

O OXIGÊNIO NOS AÇOS E DESOXIDAÇÃO

Metalurgista Industrial

dezembro 2019

www.metalurgistaindustrial.com.br

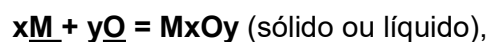
A solubilidade do oxigênio no ferro em seu estado puro a 1.600°C é por volta de 2.300ppm (0,23% em peso). Essa solubilidade não é normalmente atingida nos processos de produção dos aços, o teor em oxigênio limitado pela presença de outros elementos dissolvidos no aço líquido. Quando o aço líquido é processado pelo refino de ferro-gusa em convertedores ou pela fusão de carga sólida ferrosa em fornos elétricos, algum oxigênio é dissolvido no aço líquido.

Quanto menor o teor de carbono após a descarburização, maior é a quantidade de oxigênio dissolvido, tipicamente na faixa de 200 a 1.000ppm (0,02 a 0,10% em peso). Essa é uma quantidade apreciável de oxigênio que permanecendo presente interferirá nos tratamentos subsequentes dos aços. Por exemplo, durante a solidificação o oxigênio e o carbono em solução reagem para a formação de monóxido de carbono, resultando na formação de porosidades (*blowholes*). Outro efeito deletério do oxigênio é que no resfriamento este elemento sai da solução sob a forma de óxidos que consistirão em inclusões não metálicas que impactam as condições de funcionalidade a quente e a frio dos aços e em suas propriedades mecânicas. Portanto, no vazamento das corridas o teor em oxigênio contido no aço líquido sobreoxidado deve ser reduzido ao nível desejado para a produção de aço efervescente (*rimming steel*), semiacalmado (*semikilled steel*) ou acalmado (aço quase que completamente desoxidado ou *killed*). Com a disseminação do processo de lingotamento contínuo, os aços são majoritariamente produzidos sob a forma de acalmados, os efervescentes e semiacalmados restritos a mercados secundários.

O carbono dissolvido exerce o relevante papel de manter o teor de oxigênio em um nível razoável durante o refino dos aços. A presença desse elemento em solução, ainda que em pequenas quantidades ao término do refino, previne a excessiva oxidação do banho líquido. Esse papel também é exercido por outros elementos como o manganês e o silício. É prática usual a adição destes elementos sob a forma de Fe-Si-Mn durante o processamento das corridas de aço em fornos elétricos em uma operação denominada “bloqueio” que previne a oxidação do carbono. Em usinas integradas é encontrada a prática de carregamento de minério de manganês nos altos-fornos com o propósito de controlar o teor deste elemento no ferro-gusa destinado a processamento em convertedores a oxigênio. O manganês assim incorporado, já se faz presente durante o processamento e vazamento do aço, permitindo a redução do consumo de ferromanganês.

Sob as condições de processamento, a presença de carbono não é suficiente para promover a desoxidação a níveis suficientemente baixos, de modo que outros elementos desoxidantes tendo grande afinidade pelo oxigênio são adicionados, usualmente Mn, Si e Al de alta pureza (98%), mais raramente Cr, V, Ti, Zr e B. Um desoxidante deve possuir alta afinidade por oxigênio e ser solúvel no aço em condições de supersaturação de modo a que se obtenha um baixo teor em oxigênio em equilíbrio.

A reação de desoxidação pode ser representada de forma genérica por:



onde **M** é o elemento desoxidante dissolvido no ferro. Na maior parte dos casos, o produto da desoxidação é um óxido sólido puro como SiO₂, TiO₂ e Al₂O₃.

Esses óxidos assim formados sofrem flotação e são absorvidos pelas escórias. A eficiência da desoxidação pode ser aumentada pela combinação de elementos desoxidantes como Mn-Si, Ca-Si e Ca-Si-Al que formam fases óxidas líquidas que se aglomeram em tamanhos maiores, facilitando deste modo a flotação. No emprego de combinação de desoxidantes o teor final em oxigênio dissolvido é inferior comparativamente à utilização de apenas um elemento desoxidante.

Sob esse aspecto de desoxidação, há que também se fazer referência aos tratamentos do aço sob vácuo, como abordados na Resenha Técnica de Tecnologias de Tecnologias de Processos Desgaseificação a Vácuo. Quando uma panela com aço líquido é submetida a vácuo, o oxigênio é removido pela reação carbono-oxigênio que ocorre a pressões parciais muito reduzidas do monóxido de carbono. O oxigênio contido nesse gás fica então indisponível para a formação de inclusões não metálicas. Os sistemas de desgaseificação a vácuo são equipados para a adição de desoxidantes para assistir à remoção de oxigênio remanescente em excesso e de elementos de liga para ajustes de composições químicas enquanto a pressão é mantida reduzida.

As fontes de oxidação do aço líquido não se limitam às operações de refino. O aço líquido em tratamento sob vácuo pode sofrer oxidação por dissociação em $Mg(g) + O$ (no ferro) do MgO dos materiais refratários e reoxidação em seu percurso aos distribuidores e moldes de lingotamento por exposições ao ar atmosférico e contaminações por escórias e fluxantes.

As reações de desoxidação podem ser descritas usando constantes de equilíbrio, das quais são derivados os teores de oxigênio contido. O oxigênio total, que inclui ambos o oxigênio dissolvido e o associado com óxidos ainda presentes no banho líquido, pode ser muito maior.

A figura a seguir exemplifica curvas de equilíbrio entre o alumínio e o oxigênio. O alumínio é um forte agente desoxidante e o elemento mais comumente utilizado para a desoxidação dos aços, advindo a denominação aços acalmados por alumínio (*Al-killed steels*). A desoxidação por alumínio permite a obtenção de reduzidos teores de oxigênio dissolvido (alguns poucos ppm), que previnem a formação de monóxido de carbono durante a solidificação.

