

## **P89 – Desenvolvimento de um Sistema de Combustão sem Chama (“Flameless Combustion”) – Ciclo 2009/2010**

Dr. Anton Skyrda Veríssimo<sup>1</sup>, Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Jr.<sup>1</sup>

1 FEG/UNESP

**Resumo** – O presente trabalho é resultado da linha de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) da Companhia de Gás de São Paulo (Comgás) em parceria com a Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (FUNDUNESP) visando a elaboração de um sistema de combustão sem chama. Foi realizada a reengenharia da câmara de combustão em escala piloto com auxílio de simulação numérica, bem como uma revisão bibliográfica levando em consideração empresas capazes de fornecer um queimador que operasse em modo de flameless combustion. No âmbito da otimização do sistema, promoveu-se diversos estudos de automação com o acoplamento do queimador e de todos os seus periféricos, onde o próprio equipamento e a fornalha foram otimizados para operarem em conjunto, utilizando um mínimo de excesso de ar com o mínimo de perda de calor. Por fim, o regime de flameless combustion foi alcançado, com as emissões de poluentes abaixo do estipulado nas metas europeias.

Palavras-chave: sistema de combustão, flameless combustion, combustão, emissão de NOx e CO.

### **Introdução**

O avanço tecnológico observado desde a revolução industrial, originou a necessidade de recorrer à combustão nos processos de produção. Isto se verifica desde a geração de energia elétrica até ao acabamento de produtos, o que, por si só, torna praticamente impossível à substituição completa da combustão na indústria.

Neste cenário, é fundamental o uso correto das fontes primárias de energia, não só no que se refere à gestão adequada dos recursos naturais do planeta, mas também ao impacto da poluição na saúde humana e no meio ambiente.

Muitos dos processos de combustão têm baixa eficiência energética, ou seja, consomem muito combustível para obter um baixo rendimento face à quantidade de energia utilizada, o que leva ao desperdício exacerbado de energia refletindo, muitas das vezes, no aumento do preço do produto final e tornando a indústria daquele país menos competitiva no mercado global.

Obviamente, tais desperdícios acabam por consumir muito das reservas de fontes primárias de energia de uma nação, o que pode dificultar no aumento de sua economia, bem como na sua independência energética.

O regime de combustão sem chama visível, conhecido como “flameless combustion” na língua inglesa, apresenta vantagens com relação ao processo de combustão convencional, promovendo 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, recebendo atualmente o interesse mundial de pesquisadores e do setor industrial, principalmente por reduzir as emissões de NOx e possibilitar o maior tempo de vida útil da câmara de combustão, devido à distribuição mais uniforme da temperatura em seu interior e maior rendimento quando utilizada a regeneração de calor.

Apesar de ser recente sua utilização em indústrias de alguns países europeus, o sistema de combustão sem chama 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 para que seja possível sua aplicação em grande escala para uma variedade de combustíveis e queimadores disponíveis na indústria.

## Desenvolvimento

Para a execução do projeto, foi escolhida em consenso uma câmara de combustão existente nos laboratórios utilizados pelo grupo da UNESP, no INPE/LCP (Laboratório de Combustão e Propulsão), em Cachoeira Paulista, SP. Trata-se de uma câmara semi-industrial de 1 m<sup>3</sup> de volume interno equipada com uma parte móvel, que simula o reaquecimento de placas para a laminação. A câmara tem uma chaminé para exaustão dos gases da combustão e foi projetada para trabalhar com carga térmica de combustível de 500 kW.

É importante salientar que há somente uma abertura em uma das extremidades da câmara de combustão para instalar o queimador regenerativo. Tal abertura teve de ser aumentada para a instalação do queimador.

A avaliação da correta posição do queimador foi muito importante no trabalho, para posicionar o queimador de modo a ter a maior recirculação. A avaliação foi realizada através de simulações numéricas utilizando o software Cosmos Floworks.

Visando facilitar a logística dos ensaios com o sistema "flameless combustion", ao invés de se aquecer placas de aço como a fornalha, foi projetado um trocador de calor construído com tubos de aço carbono. O uso do trocador de calor permite um melhor controle dos valores de carga térmica a serem ensaiados em laboratório. A carga térmica pode ser variada através da vazão do ar no trocador de calor.

Depois de realizado o projeto do trocador de calor, foi definido a disposição dos periféricos do queimador, tais como compressores radiais, instrumentos de medição e válvulas.

As atividades então se iniciaram a partir da reforma da câmara de combustão. Depois de realizados vários ajustes e substituições de peças para o correto funcionamento do queimador, bem como experimentos e simulações numéricas, apresentou-se um método capaz de operar no regime de combustão sem chama visível, o qual cumpre um dos objetivos deste projeto de economizar combustível mediante o pré-aquecimento de ar através do calor contínuo nos produtos da combustão.

## Resultados

De modo geral, pode-se dizer que o regime de flameless combustion estudado neste

projeto foi devidamente alcançado, tal como se esperava, promovendo emissões de poluentes abaixo do estipulado até então nas metas europeias.

Considerando apenas o forno de reaquecimento utilizando uma composição contendo 80% de COG e 20% de BFG, por exemplo, tem-se uma vazão mássica de 3.400 kg/h, o que dá uma carga térmica de 19.292.000 kcal/h, ou aproximadamente 22,5 MW. Para um excesso de ar de 20% a quantidade de ar necessária é de aproximadamente 98 056 kg/h.

Com isso, apresentou-se a economia de combustível mediante o pré-aquecimento de ar através do calor contínuo nos produtos da combustão.

Através de estimativas, obteve-se o aproveitamento de até 33% de economia de combustível caso o ar da combustão fosse pré-aquecido a 650 °C com os produtos da combustão expelidos em torno de 1.000°C.

O processo avaliado é de operação contínua e quase não sofre influência do tempo de pré-aquecimento do forno.

## Conclusões e Contribuições

Muitos esforços têm sido feitos no intuito de conceber fornos com maior eficiência energética, focando na melhoria da transferência de calor entre os gases quentes e os materiais tratados. No entanto, há um limite para que ocorra o máximo de transferência de calor para o material no interior da fornalha. Ao se analisar os fornos utilizados para fundição, verifica-se que a temperatura dos gases da combustão deve ser sempre maior que a do material a ser fundido. Assim, a temperatura dos gases da exaustão nunca será menor que a temperatura de fusão do material, uma vez que isto viola a segunda lei da termodinâmica.

Portanto, as temperaturas nos gases de exaustão correspondem aproximadamente à temperatura de fusão do material e neste cenário, pelo menos, 60% da energia de entrada no forno é perdida na forma de calor. Por isso, a recuperação deste calor rejeitado pode significar um grande aumento na eficiência energética do processo, redução do consumo de energia e diminuição da emissão de poluentes.

Em outras palavras, se o consumo de combustível for diminuído, haverá uma quantidade menor de poluentes lançados na atmosfera.

O sistema de combustão sem chama se trata de uma tecnologia muito atraente para a indústria, não somente a de aço, mas outras como a indústria cerâmica e a indústria de vidro, nas quais o consumo do combustível tem um impacto muito grande nos gastos com energia por reduzir emissões de poluentes, sobretudo de NOx e CO, e recuperar calor (o que por si só é um forte atrativo).

## Referências

IBRAM Ventiladores; Acesso em 05 de junho de 2010, disponível em site da IBRAM: <http://www.ibramvent.com.br/>

Wünning, J.A.; Wünning, J.G., Flameless Oxidation to Reduce Thermal NO-Formation, Progress in Energy and Combustion Science, 23:81-94 (1997).

Abraham, A., Jain, L., Goldberg, R., 2004, Evolutionary Multiobjective Optimization: Theoretical Advances and Applications, Springer.

Arghode, V. K., Gupta A. K., 2010, Effect of Flow Field for Colorless Distributed Combustion (CDC) for Gas Turbine Combustion, Applied Energy, Vol. 87, pp. 1631-1640.

Arghode, V. K., Gupta A. K., Role of thermal intensity on operational characteristics of ultra-low emission colorless distributed combustion. Applied Energy 111, 2013, pp. 930–956.

Arghode, V. K., Gupta, A. K., Yu, K. H., Colorless Distributed Combustion (CDC): Effect of Flowfield Configuration 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including The New Horizons Forum and Aerospace Exposition 5 - 8 January 2009, Orlando, Florida