
P58, Recuperação de calor dos gases da chaminé dos fornos de cadinho de fusão de zinco para pré-aquecimento de ar de combustão. Ciclo 2008/2009.

Renato Vergnhanini Filho

COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – Laboratório de Engenharia Térmica

Resumo – Gás natural é o combustível utilizado em fornos de produção de óxido de zinco de várias empresas de pequeno porte clientes da Comgás. O presente trabalho constou do desenvolvimento do projeto básico de um trocador de calor de radiação para pré-aquecimento do ar de combustão pelos gases efluentes de forno de fusão de zinco da empresa Brazinco. A redução esperada no consumo de gás natural do forno com a instalação do trocador é de 32 %.

Palavras-chave: combustão de gás natural; recuperação de calor; rendimento térmico; trocador de calor; pré-aquecimento do ar de combustão

Introdução - Objetivo do projeto

Na área de concessão da Comgás, várias empresas relativamente pequenas produzem óxido de zinco através de processo industrial no qual o gás natural é o insumo energético principal. A parte principal do processo é aquela em que lingotes de zinco são fundidos em forno do tipo cadinho. Os gases de combustão exauridos do forno são descarregados sem qualquer recuperação de energia na atmosfera, por meio de uma chaminé.

Uma indústria típica desse setor consome cerca de 30.000 m³/mês de gás natural. Algumas possibilidades para recuperação dessa energia não aproveitada podem ser vislumbradas, mas a principal delas é o pré-aquecimento do ar de combustão.

O objetivo deste projeto foi o desenvolvimento conceitual e otimização de sistema de recuperação de energia de forno do tipo cadinho, em operação na empresa Brazinco Indústria de Pigmentos Ltda.

Desenvolvimento

O trabalho foi desenvolvido através da realização de um conjunto de atividades apresentadas a seguir.

Visita técnica à Brazinco

Foi realizada uma visita técnica à Brazinco para conhecimento das instalações.

A empresa possui três fornos de cadinho (Figura 1), dos quais dois operam regularmente 24 horas por dia, enquanto o terceiro é um forno reserva. No processo, o zinco metálico é introduzido em lingote no cadinho de grafite (Figura 2).



Figura 1 – Fornos da Brazinco



Figura 2 – Cadinho de grafite

Os gases de combustão circulam externamente ao cadinho, transferindo a taxa de calor necessária à fusão dos lingotes. Parte da energia necessária à fusão é fornecida pela própria oxidação do zinco com o ar atmosférico e a queima de gás natural é feita apenas para complementar a carga térmica demandada. Depois de circular pelo canal anular formado externamente pelo refratário do forno e, internamente, pela parede externa do cadinho,

os gases de combustão saem do forno a cerca de 1.100 °C e se dirigem-se à chaminé de tiragem natural.

No ritmo de produção normal de cada forno de cadinho, são adicionados cerca de 420 kg de zinco a cada 6 horas (Figura 3). A produção diária de óxido de zinco é de aproximadamente 2.000 kg. O sistema de combustão do forno é dotado de um queimador de gás natural e todo o ar de combustão é proveniente de uma linha pressurizada por ventilador. A regulagem da vazão de gás natural é feita manualmente através de uma válvula de agulha, situada na parte traseira do corpo do queimador. A vazão de ar é fixa. Não há regulagem nem monitoramento do excesso de ar.



Figura 3 – Alimentação do forno

Levantamento experimental

Durante 48 horas, correspondente a 4 ciclos com 6 h de duração cada, foi realizado um conjunto de medições na Brazinco (Figura 4).



Figura 4 – Medições na Brazinco

O objetivo do monitoramento foi levantar as condições operacionais típicas do forno visando o dimensionamento de um trocador de calor para ser instalado na chaminé com a função de pré-aquecimento do ar de combustão. Foram medidas as seguintes variáveis: perfil de consumo do gás natural ao longo do ciclo do forno, excesso de ar de combustão, pressão efetiva na saída da câmara de combustão, temperatura dos gases de combustão na saída da câmara do forno e produção do forno.

Balanço de energia no forno

A equação (1) apresenta o balanço de energia do forno cadinho.

$$\underbrace{\dot{E}_{gn} + \dot{E}_{ar}}_{\text{Entradas de energia}} = \underbrace{\dot{E}_{gases} + \dot{Q}_{util} + \dot{Q}_{perdas}}_{\text{Saídas de energia}} \quad (1)$$

onde

E_{gn} : potência térmica provida pela queima de gás natural.

E_{ar} : potência térmica provida pela energia interna do ar de combustão.

E_{gases} : fluxo energético correspondente à energia interna dos gases de combustão à saída do forno.

Q_{util} : taxa de calor transferido à carga do forno.

Q_{perdas} : taxa de calor transferido ao ambiente pelas paredes do forno ("perdas").

A equação (1) permite determinar a influência da temperatura do ar de combustão sobre o consumo de gás natural. Admitindo que a "perda" de calor para o ambiente e a carga térmica útil do forno se mantenham inalteradas, assim como a temperatura dos gases à saída do forno, a elevação da parcela " E_{ar} " decorrente da elevação da temperatura do ar de combustão permite diminuir " E_{gn} " e, conseqüentemente, a vazão de gás natural. O gráfico da Figura 5 apresenta os resultados dos cálculos efetuados para várias temperaturas de pré-aquecimento do ar.

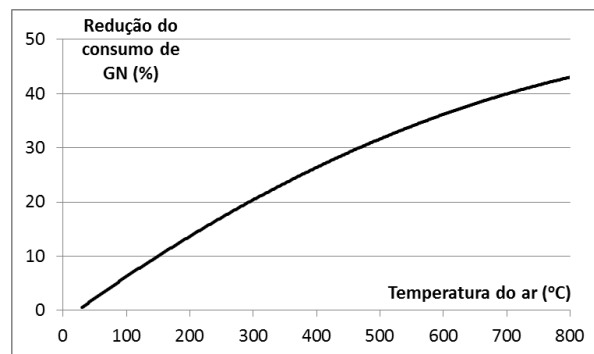


Figura 5 – Temperatura de pré-aquecimento do ar versus redução do consumo de gás natural

Para temperatura de 800 °C, a redução de consumo de gás natural é de cerca de 43 %. Não obstante, foi feita uma consulta ao fabricante do queimador do forno, que sugeriu a temperatura máxima de 500 °C, por restrições relacionadas aos materiais utilizados no modelo de queimador disponível. Nesse caso, a redução de consumo estimada é de cerca de 32 %.

A Figura 6 mostra as temperaturas esperadas dos gases e do ar de combustão com a instalação do trocador.

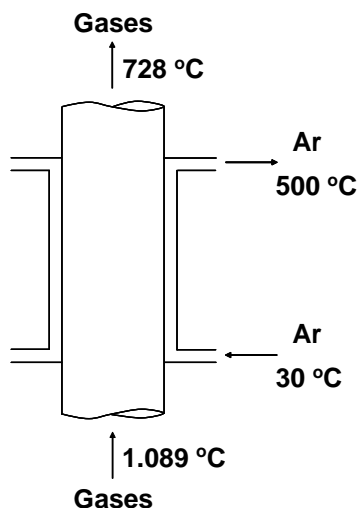


Figura 6 – Temperaturas no trocador

Projeto do pré-aquecedor de ar

O trocador de calor escolhido foi o denominado “de radiação”, que se constitui, basicamente, por dois tubos concêntricos onde pelo tubo central circulam os gases de combustão e pelo espaço formado entre os dois tubos, o ar de combustão.

A definição por esse tipo de trocador foi para que o fluxo de gases tivesse pequena perda de carga, evitando assim a necessidade de instalação de um exaustor pelo qual circulariam gases de alta temperatura, encarecendo o equipamento. Além disso, a elevada diferença de temperatura entre os gases e o ar contribui para elevar o coeficiente de transferência de calor.

Foi elaborado um modelo matemático para o dimensionamento do trocador. Os principais dados dimensionais do trocador são mostrados na Tabela 1.

Consulta à empresa de engenharia

Com o propósito de avaliar restrições e peculiaridades construtivas, foi contatada uma empresa de engenharia (B&S Engenharia Ltda.), que se posicionou sobre a viabilidade de construção e instalação do sistema conceitualmente definido. Essa empresa foi

também consultada para uma cotação preliminar do trocador.

Tabela 1 – Principais dimensões do trocador

Parâmetro	Valor definido
Diâmetro nominal do tubo central (aço inox)	12 pol.
Diâmetro interno do tubo central	316 mm
Diâmetro externo do tubo central	323,9 mm
Espessura do vão do anel formado entre o tubo interno e o tubo externo para a passagem do fluxo de ar	8 mm
Diâmetro interno do tubo externo (aço corten)	339,9 mm
Diâmetro externo do tubo externo	349,4 mm
Espessura do isolamento térmico	3 pol.
Comprimento do trocador	6 m

Referências

- Hottel, H. C.; Sarofim, A. F. Radiative Transfer. New York: McGraw-Hill, 1967. 520 p.
- Incropera, F. P. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.
- Jen, L. C. Modelagem do escoamento e da troca de calor por radiação de um recuperador de calor siderúrgico. 1998. 80 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1998.
- Kern, D. Q. Processos de Transmissão de Calor. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S. A., 1980. 671 p.
- Kreith, F.; Bohn, M. S. Princípios de Transferência de Calor. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 623 p.
- Modest, M. F. Radiative Heat Transfer. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press, 2003. 822p.
- Telles, P. C. S. Tubulações Industriais. 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 492 p.