

P64 – Aplicação de Sistemas de Comb. s/ Chama (“Flameless Combustion”) - Aval. Técnico-Econômica em Fornos de Reaquecimento p/ Laminação - Ciclo 2008/2009

Eugênio Pierrobon Neto¹, Alberto Fossa¹, Murilo Tadeu Werneck Fagá¹, Flávio Oliveira², João de Carvalho Jr², Pedro Sobrinho² e André de Castro²

1 COMGÁS, 2 FEG UNESP

Resumo – O desenvolvimento de um sistema de queima eficiente e com baixa emissão de poluentes (óxidos de nitrogênio, os chamados NOx) é uma das principais metas não só das pesquisas realizadas sobre combustão, como também dos fabricantes de equipamentos de combustão. Para atingir tais objetivos, torna-se fundamental, ainda, a aplicação destas inovações no setor industrial, a fim de promover a redução dos custos, bem como a emissão de poluentes. Atualmente os óxidos de nitrogênio NOx (termo usado para designar a soma de NO + NO₂) são considerados como um dos mais relevantes poluentes atmosféricos, pois podem ser emitidos até mesmo por combustíveis considerados “ecológicos” (ou “limpos”), como o gás natural (GN) e o hidrogênio (H₂), uma vez que podem ser formados a partir de reações do nitrogênio (N₂) e oxigênio (O₂) do ar atmosférico em altas temperaturas. Dentro deste contexto, foi desenvolvida uma nova tecnologia de combustão, denominada “Combustão sem Chama Visível”. Este regime de combustão apresenta diversas vantagens em relação ao processo de combustão convencional, especialmente a redução drástica das emissões de NOx, das oscilações e do ruído, além de melhorar a eficiência da queima, diminuindo as emissões de CO, proporcionando uma temperatura e composição homogênea na câmara de combustão (Choi et al., 2001). Este processo necessita ser otimizado e, posterior à sua otimização, haverá a possibilidade de este ser utilizado com uma variedade de combustíveis e queimadores. Tal otimização engloba o completo entendimento do processo, principalmente no que se refere à compreensão dos fenômenos reativos.

Palavras-chave: combustão sem chama; poluentes atmosféricos; indústria; Comgas

Introdução

O regime de combustão sem chama visível, conhecido como “flameless combustion” na língua inglesa, apresenta vantagens com relação ao processo de combustão convencional, como a redução acentuada das emissões de NOx e CO, das oscilações e do ruído. Neste regime de combustão não há frente de chama, ou seja, chama visível. Esta é uma tecnologia inovadora que tem se mostrado promissora, tendo recebido atualmente o interesse mundial de pesquisadores e do setor industrial, principalmente por este processo reduzir as emissões de NOx, além de possibilitar maior tempo de vida útil da câmara de combustão, devido à distribuição mais uniforme da temperatura em seu interior. Alguns países da Europa, os EUA e o Japão se encontram atualmente na vanguarda das pesquisas mundiais sobre esta nova tecnologia. Apesar de ser recente sua utilização

em indústrias de alguns países europeus, esta tecnologia necessita ser melhor caracterizada para esclarecer informações relativas aos custos e otimização de processos. Torna-se então necessário entender os fenômenos físicos e químicos que controlam este regime de combustão, ainda não devidamente equacionados, havendo poucos resultados disponíveis e elucidativos na literatura, para que seja possível sua aplicação em grande escala para uma variedade de combustíveis e queimadores disponíveis na indústria.

Desenvolvimento

O presente projeto pode ser dividido em cinco etapas: Fundamentos e Estado da Arte da Combustão sem Chama Visível; Modelagem do Processo de Oxi-combustão em Fornos de Reaquecimento, com Vistas a Aplicações em Combustão sem Chama; Modelagem Fluidodinâmica para Avaliar Processos de

Recirculação; Levantamento do Estado da Arte no Setor Industrial e Projeto Conceitual. Tais etapas são apresentadas resumidamente a seguir:

A. Fundamentos e Estado da Arte da Combustão sem Chama Visível

No início dos anos noventa, trabalhos de natureza experimental na indústria (Japão e Alemanha) e num laboratório na Holanda (IFRF), levaram à descoberta de que uma elevada recirculação dos produtos de combustão (> 2), combinada com o pré-aquecimento do ar de combustão, de tal modo que a temperatura dos reagentes excede a temperatura de auto-ignição da mistura, produz um modo de combustão estável. A combustão sem chama visível é um regime de combustão caracterizado pela ausência de uma zona de combustão localizada, isto é, pela ausência de uma chama de pré-mistura ou de difusão. Em contraste com as chamas usuais, não se consegue visualizar a região de combustão, devido à ausência de luminosidade, encontrando-se disseminada pela câmara de combustão. Gradientes de temperatura e de concentrações de espécies químicas são pequenos no processo. Este regime de combustão ainda é pouco conhecido do ponto de vista teórico, não sendo consensual a sua definição nem totalmente claras as condições necessárias para que seja obtido. Porém, o regime de combustão sem chama visível tem despertado grande interesse em virtude das vantagens que apresenta, como a redução das emissões de NO_x e aumento no rendimento dos processos onde é aplicado.

B. Modelagem do Processo de Oxi-combustão em Fornos de Reaquecimento, com Vistas a Aplicações em Combustão sem Chama

Algumas aplicações industriais de combustão sem chama são com oxi-combustão, ou seja, o oxidante utilizado no processo é o oxigênio puro. Adicionalmente, todas as aplicações efetivamente implantadas foram desenvolvidas pela Linde Gas, que detém a tecnologia dos queimadores e guarda esta tecnologia como segredo industrial. Assim, uma modelagem do processo de oxi-combustão em fornos de reaquecimento, operando com gás natural, foi desenvolvida no sentido de entender principalmente as vazões de recirculação necessárias para a obtenção do processo de Combustão sem Chama. As

condições foram consideradas como padrão e como de oxi-combustão e encontram-se esquematizadas na Figura 1.

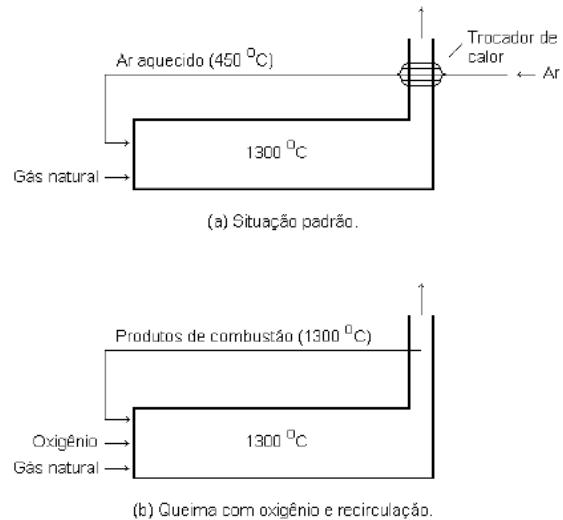


Figura 1 – Esquema das condições para a modelagem realizada.

C. Modelagem Fluidodinâmica para Avaliar Processos de Recirculação

Sabe-se que a obtenção do regime de combustão sem chama está associada à diminuição da fração molar de oxigênio no oxidante e/ou à intensa circulação dos produtos no interior da câmara. A diminuição da fração molar de oxigênio pode ser obtida através da diluição do oxidante com os produtos de combustão gerados no interior da câmara por processos de recirculação. A recirculação pode ser feita através da utilização direta dos produtos de combustão da saída do forno (reintrodução dos gases de combustão no oxidante) ou através de recirculação provocada em cima da estrutura do queimador. No início do projeto, decidiu-se ensaiar primeiramente a recirculação direta dos produtos de combustão da saída do forno. O conceito de câmara escolhido foi o projeto, em escala real, de um forno poço com apenas um queimador e uma seção de saída dos gases. Nessa seção foi introduzido um duto ligando o canal dos fumos com a entrada dos reagentes do sistema. Sob diferentes vazões de entrada dos reagentes, diferentes vazões de recirculação foram obtidas.

D. Levantamento do Estado da Arte no Setor Industrial

Primeiramente, foram encontradas aplicações industriais da técnica de combustão

sem chama apenas em sistemas de combustão operando com oxigênio puro, os chamados sistemas oxi-combustível. O Grupo Linde desenvolveu a técnica, registrada sob a marca REBOX. Segundo a empresa, a combustão sem chama do tipo oxi-combustível pode ser empregada para promover aquecimento uniforme e obter baixos níveis de emissão de NOx. A combustão sem chama é obtida diluindo a chama com os gases de combustão que não contêm N₂. Esta diluição também dispersa os gases de combustão dentro da fornalha para um melhor aquecimento do produto. A fornalha recebe a mesma quantidade de energia que no caso de combustão tipo oxi-combustível convencional, mas, devido à melhor distribuição de temperatura, a geração de NOx é reduzida.

E. Projeto Conceitual

De forma geral, a maior dificuldade foi encontrar uma empresa capaz de fornecer soluções em queimadores e sistemas de combustão sem chama, tanto no Brasil como no exterior. Como o equipamento de análise inicialmente proposto é um forno de reaquecimento de placas, onde os processos ocorrem em altas temperaturas, ao invés de se escolher um forno existente em um dos clientes da Comgás, foi escolhida a situação geral para implantação do projeto, ou seja, a adaptação de fornos de reaquecimento de placas, onde os resultados foram guiados de forma generalizada em função de potências e temperaturas de trabalho.

Na ausência de um cliente realmente decidido na instalação de um sistema flameless, foi escolhida, em consenso com o gestor do projeto da Comgás, uma câmara de combustão existente nos laboratórios utilizados pelo grupo da UNESP, no INPE/LCP (Laboratório de Combustão e Propulsão), em Cachoeira Paulista, SP. É uma câmara semi-industrial e que será utilizada para continuação dos trabalhos junto à Comgás em 2010. O projeto 3D da câmara e novas simulações com o programa Cosmos Floworks foram realizados. A câmara irá operar entre 50 e 150 kW no modo flameless. Assim, para suprir a potência descrita foi escolhido o modelo de queimador regenerativo Regemat 250.

Resultados

O observado foi que com o aumento da vazão de descarga dos reagentes ocorre o aumento da velocidade de recirculação, fato

este já esperado para a configuração em questão (efeito Venturi). Em linhas gerais, as primeiras hipóteses e condições de contorno consideradas na elaboração do atual modelo simplificado (modelo frio, ou seja, sem troca de calor e reações químicas) se mostram pertinentes. Hipóteses como a aproximação do GN para CH₄, a modelagem em uma câmara de combustão com a geometria real de um forno poço e o estudo de diversos casos utilizando ar ou oxigênio em diferentes vazões, validaram o modelo proposto. Deve-se observar que os casos estudados apresentam resultados paralelos à literatura de referência sem se distanciarem, ao mesmo tempo, da realidade vivida nos processos industriais.

Conclusões e Contribuições

Está comprovado que a combustão sem chama visível apresenta potencial para possibilitar, a médio prazo, emissões de NOx próximas de zero em diversos equipamentos (fornos, fornalhas, caldeiras, turbinas a gás, etc.). As atividades realizadas no atual projeto permitiram concluir que o processo de combustão sem chama tem o potencial de aplicação em diversos setores industriais, principalmente aqueles que utilizam alta temperatura (>1000°C) em suas transformações, como os setores, siderúrgicos, metalúrgicos, de vidro e cerâmico. Especificamente, pode-se concluir que é possível estabelecer a combustão sem chama visível, para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, com e sem pré-aquecimento do ar de combustão, com e sem preaquecimento do combustível, com combustão pobre, rica ou próxima da estequiométrica, com significativas reduções das emissões de NOx e com obtenção de altas eficiências.

A tecnologia ainda não está implantada no Brasil, assim, como continuidade do Projeto 64, o grupo desenvolverá uma unidade experimental, para a obtenção dos limites do regime de combustão sem chama, quando aplicável em um forno laboratorial de aquecimento de placa. O novo projeto, de número 89, para a continuidade das atividades já foi aprovado para o ciclo 2010/2011 de projetos P&D da Comgás.

Principais Referências

Choi, G.M.; Masashi, N.; Katsuki, M., Advanced Low NOx Combustion Using Highly Preheated Air, Energy Conversion and Management 42: 639-652 (2001).