

SETEMBRO, MÊS DA RWM BRASIL E DA METALURGIA 2014

RWM Brasil 2014

Transamérica Expo Center, SP
Dias 9 e 10 de Setembro.

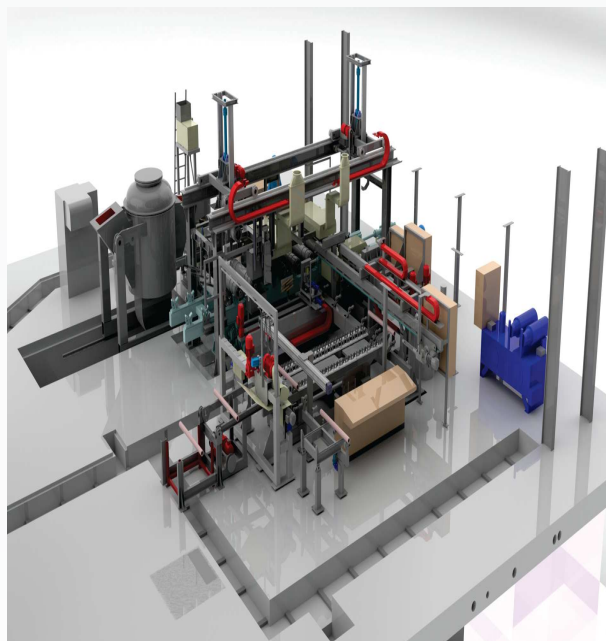
Um especialista nosso estará ao seu dispor para apresentar nossas tecnologias de produção de gás com biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos, limpeza de gases e recuperação de calor.



Metalurgia 2014

Joinville – SC, Expoville
Dias 16, 17, 18 e 19 de Setembro.

Venha nos visitar no estande O4 e conhecer nossas tecnologias para preparação de carga e carregamento de fornos, recuperação e preparação de areia verde e fundição por centrifugação.



Estratégias de dessulfuração na fabricação de aço com oxigênio

Rainer Hüsken

Küttner GmbH & Co. KG, Essen, Alemanha

Jürgen Cappel,

Cappel Stahl Consulting GmbH, Essen Alemanha

Introdução

Uma das melhorias mais significativas na qualidade do aço foi a limitação do teor de enxofre. Este desenvolvimento foi conduzido pela introdução de dessulfuração de aço e gusa líquido em plantas integradas para fabricação de aço. Um efeito colateral foi a possibilidade de otimizar a composição da escória no alto-forno com relação à elevada produtividade e reduzidos custos.

Produtores de aço em todo o mundo tem se deparado com duas principais tendências ao longo das ultimas três décadas:

- * uma espiral contínua de aumentos de preço para matérias primas como carvão, coque, minério de ferro ou sucata;

- * uma crescente demanda por melhorias nas propriedades do aço levando a especificações muito baixas para carbono, oxigênio, silício, fósforo, nitrogênio, elementos residuais (Cu, Cr, Ni, Mo) e enxofre.

Especialmente no caso de produtos de aço a serem operados em aplicações de alta pressão a muito baixas temperaturas, como aço para dutos, e aço para dutos de grande diâmetro e longa distância, especificações ultra baixas de enxofre (ULS) demandam o ajuste dos níveis para menos de 10 ppm. A razão para essas demandas é bem conhecida. Enxofre no aço aumenta a sensibilidade a trincas e reduz a resistência de choque a entalhe. Assim, para evitar a ocorrência de trincas no produto final, para qualidades de aço de alta resistência, HSLA e peritético, baixos teores de enxofre de menos de 30 ppm são benéficos. A limitação de enxofre no aço a menos de 60 ppm resulta em um tratamento com intensa agitação do aço líquido no estágio de refino secundário, com efeito positivo sobre o grau de desoxidação e pureza. Embora a maioria de outras qualidades de aço não tenha qualquer demanda especial sobre a especificação de enxofre, aço LC, ULC, de forno elétrico e chapa de estanho são limitados a menos de 120 ppm e mesmo simples qualidades, como perfis, vergalhões ou fio máquina, são limitados a menos de 250 ppm. A figura 1 demonstra a mudança nas especificações durante os últimos 50 anos [1].

Uma vez que a inserção de enxofre em uma planta integrada de ferro e aço é, em geral, muito maior do que a especificação do produto de aço, tecnologias de dessulfuração se fazem necessárias. A fonte de enxofre advém basicamente do combustível primário usado para produção de ferro, mas também da sucata reciclada. Após as tecnologias de dessulfuração serem implementadas numa planta de aço, elas podem ser também usadas como um complemento flexível para as estratégias buscadas para minimizar os custos globais de operação.

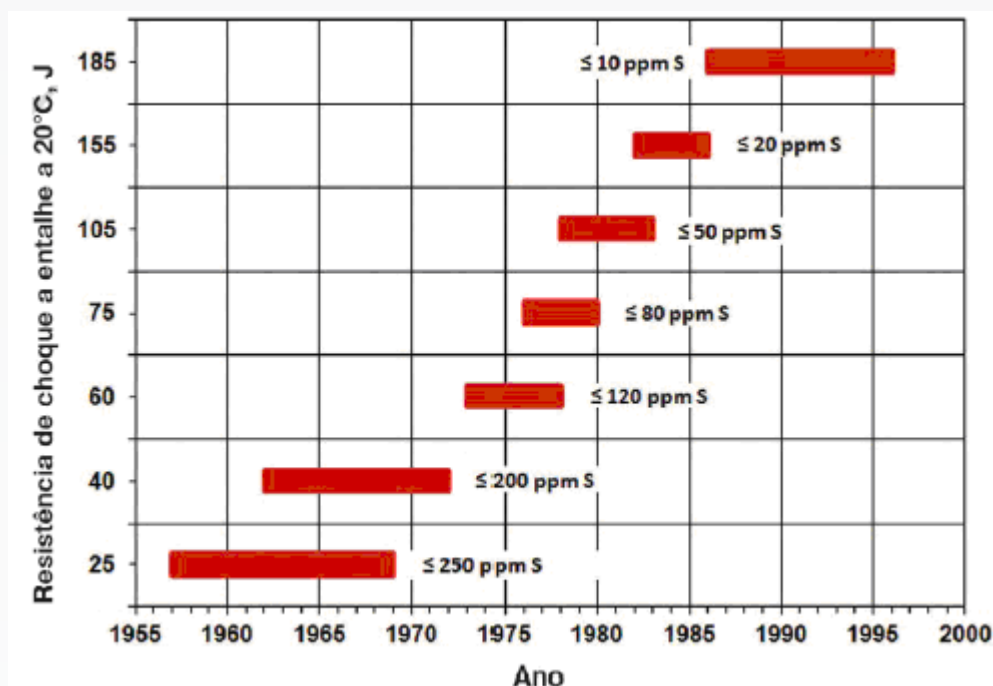


Fig.1: Requisitos de enxofre e resistência de choque a entalhe

KÜTTNERNEWS

Küttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettner.com



Fontes de enxofre na produção de ferro e aço

Enxofre em gusa líquido é o enxofre contido nos materiais de carga, como calcário e minério, e no combustível primário, como coque, óleo e carvão pulverizado, usado no alto-forno para produção de ferro (tabela 1) [2, 3]. Coque e óleo são de longe as fontes mais significativas. Coque e carvão contêm cerca de 0,8 a 1,2% de enxofre, dependendo da origem da mina; óleo e óleo pesado contêm 1,3 a 2,0%. Isto resulta numa soma de 95% do teor total. Devido à atmosfera redutora no processo de fabricação de aço no alto-forno, mais de 80% do teor total é removido com a escória, poeira e gases, assim que resulta apenas um total de cerca de 13%, que permanece no gusa líquido. No balanço da tabela 1, isso corresponde a um teor de enxofre de 0,0550% no gusa líquido, que é um número médio representativo para a atual prática de operação do estado da técnica. Mas todo operador conhece o comportamento senoidal das unidades de processamento em larga escala, que provocam desvios nos resultados, também nos resultados do enxofre. Devido a este efeito, um intervalo de 0,0350% a 0,0850% é mais representativo, e deve ser buscado na produção de aço.

Tabela 1: Balanço de enxofre de um alto-forno aleão (4,4 kg de S por t_{GL})

S input (100%)	
Sínter	5,1%
Pelotas	1%
Fundentes	0,1%
Coque	60,2%
Óleo/carvão/ gás natural	33,6%
S output (100%)	
Gusa líquido	12,6%
Escória	82,4%
Gás do topo	3,6%
Poeira de alto-forno	0,7%
Borra da limpeza de gás	0,5%
Poeira da casa de corrida	0,2%

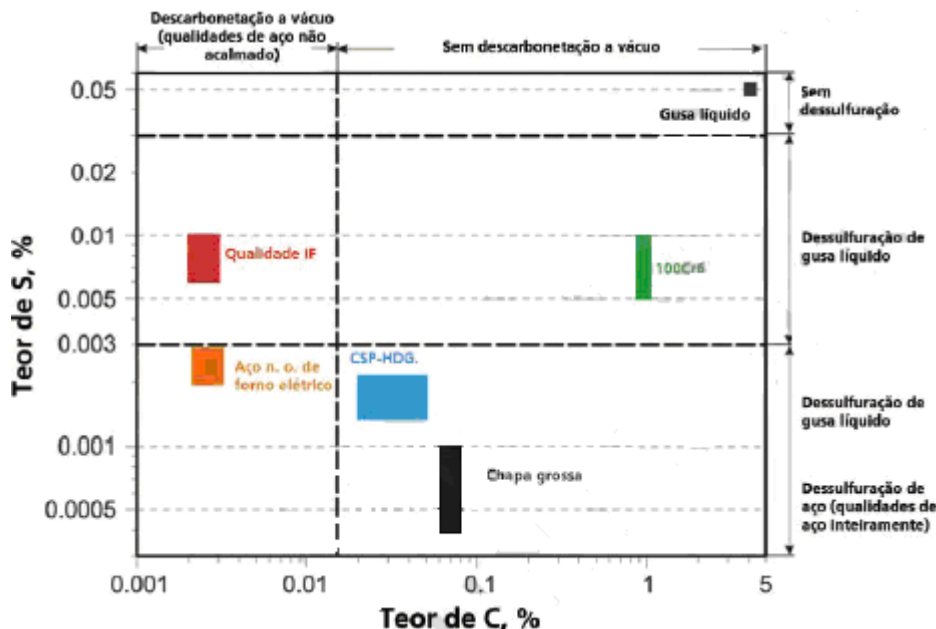


Fig. 2: Requisitos de carbono e enxofre para diferentes qualidades de aço

Demandas de enxofre no aço

Normalmente, enxofre no aço é considerado como uma impureza prejudicial, pois ele influencia negativamente nas propriedades do aço, como ductilidade, tenacidade a impacto especialmente a baixas temperaturas, resistência à corrosão e capacidade de soldagem. Assim, enxofre é limitado em quase todos os tipos de aço, mas a diferentes níveis. Para aço carbono comum, como vergalhões, perfis e fio-máquina, menos de 0,0250% é a especificação normal. Para qualidades de aço especial, como aço LC (baixo carbono), ULC (ultra baixo carbono), de forno elétrico, chapa de estanho e a maioria dos produtos longos, as especificações estão dentro da faixa de 0,0050% a 0,0100% ou menos. No caso de aço ULS (ultra baixo enxofre), as especificações exigem 0,0010% ou até menos. Essas qualidades são basicamente qualidades de aço resistente a HIC (trinca induzida por hidrogênio) e aços de alta resistência para chapas blindadas ou chapas de tanques de GNL (gás natural liquefeito) etc.

Outro efeito no refino de aço secundário relacionado à dessulfuração (por reação de escória/metal) é que o grau de desoxidação do aço e da escória é muito alto (isto é, teores muito baixos de oxigênio) e a pureza do aço é excelente. Assim, a limitação de enxofre a menos de 0,0060% na especificação interna da aciaria é, muitas vezes, usada para garantir alto desempenho de pureza. Devido ao impacto negativo sobre a ductilidade, o teor de enxofre em aço de aço resistência, HSLA (baixa liga de alta resistência) e aço peritético (0,09 – 0,12% C) é limitado a menos de 0,0030%, para evitar formação de trincas durante o dobramento e desempenho em laminação contínua.

A figura 2 mostra um diagrama de especificações de carbono e enxofre para cinco diferentes qualidades de aço [4]. Aço IF (isento de interstícios) é um tipo de aço ULC basicamente usado para aplicações em estampagem profunda. Na maioria das aplicações, aço IF é composto por tira galvanizada (com superfície revestida), mergulhada a quente, bastante conhecida por sua aplicação em construção automotiva. A aplicação mais crítica desse aço é aquela de peças automotivas expostas. Aço de forno elétrico é outro tipo de aço ULC usado na fabricação de transformadores e geradores. Devido a seu maior teor de silício, sua aplicação pode minimizar perdas elétricas.

Aço CSP® (produção compacta de tiras) é basicamente aço baixo carbono para todos os tipos de aplicações construtoras, como rodas, cilindros, tubos soldados, peças agrícolas etc. Chapa grossa é, neste caso, aço resistente a HIC para dutos de grande diâmetro, e 100Cr6 é o aço clássico de alto carbono, alta resistência, usado para mancais de rolamento. A fim de melhorar a capacidade de usinagem desse aço, o teor de enxofre é aumentado até certo ponto.

KÜTTNERNEWS

Kuttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettner.com



Fica claro que todos os tipos de aço são de um diferente nível de enxofre e necessitam de tratamento especial adaptado, de acordo com suas especificações.

A figura 3 mostra a estratégia de dessulfuração para as diferentes qualidades distribuídas por uma aciaria. A dessulfuração total demandada é dividida entre os diferentes estágios de produção de aço líquido. Esses são:

- gusa líquido,
- convertedor básico a oxigênio (BOF),
- metalurgia secundária.

Como mostrado na figura, a meta principal é garantir que, após o aço líquido ser liberado para o lingotamento, a reação de dessulfuração tenha sido inteiramente finalizada. Isto ocorre, devido à reação combinada de enxofre, cal e alumina, de acordo com a seguinte fórmula:

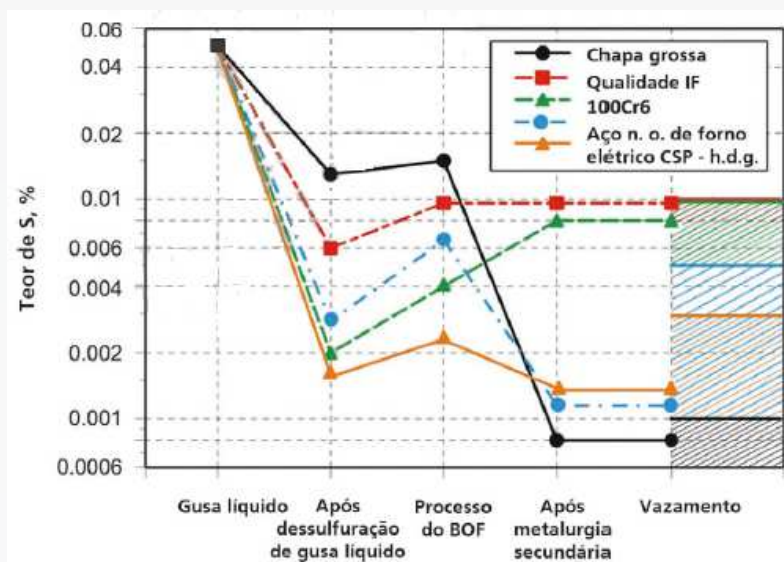
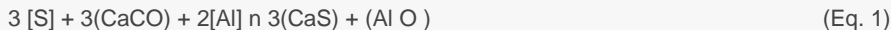


Fig. 3: Curso de enxofre em processamento de aço para diferentes qualidades de aço

Alumínio metálico se faz necessário para reduzir a cal, disponibilizando o cálcio demandado para reagir com o enxofre. No entanto, isto forma partículas de alumina como subprodutos, que são finamente dispersos na forna da, e não podem ser removidos por flutuação no período restante, desde o fim do tratamento de aço líquido até a solidificação no lingotamento.

Durante o refino secundário, aço resistente a HIC, aço CSP® e aço de forno elétrico são dessulfurados em diferentes níveis, dependendo da especificação final a ser atingida. Como se pode estimar através da figura, é um efeito normal nas operações de BOF, que o teor de enxofre seja maior no vazamento do BOF, do que após a dessulfuração de gusa líquido. Esta absorção pode ser minimizada, mas não eliminada. Os principais motivos são:

- a precisão da escumação de escória após a dessulfuração de gusa líquido;
- o teor de enxofre da sucata e a classificação da sucata.

Assim, também o menor teor possível após o BOF com 25 ppm, no caso de aço de forno elétrico, ainda requer dessulfuração do aço. Devido à cinética da reação química, é mais difícil reduzir enxofre de um nível baixo para um nível ultra baixo, o que é demonstrado pela enorme redução, no caso de aço para chapas grossas. Devido a este forte efeito, dessulfuração de aço é sempre demandada. Portanto, uma dessulfuração moderada de gusa líquido, de 0,0500% a 0,0150%, é aplicada.

Nos trajetos de produção das qualidades de aço LC, ULC e de forno elétrico, isto é muito diferente. Para atingir um baixo teor final de enxofre, ou evitar inteiramente o impacto negativo da dessulfuração de aço sobre as exigências analíticas desses tipos de aço, dessulfuração de gusa líquido é aplicada até baixos níveis. Especialmente no caso das qualidades de aço IF, isto se faz necessário, porque efeitos colaterais negativos da dessulfuração de aço são sempre: absorção de silício (no caso de reação da escória metálica e injeção de CaSi), ou absorção de carbono (no caso de injeção de CaC2).

KÜTTNERNEWS

Küttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettnr.com



Tabela 2: Principais fatores influenciando o teor de enxofre no alto-forno

Parâmetro	Varição	% S	%K ₂ O
Enxofre no coque	+ 1 kg/tGL	+ 0,014	
Enxofre no óleo/charvão/ GN	+ 1 kg/tGL	+ 0,007	
K ₂ O na carga	+ 1 kg/tGL		+ 0,210
Produtividade	+ 0,1 t/m ² x 24 h	+ 0,001	- 0,004
Basicidade (%CaO)/ (%SiO ₂)	+ 0,1	- 0,008	- 0,127
Temperatura do gusa líquido	+ 10°C	- 0,006	- 0,005
Volume de escória	+ 10%	- 0,002	- 0,013
Escória (%MgO)	+ 1%	- 0,003	+ 0,022

Ambos os efeitos são críticos, devido ao fato de, no aço IF, carbono ser limitado devido à baixa resistência, e silício devido às boas propriedades de revestimento superficial. Uma exceção no tratamento é o aço para mancais. Visto que esta qualidade tem uma especificação controlada de teor de enxofre elevado, a estratégia do processo é dessulfurar o gusa líquido abaixo da especificação e elevar o teor de volta à especificação, adicionando agente ligante de FeS à fornada.

Tecnologias de dessulfuração

Dessulfuração no alto-forno ocorre em um alto nível de 85 – 90%, conforme demonstrado pelo valor citado na tabela 1 [5, 6, 7]. Ela pode atingir até maior eficiência através de vários parâmetros, conforme mostrado na tabela 2. Mas fica claro que a maioria das medidas é vinculada ao maior consumo de coque, ou até menor produtividade do forno. O aumento na basicidade da escória ajuda, mas possui forte impacto negativo sobre o balanço alcalino. Este problema é um dos mais críticos nas operações do alto-forno, pois ele pode resultar em um colapso de todo o equilíbrio térmico do forno e causar um congelamento do forno. De qualquer maneira, a maior diferença entre produção de ferro e aço é que, no caso de medidas no alto-forno, a produção global do forno é afetada. Em contraste, produção de aço é um processo intermitente, onde as medidas podem ser ajustadas, dentro de certos limites, aos requisitos da especificação.

No processamento metalúrgico durante a fabricação do aço, várias possibilidades para dessulfuração são disponibilizadas ao longo do trajeto de processo, conforme a figura 4. No entanto enxofre pode ser removido com diferentes eficiências em todos os estágios de operação. As eficiências (remoção de enxofre em comparação com teor inicial de enxofre) dos vários métodos de dessulfuração podem ser aferidas.

Dessulfuração de gusa líquido é uma das tecnologias mais comuns de fornada aplicadas na produção integrada de aço. Neste caso, o gusa líquido é tratado na panela de carga, usando vários agentes e tecnologias [8]. Agentes comuns são cal em pó, CaC₂ em pó e grânulos de magnésio metálico. Tecnologias comuns são agitação turbulenta do fluxo de fornada, agitação mecânica e injeção pneumática de pó. Dessulfuração com escória líquida também se torna possível, porém, com as limitações de ser difícil derreter fundentes nas baixas temperaturas de gusa líquido, e de ser necessário remover a escória da panela de gusa líquido após a dessulfuração, a fim de evitar reversão no BOF. Assim, o volume de escória deve ser mantido geralmente baixo durante a dessulfuração de gusa líquido. A alimentação de arame tubular com CaSi ou CaC₂ não irá funcionar, porque o arame de aço não irá fundir no gusa líquido, em um período suficientemente curto de tempo. Normalmente, a eficiência de dessulfuração de gusa líquido varia entre 70 e 95%. Um teor final de 0,0020% de enxofre é alcançável em operações padrão, mas é difícil de ser mantido no BOF, como já acima comentado.

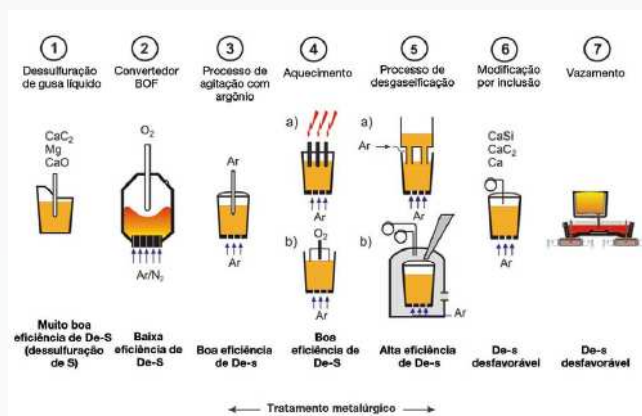


Fig. 4: Possibilidades de tratamento de enxofre ao longo do trajeto de processo

KÜTTNERNEWS

Küttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettner.com



Dessulfuração no BOF, como antes citado, é bastante baixa, devido às condições oxidantes do processo. De acordo com isto, a eficiência de dessulfuração varia entre 20 e 50%, somente se nenhuma, ou apenas moderada, dessulfuração de gusa líquido tiver sido anteriormente aplicada. Como já comentado, operadores são deparados com significativa absorção de enxofre no BOF, no caso de alta dessulfuração de gusa líquido ter sido anteriormente aplicada [9].

A figura 5 mostra uma distribuição de frequências para uma usina européia de BOF. Partindo de um nível de 0,0400% no AF, dessulfuração de gusa líquido é aplicada até uma média de 0,0070%. No vazamento do BOF, o enxofre retorna a 0,0150%, o que é quase o dobro do teor original no gusa líquido. Se for assumida uma relação de gusa líquido/ sucata de 830 kg de gusa líquido mais 240 kg de sucata, o teor médio de enxofre na sucata inserida pode ser estimado a 0,0350%, o que é muito alto, mesmo no caso de sucata velha. Esta estimativa grosseira indica que, além de sucata, outra fonte exerce influência sobre os resultados: a eficiência da escumação na dessulfuração de gusa líquido.

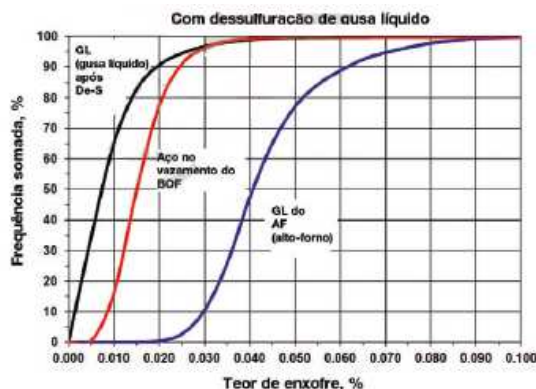


Fig. 5: Resultados de dessulfuração no BOF após dessulfuração prévia de gusa líquido

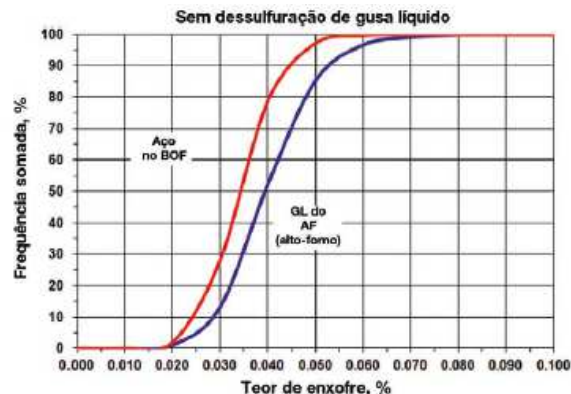


Fig. 6: Resultados de dessulfuração no BOF sem dessulfuração prévia de gusa líquido

O quadro é diferente, se não houver dessulfuração de gusa líquido antes do processo do BOF (figura 6). Neste caso, o gusa líquido do AF (com um teor médio de enxofre de 0,0400%) é vazado a um nível de 0,0350%. Se for assumido um teor médio de enxofre de 0,0200% na sucata velha, a eficiência total de dessulfuração do BOF é a diferença de 0,0050% entre o gusa líquido e a fornada do BOF, e outra absorção teórica de 0,0050% proveniente da sucata. Neste exemplo, a eficiência de dessulfuração é estimada em 22%.

Dessulfuração em metalurgia de panela é uma tecnologia comum aplicada no mundo inteiro. Os princípios tecnológicos usados são a reação de interface entre sucata e metal, injeção de pó e alimentação de arame [10]. Os métodos aplicados são intensa agitação, tratamento a vácuo, injeção de pó e alimentação de arame tubular. Os agentes usados são escória líquida de alta basicidade, com base em adições de fundente de cal na panela, pó de CaSi ou CaC₂ e arame de CaSi. A eficiência de dessulfuração do processo é tão alta quanto para dessulfuração de gusa líquido, com 70 – 95% (98%, quando desgaseificação de tanque a vácuo é aplicada). A pré-condição para alta eficiência é a alta desoxidação do aço e da fornada, como acima citado. A principal reação é acima indicada na fórmula 1, para cal como agente. Fica claro, que esse princípio pode ser usado apenas em aços acalmados com Al, pois aço acalmado com Si irá produzir sílica durante a desoxidação e reduzir a cal livre disponível para dessulfuração. Além disso, o teor final de oxigênio no aço é muito maior, no caso dele ser acalmado com Si. Processamento de aço acalmado com Si é geralmente aplicado na produção de qualidades, como vergalhões, perfis, estacas etc., com especificações moderadas de enxofre. Nos dias atuais, outra tendência precisa ser reconhecida, especialmente na produção de aço em FEA.

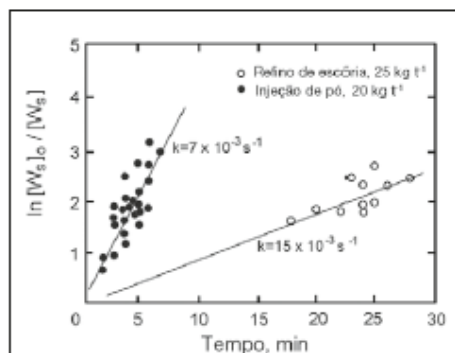


Fig. 7: Eficiência de diferentes tecnologias de dessulfuração do aço

KÜTTNERNEWS

Küttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettner.com



Devido ao efeito, de que a qualidade da sucata está se deteriorando na maioria das regiões mundiais, o enxofre inserido no FEA aumenta (impurezas na sucata, na forma de borracha, plástico e substâncias à base de etanol). Com o intuito de atingir o efeito de dessulfuração demandado para atender as especificações do produto, produtores aplicam agentes alcalinos com alta basicidade para liquefazer a escória e obter certa eficiência de reação entre escória e metal.

Injeção de pó ou arame em instalações de forno panela é um método comum para dessulfuração de aço [11]. A figura 7 mostra a eficiência dessa tecnologia, em comparação com o refino de escória. Mas, já que a meta da tecnologia de injeção é obter resultados com uma reação de agente/metal sem participação da escória, a remoção por flutuação dos produtos de reação CaS é um problema crítico. Além disso, o uso de CaSi ou CaC2 está sempre relacionado à absorção de silício ou carbono no aço, que pode ser crítico para algumas qualidades de aço. Falando de maneira geral, o mesmo se aplica à reação de agente/metal. Devido à overdose do alumínio necessária para oxidação profunda, a escória da panela é reduzida por si só. Isto causa reversão de silício e fósforo, e de cromo e titânio. Devido ao forte impacto do tratamento de agitação, carbono do refratário será dissolvido na fornada, e pode causar problemas, no caso de qualidades de aço ULC.

Tabela 3: Referência de custos de dessulfuração (De-S) para 0,0100% de enxofre

Fator de custo	Alto-forno, US\$/t	De-S de gusa líquido, US\$/t	De-S de aço, US\$/t
fundentes	+0,48		0
Combustível	+1,01		
Escória granulada	- 0,05		
Agentes De-S		0,048	
Consumíveis		0,07 0	
Manutenção		0,07 0	
Consumíveis		0,07 0	
Manutenção		0,07 0	
Transporte		0,066	
Perdas de escória e rendimento		0,129	
Agitação com argônio			0,48
Consumo de alumínio			0.12
Total [US\$/t]	1,44	0,82	0,60

Existem outros efeitos colaterais da dessulfuração do aço. Em primeiro lugar, o efeito dessa dessulfuração abaixo de certo limite por misturação de metal/escória melhora significativamente a pureza do aço. Portanto, uma limitação de enxofre abaixo de 60 ppm é benéfica. Por outro lado, é muito importante que a reação de dessulfuração tenha cessado, quando a panela for aberta para o lingotamento. A razão é que, devido à reação de dessulfuração, alumina muito finamente dispersa é produzida, a qual não pode ser removida por flutuação da fornada, e irá causar efeitos de entupimento durante a corrida.

Custos de dessulfuração

Custos de dessulfuração para operações individuais têm sido com frequência calculados. A figura 8 mostra uma exemplo para dessulfuração de gusa líquido. Em geral, os custos aumentam com o teor inicial crescente de enxofre no gusa líquido. Isto é basicamente causado pelo consumo de agentes de dessulfuração e todos os outros parâmetros, como manutenção, lanças e nitrogênio. Pode ser estimado que perdas de temperatura, perdas de escória (%Fe) e custos de processamento da escória serão também aumentados. Somente as perdas por escumação para ferro permanecem constantes, já que essas são mais estreitamente relacionadas à eficiência do processo de remoção de escória, do que ao nível de enxofre no gusa líquido.

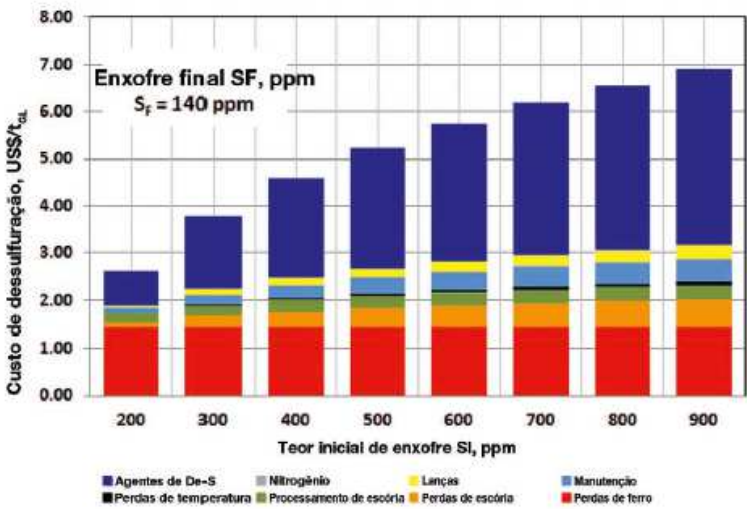


Fig. 8: Estrutura dos custos de operação da dessulfuração de gusa líquido

Os custos totais da dessulfuração de gusa líquido, baixando do nível de 0,0600% no alto-forno para 0,0140%, correspondem a cerca de 6,00 US\$/tonelada de gusa líquido (tGL), com 50% imputados aos agentes de dessulfuração, 25% às perdas por escumação, e 25% a outros fatores de custo. Além disso, custos de cerca de 2,50 US\$/tGL imputados à mão de obra, serviços, SG&A e custos de capital não foram levados em conta. Uma comparação de referência da dessulfuração do alto-forno, gusa líquido e aço é apresentada na tabela 3 para uma redução de 0,0100% de enxofre no gusa líquido ou aço.

No caso do alto-forno, dessulfuração será alcançada por aumento da basicidade e do volume de escória no AF, através da carga de sínter. Devido ao maior volume de escória, o consumo dos finos de coque no sínter e o consumo de coque no alto-forno irão aumentar. A variação do custo total é de 1,44 US\$/tGL. No caso da dessulfuração de gusa líquido, mais agentes precisam ser injetados na fornada. Isto resulta nas variações dos custos de operação já acima comentadas. Presume-se que as perdas por escumação permaneçam constantes. Neste caso, a variação de custo é de 0,82 US\$/tGL. No caso da dessulfuração de aço, presume-se que o trabalho adicional possa ser realizado sem a adição de mais fundente, mas somente por borbulhamento mais longo com lança e maior consumo de alumínio. Um minuto de borbulhamento com lança gera custos de cerca de 0,21 US\$/min para lança, refratário e gás argônio. Na estimativa do custo de dessulfuração, isto resulta numa variação de 0,60 US\$/tGL.

Pode ser mencionado que dessulfuração de aço, se aplicada, é a maneira mais econômica para reduzir o teor de enxofre. Mas na produção de aço, após o vazamento, a utilização do tempo é importante. A complexa logística do lingotamento sucessivo, especialmente em usinas com mais de planta de lingotamento, requer que um rigoroso cronograma de processo seja seguido. Assim, dessulfuração de gusa líquido a montante do BOF é o melhor compromisso possível em operações, na medida em que nenhuma perda adicional por escumação seja gerada. O controle da perda por escumação é um dos problemas mais críticos do processo.

Conclusões

Enxofre é uma das impurezas mais prejudiciais, influenciando negativamente as propriedades do aço. Suas principais fontes são combustíveis orgânicos primários, como carvão, óleo e gás, que são elementares na tecnologia do processo de produção de ferro e aço. Visto que a entrada de enxofre no processo é inevitável, a dessulfuração se torna um dos principais problemas na tecnologia do processo. As unidades primárias de redução e fusão, como AF, BOF e FEA, podem fornecer soluções apenas até certo ponto. Assim, seu uso para dessulfuração pode causar problemas de desempenho e maiores custos de produção.

Ao longo dos anos, tecnologias especiais de dessulfuração foram desenvolvidas e são adequadas à restrição química e termodinâmica do processo de dessulfuração, e destinadas à operação intermitente, com base na especificação do produto final. Diferentes trajetos de processo foram estabelecidos para diferentes tipos de aço. As tecnologias aplicadas são injeção de pó ou arame e reações de escória/metálico nos diversos estágios da produção de aço. Agentes usados são cal, CaC_2 , CaSi e magnésio metálico. Os custos de dessulfuração são essencialmente relacionados ao consumo de agentes. A escumação de escória deve ser corretamente controlada, já que perdas de ferro devido à escumação devem ser mantidas tão baixas quanto possíveis. Por outro lado, a escumação deve ser feita corretamente, a fim de evitar reversão, em especial no caso de dessulfuração de gusa líquido ser aplicada upstream do BOF.

Referências

- [1] Mannesmannröhren-Werke, Company brochure, Düsseldorf, 2000
- [2] Altland, R., Beckmann, B., Stricker, K.-P.: Verfahrensoptimierung am Hochofen durch kontrollierte Alkali und Schlackenbedingungen. *Stahl & Eisen* 119 (1999) No. 11
- [3] The Making Shaping and Treating of Steel. AISI Steel Foundation, Pittsburgh, PA, 11th edition
- [4] Bannenberg, N.: Recent developments in Steelmaking and Casting. *STAHL 2000 conference*, Düsseldorf
- [5] Yamagata, C.; Kajiwar, Y.; Suyama, S.: Mass Transfer Model for Desulphurization in the Lower Part of the Blast Furnace. *Transaction ISIJ*, Vol. 28 (1988)
- [6] Ivanov, O.: Metallurgische Grundlagen zur Optimierung von Hochofenschlacken mit Bezug auf die Alkalikapazität. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg, November 2002
- [7] Kurunov, I., Titov, V., Arsamashev, A., Basov, V., Tikhonov, D.: Analysis of alkali removal influenced by blast furnace operating conditions, 13th session. *Metec InSteel-Con*, Düsseldorf /Germany, 2011
- [8] Iwamasa, P. K., Fruehan, R. J.: Effect of FeO in the Slag and Silicon in Metal on the Desulphurization of Hot Metal, *Metallurgical and Materials Transactions*. Volume 28B, February 1997
- [9] Kalla, U., Kreutzer, H. W., Reichenstein, E.: Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Einstellung definierter Schwefelgehalte im Stahl. *Stahl und Eisen* 97 (1977), Nr. 8
- [10] Bannenberg, N., Bernsmann, G., Dehley, H.M., Florin, W., Hees, E., Hausen, P., Küppersbusch, H.: Schlackenführung und -optimierung von der Roheisenentschwefelung bis zum Konverterabstich. *Stahl und Eisen* 111 (1991), Nr. 1, Seite 119 – 124
- [11] Ghosh, A.: Secondary Steelmaking – Principles and Applications. CRC Press, 2001
- [12] Treatment of Hot Metal, Steel, and Slag. Küttner Company Brochure

KÜTTNER NEWS

Küttner do Brasil
Rua Santiago Ballesteros, 610 - Cinco - Cep 32010-050 - Contagem - MG
Telefone: (31) 3399 7200 - www.kuttner.com.br

Uma empresa do Grupo
Küttner GmbH & Co. KG
www.kuettner.com

