

AUTOMAÇÃO DA RELAÇÃO AR/COMBUSTÍVEL DO FORNO DE FUSÃO DE VIDRO

Lauro Yasuo Yano¹, Alcino Aparecido de Almeida², Ailton Ribeiro Mota³, Severino Santos⁴

^{1,2,4}UNIVAP/FEAU – Jacareí – SP

³CEBRACE / ENGENHARIA – Jacareí – SP

¹lauro.yano@saint-gobain.com, ²alcino.almeida@saint-gobain.com, ³ailton.mota@saint-gobain.com, ⁴sevsantos@ig.com.br

Resumo – Este trabalho tem por finalidade viabilizar a instalação de um sistema de malha fechada para controlar a relação ar/combustível em um *forno de fundição de vidro*, baseado na medição de oxigênio na saída dos gases de cada um dos sete queimadores simétricos. Visando reduzir perdas térmicas ou excesso de energia, assegurando a qualidade deste produto assim como o controle de poluentes à atmosfera. A base do projeto é a instalação de medidores de oxigênio no canal de saídas dos gases de combustão, enviar a medição em sinal analógico de 4 a 20 mA para o SDCD, onde será criado o cálculo para conversão deste sinal em parâmetro para relação ar/combustível com o devido excesso de ar.

Palavras-chave: Oxigênio, queima, combustão, malhas de controle, forno.

Área do Conhecimento: Engenharia Elétrica, Controle de processo.

Introdução

O processo de produção de vidro inicia com o recebimento de matérias primas já em sua forma final, prontos para sua utilização, ou seja, moídos, peneirados, secos e analisados. A recepção dos materiais é feita em silos ou baias, a dosagem de se dá por meio de balanças automáticas ou manuais, e a mistura em misturadores cilíndricos (FIASCHI, 1983).

Os fornos de fusão de vidro são o coração do processo produtivo, pois além da fusão pura e simples dos materiais e das reações de formação da *massa* do vidro, eles desempenham uma série de outras funções que se inter-relacionam de forma bastante complexa. Deste modo, as compreensões dos fenômenos que ocorrem em seu interior são de fundamental importância para o estudo e avaliação dos seus desempenhos. Na *Zona de Fusão* é a região em que as matérias primas são aquecidas, desprendendo gases e vapores (H_2O , CO_2 , SO_2 , etc.) e onde se dão as primeiras reações químicas dos fluxos (Na_2O , CaO , etc.) com os óxidos formadores de vidro (SiO_2 , PbO , etc.) iniciando a fusão até atingirem a região de alta temperatura. A região onde se encontram as temperaturas mais elevadas do forno, provoca *correntes de convecção* no *banho* do vidro e que servem entre outras coisas, para impedir o avanço de matérias primas ainda não fundidas para as zonas próximas à saída do forno. Na Figura 1 são mostradas as *correntes de convecção* no interior de um forno de fusão de vidro.

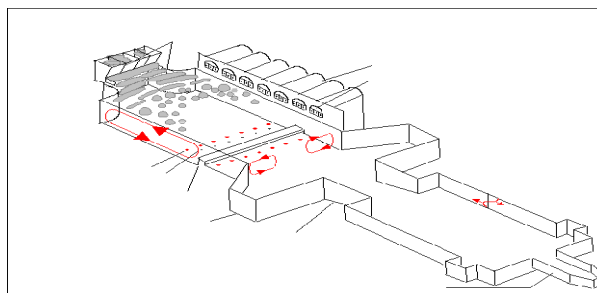


Figura 1- Correntes de convecção de um forno de fusão de vidro.

Para manter altas temperaturas dentro do forno é utilizado Gás natural ou Óleo pesado (BPF), para se obter uma queima perfeita o forno possui ventiladores que insuflam o ar para que haja uma combustão perfeita. Na Figura 2 é ilustrada em corte a vista de um forno de fusão de vidro com destaque nos seus queimadores.

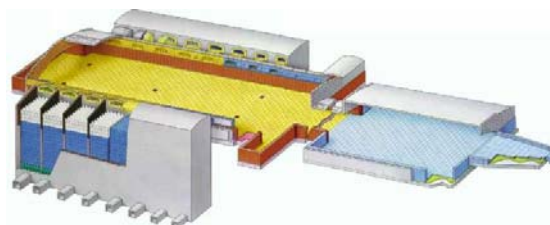


Figura 2- Vista em corte dos queimadores do forno e estrutura geral.

Metodologia

O ar de combustão exerce função essencial na queima, pois fornece o oxigênio necessário para combustão, a escassez causa uma queima insuficiente e gera maior quantidade de poluentes emitidos ao meio ambiente, o excesso causa perda térmica e *volagem* de matérias primas de baixa *granulometria*.

Tendo em vista a importância do controle do ar para combustão, foi desenvolvido este projeto de um sistema de malha fechada para controle da relação ar / combustível do forno de *fusão* de vidro, onde atualmente é feita de forma manual. Através de uma sonda analisadora o operador juntamente com um supervisor ou técnico responsável pelo forno, a insere na saída dos gases para a referida análise, após é feita a alteração no SDCD conforme a necessidade do processo.

Um importante fator é a segurança e saúde ocupacional evitado a exposição das pessoas à ambientes com temperaturas elevadas e a gases, garantindo também a fabricação de um produto conforme reduzindo o desperdício impactando diretamente no preço final do produto.

Combustão

Reações de combustão são reações químicas que envolvem a oxidação completa de um combustível. Materiais ou compostos são considerados combustíveis industriais quando sua oxidação pode ser feita com liberação de energia suficiente para aproveitamento industrial (BIZZO, 2003).

Os principais elementos químicos que constituem um combustível são: Carbono, Hidrogênio e em alguns casos, Enxofre. Estes elementos reagem com oxigênio, e na sua forma pura apresentam a seguinte liberação de calor.

$C + O_2 = CO_2 - 393,500 \text{ kJ / mol}$
$H_2 + 1/2 O_2 = H_2O - 241,800 \text{ kJ / mol}$
$S + O_2 = SO_2 - 29,300 \text{ kJ / mol}$

Tabela 1- Quantificação na reação dos elementos e liberação de calor por molécula.

Composição típica dos combustíveis

A maior parte dos combustíveis fósseis são hidrocarbonetos, e as composições típicas são de: carbono, hidrogênio e oxigênio. Combustíveis vegetais, produtos de madeira e refugo (bagaço, serragem, cascas, etc.) são carboidratos que contém 1/2 átomo de oxigênio para cada átomo de hidrogênio. Seus produtos de combustão são similares aqueles dos hidrocarbonetos (CO_2 e

H_2O), mas a energia liberada durante a combustão é comparativamente menor.

	C	H	O	N, S etc
Gás Natural	-75	-25	-	-
Petróleo	84 - 86	11 - 14	0 - 3	0 - 5
Carvão Mineral	78 - 95	-7	1 - 15	1 - 5
Lenha	49	6	43	-1

Tabela 2- Composição típica de alguns combustíveis em Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Enxofre, etc.

Estequiometria da combustão

A maioria dos processos indústrias de combustão utiliza o ar ambiente como fonte de fornecimento de oxigênio para a combustão. O conhecimento das necessidades de ar para combustão, bem como da composição e volume dos produtos de combustão é fundamental para o projeto e controle de equipamentos de combustão. A estequiometria química nos fornece os principais dados necessários aos cálculos de combustão.

Elemento	massa	volume
Oxigênio	23,20%	21,00%
Nitrogênio	76,80%	79,00%

Tabela 3- Principais elementos envolvidos em combustão em massa em volume.

Elemento	Peso Atômico
Carbono	12
Hidrogênio	1
Oxigênio	16
Nitrogênio	14
Enxofre	32

Tabela 4- Elemento e o Peso Atômico

Sabe-se que alguns dos números acima requerem correção decimal. Os erros são pequenos e podem ser ignorados em grande parte se tomados no contexto da precisão das medições industriais comuns.

O peso molecular de um material é a soma dos pesos atômicos que o constituem. Por exemplo, o peso molecular do monóxido de carbono, CO , é: $12 + 16 = 28$; da água, H_2O , é: $2 + 16 = 18$, e assim por diante.

Não existem unidades comuns, mas uma unidade prática é a molécula grama, ou grama-

mol, escrita normalmente como *gmol*, que é em efeito, o peso molecular expresso em gramas.

Assim a molécula grama, ou o *gmol* do monóxido de carbono pesa 28 gramas. Analogamente pode ser utilizada a molécula-quilograma, o *kgmol*, ou a molécula-libra, o *lbmol*, o equivalente no sistema inglês.

Se uma reação for escrita em forma molecular, ela pode ser tomada para representar as quantidades relativas de reagentes em termos destas unidades práticas, por exemplo:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ é uma equação que indica o que acontece quando um átomo de carbono e uma molécula de oxigênio reagem completamente. Em termos práticos ela estabelece que 1 kmol de carbono reaja com 1 kmol de oxigênio para formar, no final, 1 kmol de dióxido de carbono. A utilização de pesos atômicos ou moleculares para os elementos vai se tornar evidente quando os cálculos acima forem estudados. Os pesos atômicos são usados para elementos que são gasosos em CNTP. Para produtos e combustíveis gasosos, esta prática pode ser levada um estágio adiante. A teoria de Avogadro estabelece, na verdade, que volumes iguais de gases diferentes sob as mesmas condições contêm um número igual de moléculas de gás. Por exemplo, 1 metro cúbico de nitrogênio em CNTP contém tantas moléculas de nitrogênio quanto 1 metro cúbico de dióxido de carbono contém de moléculas de dióxido de carbono a CNTP. Segue-se que a reação molecular, quando escrita para combustíveis gasosos, não só indica a reação e os produtos em termos de moléculas - kg, mas também em termos de volumes. Por exemplo, se o metano queima com oxigênio e reage completamente com tudo permanecendo em estado gasoso e sendo medido sob as mesmas condições de pressão e de temperatura.

CH_4	+	$2O_2$	\rightarrow	CO_2	+	H_2O
1 Kmol		2Kmol		1 Kmol		2Kmol
1 vol		2vol		1 vol		2vol

Tabela 5- Reação do metano com oxigênio.

Os requisitos de energia da grande maioria dos processos industriais são obtidos originalmente de combustíveis convencionais através de uma complexa cadeia de reações denominada combustão.

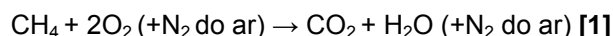
Felizmente para a maioria das aplicações, esta situação de combustão potencialmente complicada pode ser reduzida a uma consideração sobre os materiais de partida - combustível mais oxigênio, normalmente como um componente do ar - e os produtos finais. Tal simplificação facilita, por exemplo, o cálculo do ar ou do oxigênio

necessário para um combustível, o despreendimento potencial de calor e temperatura e a composição ideal dos produtos gasosos de combustão produzida. Este último ponto é útil ao inverso, em que uma comparação da composição real de gás de combustão com a composição ideal indica o rendimento do processo de combustão.

Cálculo da proporção teórica de Ar/combustível

Qualquer combustível convencional requer, de acordo com sua composição, uma quantidade específica e calculável de oxigênio (e, portanto de ar, uma vez que este é o agente comum de fornecimento) para atingir teoricamente uma reação completa. Menos do que essa quantidade vai produzir combustão incompleta e, portanto perda de calor potencial. Mais do que essa quantidade, gera perdas excessivas de gás de combustão e da temperatura. Na prática, um pouco mais do que a quantidade teórica é usada por razões posteriormente explicadas.

Na Equação 1 é mostrada que para um material simples tal como o metano, constituinte principal do gás natural, pode ser escrito a equação de combustão:



A rigor, o fenômeno da dissociação vai alterar um pouco esta reação.

Isto, de fato, significa a separação de parte dos produtos da combustão em outros compostos que não sejam CO_2 e H_2O , e consequentemente a perda de calor, de acordo com as condições exatas de equilíbrio relacionadas às temperaturas, pressões e concentrações. A dissociação típica do dióxido de carbono é representada na Equação 2:



Segue-se da equação que 1 Kgmol de metano requer 2 Kgmol de oxigênio para a reação teórica completa. Portanto, convertendo para uma base de massa, 16 kg de metano requerem 64 kg de oxigênio o que, uma vez que o ar contém 23,2% de oxigênio por peso, dá uma proporção teórica de ar/combustível de 17,25: 1. É visto que, em base de volume, 1 volume de metano requer 2 volumes de oxigênio de forma que a proporção volumétrica correspondente de ar/combustível é 9,53 : 1. Tal mistura quimicamente correta é uma mistura estequiométrica. As situações em que uma equação exata pode ser escrita são poucas e são quase exclusivamente para combustíveis gasosos de composição conhecida ou determinada.

Princípio de funcionamento do sensor de zircônio.

O eletrodo externo está exposto ao gás de amostra, e se a temperatura da sonda estiver dentro da faixa de operação recomendada, uma diferença de potencial surgirá entre os 2 eletrodos, dependendo da relação das pressões parciais de oxigênio nos dois eletrodos, ou seja, na sonda e no termopar. (OPTIMISER, 2007)

Se a pressão parcial do oxigênio em 1 eletrodo é conhecida, então uma medida desta diferença potencial vai permitir que a pressão parcial de oxigênio no outro eletrodo seja determinada. Com os parâmetros de oxigênio juntamente com a temperatura é calculada a quantidade de CO₂ no ambiente.

O sinal de 4 à 20 mA que é gerado conforme a proporção do oxigênio analisado, é tratado por uma malha de controle do SDCD baseado na relação estequiométrica teórica de ar / combustível é então *recalculado* o excesso de ar de combustão e enviado para a referida malha, esta trabalhará em *cascata* para uma maior segurança em situações onde o ar não está presente, atuando diretamente na malha de controle do combustível, evitando explosões.

Na Figura 3 é mostrado o sensor especificado para a medição dos gases.

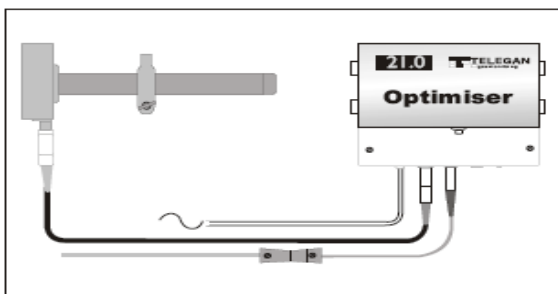


Figura 3- Sensor especificado para medição dos gases, gabinete e a sonda termopar.

Resultados

A escolha da sonda de análise de gases foi de extrema importância, pois a temperatura de saída dos gases, onde será analisado, atinge em média 450° e o range do equipamento é de 600° C tendo uma *zona de conforto* para a proteção ao equipamento. E também por se tratar de um ambiente *agressivo* a proteção do equipamento atende as normas.

Discussão

A instalação deste equipamento foi discutida com o intuito de reduzir perdas térmicas ou excesso de energia em um forno de *fusão* de vidros, cujo lastro é de 1800 toneladas de vidro *fundido*, assegurar a qualidade deste produto assim como o controle de poluentes à atmosfera. Outro fator é em relação ao custo final do produto no tocante ao respeito da *volagem* das matérias primas de baixa *granulometria* garantindo que estas exerçam suas funções e sejam aproveitadas na elaboração do produto.

Conclusão

A automação da relação ar / combustível em um forno deste porte, além do monitoramento constante e “*on – line*” do resultado da queima e a devida correção automática na malha de controle do SDCD prevê em primeiro lugar a segurança e saúde ocupacional evitando a exposição das pessoas à ambientes com temperaturas elevadas e a gases também.

Outro importante fator é o controle de poluentes emitidos ao meio ambiente assim como a garantia de fabricação de um produto conforme reduzindo o desperdício impactando diretamente no preço final do produto.

Referências

- FIASCHI, A.A. Conservação de energia na indústria de vidro. Manual de recomendações. São Paulo, IPT. V.1, p15 - 17, 1983.
- BIZZO, W.A. EM 722 -Geração, distribuição e utilização do vapor. P.1 – 17, 2003. Apostila de curso -Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~em672/GERVAP1.pdf>. Acesso em: 26 fev.2007.
- OPTIMISER. Sistema fixo de medição de O₂. Disponível em: http://www.confor.com.br/catalogos_pdf/optimiser.pdf. Acesso em: 05 mar. 2007.