

DESGASEIFICAÇÃO EM VÁCUO NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA COM REFERÊNCIA AO PROCESSO R-H

Varadarajan Seshadri  
Departamento Metalurgia  
Universidade Federal de Minas Gerais  
30000 - Belo Horizonte - MG

Neste trabalho são discutidos brevemente os princípios básicos da desgaseificação em vácuo, tais como desidrogenação e descarburização. Também, são expostos alguns processos existentes, dando-se ênfase especificamente ao processo R-H e aos aspectos importantes do processo.

Desgaseificação no vácuo. Processo RH.

OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DA DESGASEIFICAÇÃO A VÁCUO

No final da operação de refino, o aço invariavelmente contém gases dissolvidos, tais como, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio os quais contribuem negativamente para suas propriedades. Enquanto o oxigênio é mais facilmente controlado pela adição de desoxidantes como, Si, Al, etc., o controle de nitrogênio e hidrogênio é mais complicado. Antes da aplicação industrial da desgaseificação a vácuo, o nível de hidrogênio em grandes lingotes para forjaria e chapas grossas tinha que ser abaixado por resfriamento controlado. Para isto as peças precisavam permanecer em fornos apropriados durante grande período de tempo em temperatura de 1200 - 1400°C.

A eliminação de hidrogênio do aço no estado líquido através de tratamento sob vácuo é muito mais rápida, assim sendo, a produtividade é aumentada e o custo é diminuído. Esta foi a principal causa do desenvolvimento rápido de vários processos de desgaseificação a vácuo a partir da metade dos anos cinquenta quando tornou-se possível a utilização de vácuo em escala industrial. Juntamente com hidrogênio, o nitrogênio é também parcialmente removido durante desgaseificação, melhorando a ductilidade e conformabilização do aço.

Compreendeu-se também que a medida que a pressão parcial de CO era reduzida, o banho líquido podia ser também desoxidado em presença de carbono durante o tratamento sob vácuo (figura 1). Ao contrário da de

soxidação convencional com Mn, Si ou Al, os quais favorecem a formação de inclusões líquidas ou sólidas, a desgaseificação a vácuo resulta num aço mais limpo.

Recentemente, a demanda de aços com baixos teores de carbono (<0,04) para melhorar a ductilidade e propriedades elétricas tem aumentado. A produção desses aços baixo carbono no LD é difícil e ineficiente uma vez que ela resulta em excessiva oxidação do banho, aumentando o teor de FeO da escória o que causa sérios problemas como maior desgaste do revestimento do refratário, queda de rendimento e produtividade, baixo rendimento de ferro-ligas, etc. Isto tem conduzido a um uso mais intensivo de fornos a vácuo para descarburização onde o baixo teor de carbono pode ser facilmente obtido (figura 1). Obviamente, teores de carbono no extra-baixos só podem ser conseguidos através de descarburização a vácuo.

Atualmente a tendência é parar o sopro nos LD nível de carbono mais alto (cerca de 0,08%) é completar a descarburização/desoxidação no vaso a vácuo. Este tratamento realizado na desgaseificação a vácuo é conhecido como "tratamento ligeiro".

Na maior parte dos processos de desgaseificação existe uma vigorosa agitação do metal a qual resulta em homogeneização de composição e temperatura. Adição de ligas pode ser feita sob vácuo dando alto rendimento mesmo para o caso de fortes desoxidantes. Esta condição leva a um estreito controle de composição mesmo para elementos como o Alumínio.

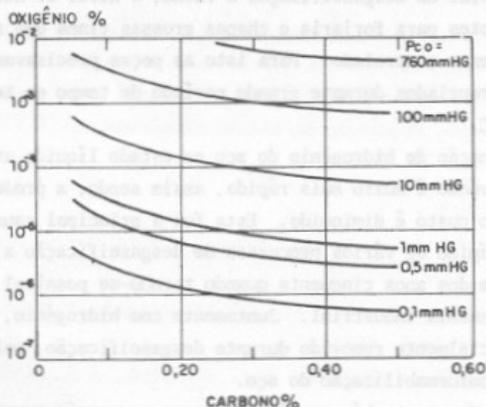


Figura 1 - Relacionamento entre carbono em equilíbrio com oxigênio. No aço líquido a 2900°F.

Usando os dados de Elliot<sup>1</sup> et al (1) de pressões parciais de diferentes gases  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $S_2$ ,  $O_2$  e  $CO$  em equilíbrio com suas respectivas concentrações no aço a  $1600^\circ C$  foram calculadas e estão mostradas na figura 2. Deste gráfico pode-se tirar as seguintes conclusões:

1 - Na pressão total de hidrogênio de 1 torr, sua concentração de equilíbrio é 1 ppm. Portanto a concentração de hidrogênio no aço pode ser reduzida no máximo até este limite; se a pressão de trabalho é 1 torr.

2 - A concentração de nitrogênio do aço pode ser baixada no máximo até 17 ppm, se a pressão de trabalho é 1 torr.

3 - É impossível remover oxigênio e enxofre na forma gasosa pois suas pressões de vapor são bem menores que a do ferro.

4 - Se existe carbono no banho, o oxigênio pode ser removido na forma de  $CO$ . Teoricamente para 0,1% C o oxigênio pode ser reduzido a teores inferiores a 1 ppm. Da mesma maneira o carbono pode ser removido do banho em presença de oxigênio.

5 - O manganês pode sofrer evaporação durante o tratamento a vácuo se estiver presente no aço em teores acima de 0,5%.

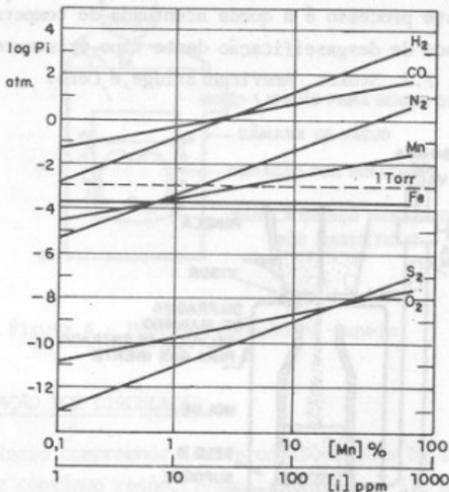


Figura 2 - Pressões parciais de diferentes gases em equilíbrio com suas respectivas concentrações no aço a  $1600^\circ C$ .

### PROCESSOS DE DESGASEIFICAÇÃO A VÁCUO

Os processos de desgaseificação são classificações em três grupos:

- desgaseificação no jato;
- desgaseificação na panela;
- desgaseificação por circulação.

#### DESGASEIFICAÇÃO NO JATO

O processo de desgaseificação no jato foi o primeiro a ser introduzido em escala industrial pela Bachumer Verein em 1954. Este tratamento pode ser aplicado no vazamento:

- forno-panela
- panela-panela
- panela-lingoteira.

Durante o vazamento, o aço é exposto a uma grande superfície de contato (figura 3) e desta forma consegue-se uma excelente desgaseificação do metal. Talvez seja este o processo mais indicado para produzir grandes lingotes destinados a forjaria e grandes peças de fundição. A grande desvantagem deste processo é a queda acentuada de temperatura. Os principais processos de desgaseificação deste tipo existentes são: BV (Bochumer Verein), F.J. Stokes, American Bridge e Cero.

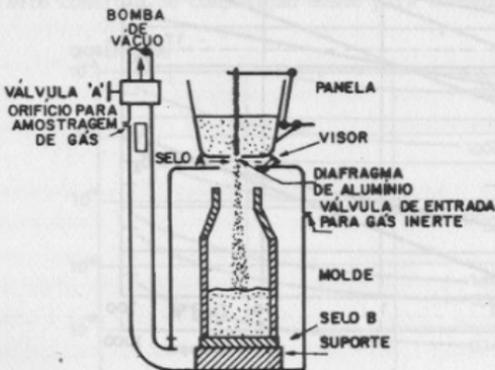


Figura 3 - Processo de desgaseificação no jato.

### DESGASEIFICAÇÃO NA PANELA

Os processos de desgaseificação na panela consistem em submeter o aço nela contido ao vácuo, através de uma câmara (figura 2). Entretanto, além do vácuo é necessário uma agitação vigorosa do banho, para melhorar a eficiência de desgaseificação e dispersão dos ferro-ligas adicionais. Os tipos de processos de desgaseificação na panela são os seguintes:

- com injeção de gás inerte;
- arco elétrico e agitação por indução (ASEA-SKF);
- arco elétrico e injeção de gás inerte (Finkl-Mohr ou VAD).

Os dois últimos apresentam a vantagem adicional de compensar a queda de temperatura, comuns nestes processos, não necessitando de altas temperaturas de fim de sopro.

Mais detalhes destes processos encontram-se na referência (2).



Figura 4 - Desgaseificação na panela.

### DESGASEIFICAÇÃO POR CIRCULAÇÃO

Esta classe compreende dois processos, DH e RH também conhecidos como cíclico e contínuo respectivamente, (figuras 5 e 6).

O processo DH (figura 5) foi desenvolvido na usina de Dortmund-Höfder Huttenunion. Neste processo o aço flui para a câmara de vácuo devido à diferença de pressão entre esta e a panela. A circulação do aço é promovida pela movimentação da câmara de vácuo. Devido ao vácuo o

aço quase atinge uma altura barométrica de 1,4 m e quando a câmara é afastada através de seu movimento vertical a coluna de aço escoo para a panela. A extremidade inferior da perna deve ficar a alguns centímetros abaixo da camada de escória. .

A desgaseificação processa-se intermitentemente e assim sendo após alguns ciclos todo o metal está desgaseificado. As adições de ferro-ligas são feitas sob vácuo no DH, com bom rendimento, conseguindo-se assim faixas estreitas de composição química.

O processo RH (figura 6) foi desenvolvido na usina alemã de Ruhrstahl em Hattingen. Neste processo existem duas pernas acopladas à câmara de vácuo, um para entrada e outro para saída de aço, os quais são respectivamente chamados perna de subida e perna de descida. Durante o tratamento estas pernas devem ser imersas no aço contido na panela. Devido à diferença de pressão vaso/panela, o aço atinge a altura barométrica de 1,40 m. Existem além do vácuo uma contínua injeção de argônio, o qual sofre um grande aumento de volume devido às diferenças de pressão e temperatura, fornecendo através do empuxo a força motriz para recirculação do aço líquido. Tem-se então uma mistura gás-líquido que entra na câmara de vácuo a uma velocidade relativamente alta e provoca a formação de uma grande quantidade de gotículas de aço. A remoção de gases ocorre nas bolhas de argônio e nestas gotículas na câmara de vácuo. A eficiência de processo RH está diretamente ligado com a taxa de recir

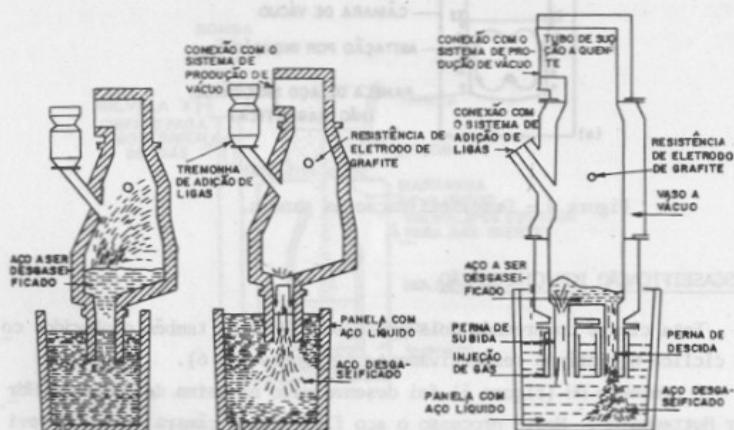


Figura 5 - Processo DH

Figura 6 - Processo RH

culação a qual depende principalmente da vazão de argônio e da área da secção transversal das pernas. A introdução de elementos de liga é feita por um sistema de câmara de vácuo selada (figura 6). Segundo Hirata (3), pode-se introduzir um peso de no máximo 2% do aço contido na câmara por minuto.

São realizadas 3 a 5 amostras durante o tratamento com a finalidade de controlar a composição química do aço. São realizadas também medições de temperatura na panela com objetivo de obter temperaturas de fim de tratamento dentro de faixas estreitas, melhorando assim, a qualidade do lingote.

#### REMOÇÃO DE HIDROGÊNIO NO RH

O hidrogênio sofre uma redução considerável durante o tratamento do aço no RH. Alguns valores da taxa de desidrogenação são referenciados na literatura (4,5,6). A figura 7, mostra os valores de taxa de redução de hidrogênio encontrados na unidade de 100 toneladas da usina de Bilston (5), indicando uma redução de 50% para um teor de 4,6 ppm antes do tratamento. A figura 8 mostra a taxa de desidrogenação conseguida, num RH de 50 toneladas do Durgapur (India) para diferentes teores iniciais de hidrogênio dissolvido no aço (6). Pode-se ver que a redução de hidrogênio pode chegar até 80% para um teor inicial de hidrogênio de 7 ppm.

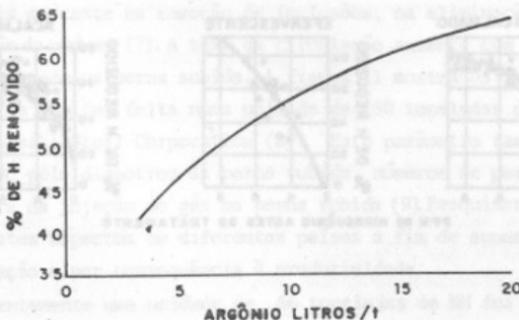


Figura 7 - Remoção de hidrogênio em função da vazão de argônio na usina de Bilston.

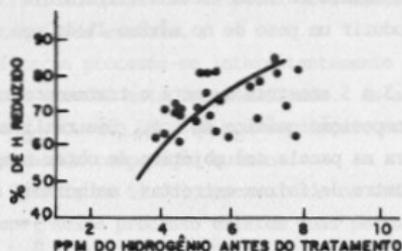


Figura 8 - Remoção de hidrogênio no RH da usina de durgapur de 50 toneladas.

O oxigênio tem grande influência na desidrogenação devido à formação de grande quantidade de bolhas de CO. Hirase, M.(4), relacionou a velocidade de remoção de hidrogênio com a de oxigênio para diferentes teores iniciais de oxigênio. A figura 9 mostra os valores da taxa de remoção do hidrogênio encontrados por Watanabe, W.(2), numa unidade de 100 toneladas da usina de Hirohata, para diferentes níveis de oxidação do banho. Pode-se ver que a taxa de remoção de hidrogênio no aço semi-acalmado foi maior que a do aço acalmado,

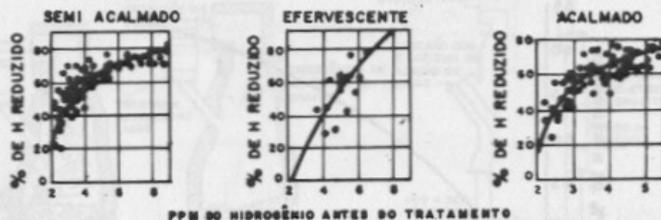


Figura 9 - Taxa de desidrogenação em aços com diferentes graus de desoxidação.

### REMOÇÃO DE NITROGÊNIO NO RH

No tratamento do aço no RH, retira-se nitrogênio somente em certas condições. Assim para teores da ordem de 150 ppm observa-se um modesto decréscimo para 120 ppm, e em teores de 50 ppm quase nenhum decréscimo é observado durante o tratamento do aço. Isto pode ser constatado na figura 10 onde é mostrado a variação do teor de nitrogênio, durante um tratamento de 26 minutos na unidade de Hirohata de 100 toneladas (2).



Figura 10 - Taxa de desnitração em função do grau de desoxidação.

### TAXA DE RECIRCULAÇÃO

No processo RH em virtude de sua continuidade surge um parâmetro chamado taxa de recirculação. Esta taxa define a quantidade de aço em toneladas que passa na câmara de vácuo por minuto. Este parâmetro tem influência marcante na remoção de inclusões, na eliminação de gases e na remoção de carbono (7). A taxa da circulação aumenta com a vazão de argônio, injetado na perna subida. A figura 11 mostra os resultados da experiência que foi feita numa unidade de 150 toneladas da usina de Chi ba da Kawasaki Steel Corporation (8). Este parâmetro também está influenciado pelo diâmetros da perna subida, números de pernas-subidas e da maneira da injeção do gás na perna subida (9). Pesquisas estão em andamento nestes aspectos em diferentes países a fim de aumentar a taxa de recirculação e por consequência a produtividade.

Recentemente uma unidade de 86 toneladas de RH foi instalada na Usiminas-Brasil. A fim de melhorar eficiência do processo, pesquisas estão sendo desenvolvidas para estimar a taxa de circulação e os parâmetros que exercem influência sobre ela, utilizando um modelamento frio em escala de laboratório.

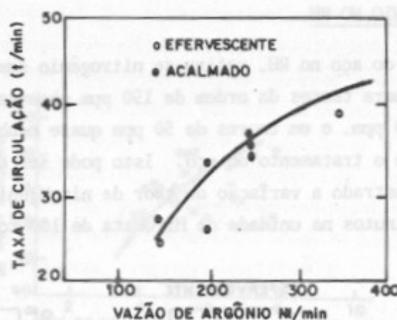


Figura 11 - Relação entre taxa de circulação e vazão de gás.

#### BIBLIOGRAFIA

1. J. Elliot Thermochemistry of Steelmaking. Addison Wesley Publishing Company, London (1963)
2. O. Winkler e R. Bakish Vacuum Metallurgy. Elsevier Publishing Company (1971) p. 390-463.
3. R. Hirata Journal of Metals (1966) p. 617-622.
4. M. Hirase Vacuum Degassing of Steel. ISI (1965) p. 154-184.
5. G. Foster Journal of Metals. (1966) p. 628-633.
6. M.K. Dutta e M.S. Saha Tisco Journal. (1971) p. 149-156.
7. H. Asanok Watanabe e T. Saeki Trans. ISIJ. V. 9. (1968) p. 487-501.
8. K.J. Szekeley Nakanishi and C.W. Chang. Iron and Steel Making (Quarterly) (1975) No. 2. p. 115.
9. V. Etal Oguchi. Proceedings of McMaster Symposium on Ladle Treatment of Steel. (1979) 9-1 to 9-18.