



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

CAMPUS VII - UNIDADE TIMÓTEO

Processos Industriais. Prática do módulo "Alto-forno e aciaria"

Prof. Armin Isenmann

Aluminotermia - um alto-forno em miniatura.

Um alto-forno reduz o metal, a partir do seu minério oxídico, através de carbono ou monóxido de carbono. Este processo se chama de redução carbotérmica. A combustão de carbono (que está disponível em excesso) fornece a alta temperatura que for necessária para fundir o metal e a escória, os dois produtos principais deste processo.

No passado não faltaram tentativas em achar um redutor alternativo ao carbono, já que o subproduto CO_2 é um dos responsáveis para o efeito estufa. Em larga escala aplicam-se, portanto processos onde o aquecimento ocorre via arco elétrico. Os balanços, energético e de matéria revelam, no entanto, que esta rota somente se justifica quando a geração da alta quantidade de energia elétrica pode ser produzida de maneira "limpa", isto é, a base da força da água, do vento ou do sol.

Em pequena escala, outros metais, por sua vez mais reativos frente o oxigênio do que o ferro, podem ser empregados como redutores alternativos. Como as seguintes equações mostram, eles liberam energias consideráveis:



(Óxido de Fe(III) tem uma temperatura de fusão/decomposição de 1.565°C)



(Óxido de Fe(II,III) tem uma temperatura de fusão de 1.538°C)

Embora a última equação prediga o consumo de 8 moles de Al a cada 3 moles de Fe_3O_4 , na prática se aplica um leve déficit em redutor, para evitar a formação de liga Fe-Al.

Como essas reações decorrem em curto tempo e quase nenhum gás está sendo liberado que poderia sequestrar o calor, elas provocam temperaturas entre 2.200 e 2.400°C . Nestas temperaturas o co-produto da aluminotermia, o corúndio Al_2O_3 , também funde ($T_{\text{fus}}=2050^\circ\text{C}$) e bóia em forma de escória em cima do Fe. Para assegurar uma boa separação da escória do metal, a mistura deve ser retida no reator por aproximadamente 2 minutos - o que certamente não é trivial, pois a maioria dos materiais do reator igualmente funde sob estas condições!

Sabemos que a temperatura ótima do processamento de Fe líquido fica em torno de 1.600°C , então precisamos de um aditivo que abaixa a temperatura desta mistura. Usa-se geralmente sucata de ferro ou aço, de preferência a varredura da serralharia, onde grande parte é Fe metal (sua fusão é endotérmica, então consome energia) e o tamanho dos grãos é $< 1 \text{ mm}$. Oferecem-se também aditivos que introduzem os metais de liga desejados (carbono, manganês, níquel, cromo, molibdênio e vanádio, principalmente).

A aplicação principal da aluminotermia é a solda de trilhos de trem. Os trilhos devem ser pré-aquecidos a 700 a 900 °C e se aplica em torno de 13 Kg de mistura de termita para uma solda de qualidade.

Existem várias formas de ignição deste mini-alto-forno. Note que nem todas as misturas são viáveis nesta prática, devido seu inerente perigo de explosão:

- Fita de Mg (por sua vez, mais reativo ainda frente O₂ do que Al)
- Permanganato de potássio e glicerina (ca. 25 g de KMnO₄ e 6 mL de glicerina)
- Misturar cuidadosamente (explosivo!) 1 g de KClO₃ com 1 g de açúcar, posicionar em cima da mistura de termita e gotear 1 gotinha de H₂SO₄ conc.
- Misturar cuidadosamente (explosivo!) 10 g de peróxido de bário com 15 g de magnésio em pó, sob exclusão rigorosa de umidade; posicionada em cima da termita essa mistura pode ser acesa por uma fita de Mg de > 10 cm de comprimento. Um pavio alternativo é uma fita de papel de filtro que foi mergulhado em KNO₃ conc. e secado.
- Enfiar duas "velas-estrelinha de festa" acesas;
- Melhor do que a última funcionam as "velas especiais para aluminotermia" que são comercialmente disponíveis.

Composição de uma vela estrelinha ("sparkler"):

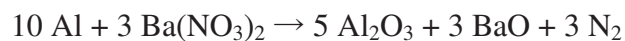
55% Ba(NO₃)₂, 5% Al em pó, 25% Fe em pó, 15% dextrina de aglutinante.

Composição de uma vela especial da aluminotermia (bem mais brisante!):

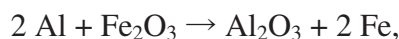
53% Ba(NO₃)₂, 15% Fe₂O₃ (= fonte adicional de oxigênio), 20% Al em pó, 12% dextrina.

Devido a esta composição a velinha reage semelhante à nossa mistura de termita.

As reações pirotécnicas principais são:



e



enquanto a parte orgânica queima conforme:



Devido à instabilidade do CO₂ a altas temperaturas deveríamos considerar também a seguinte equação:



Avisos práticos:

- a) Usaremos um pequeno vaso de barro (comprar na floricultura) e fechamos o buraco em baixo com uma pequena moeda.
- b) Misturam-se 100 g de minério de ferro (hematita) com 25 g de pó da serralharia e a quantidade necessária de raspas de alumínio (observação: devido às impurezas contidas nas raspas de Al, deve-se acrescentar 5% acima do calculado).
- c) Todos os componentes desta reação devem ser secos (estufa a 200 °C, 24 h). A mistura de termita está sendo usada enquanto estiver quente.

- d) As raspas de Al contêm uma camada grossa de óxido que as protege da oxidação. Isso pode acarretar certas dificuldades na hora da ignição.
- e) Óculos de proteção são imprescindíveis, durante toda a prática!
- f) Deve-se usar 25 g de KMnO_4 (frio). Essa porção é colocada numa cavidade da mistura de termita, até chegar numa profundidade de alguns centímetros. Em cima do KMnO_4 deve-se fazer uma pequena cavidade para a glicerina.
- g) Usaremos cerca de 6 a 8 mL de glicerina (frio).
- h) Despejar toda a glicerina na cavidade do KMnO_4 e afastar-se rapidamente da mistura. O tempo de indução é cerca de 10 segundos.
- i) O ferro fundido pode ser resfriado por um jato de água, liberado da escória e pesado.

Questões:

1. Calcule, a base da equação geral da aluminotermia, a quantidade necessária de Al, para queimar 100 g de Fe_2O_3 .
2. Formule sua reação de ignição, a base de KMnO_4 e glicerina.
3. Calcule o rendimento em ferro obtido (em % do valor teórico que se dá do peso do minério da composição Fe_2O_3 e do ferro em pó da serralharia).