240 UNS30400*: Standard specification for chromium and chromium-nickel stainless steel plate, sheet, and strip for pressure vessels and for general applications. West Conshohocken, PA, 2009.

Recebido em: 15/04/2009

Aceito em: 26/10/2009