



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE DAS PERDAS DE CALOR DE UM FORNO ABÓBADA COM ISOLANTE TÉRMICO

Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcanti, alexandre.mecanica@gmail.com¹

José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹

Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹

Dabney Sérgio Guedes de Moraes, dabneysergio@hotmail.com¹

Rodrigo Marcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹

Hallyjus Alves Dias Bezerra, hallyjudias@yahoo.com.br¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Av. Sen. Salgado Filho – Departamento de Engenharia Mecânica – Laboratório de Mecânica dos Fluidos - CEP 59072-970 - Caixa Postal 1524 – Natal - RN

Resumo: *Os produtos cerâmicos do tipo telha, tijolo estrutural, lajotas e casquilhos eram queimados anteriormente através de um forno sem revestimento, que apresentava grande dissipação térmica através das suas paredes, a qual ocasionava uma diminuição na sua eficiência térmica. Este fato gerava diversos fatores negativos para a empresa, tais como: desconforto térmico nos trabalhadores responsáveis pelo forno, aumento do consumo de energia para atingir a temperatura de queima de 900° C, gerando assim, um aumento no custo do produto final. Para solucionar este problema foi inserido na abóboda do forno um isolante térmico tipo sanduíche composto de duas camadas de argila e outra de lâ de vidro. As medições de temperaturas foram feitas através de termopares inseridos na parte interna e parede externa do forno, onde se verificou através de cálculos uma diminuição do fluxo de calor de dentro para fora do forno ocasionando assim uma diminuição das perdas de calor do sistema, melhorando conseqüentemente a sua eficiência térmica.*

Palavras-chave: *eficiência térmica, temperatura, isolante térmico, desconforto térmico*

1. INTRODUÇÃO

Para se obter um produto cerâmico de boa qualidade, ou seja, um produto com baixa porosidade, baixa capacidade de absorver água e uma ótima resistência mecânica, é preciso um bom controle térmico do sistema. Os fornos abóboda da cerâmica Tavares, objeto deste estudo, sempre apresentaram perdas de calor na sua região interna superior durante o processo de queima desses produtos, pois o mesmo tinha como resistência térmica apenas uma parede de tijolos semi refratários com espessura de 20 cm e mais uma camada de argila úmida de 3 cm inserida na parede. Tal camada de revestimento tinha a função de reter mais ainda o calor dentro do forno. Entretanto, com o passar do tempo, observou-se que a adição desse revestimento como uma forma de minimizar as perdas de energia não trouxe bons resultados, pois a variação do fluxo sem e com revestimento foi pequena.

Para isto, pensando em uma forma de minimizar essas perdas de calor decorrentes de um gradiente de temperatura alto entre a região interna e externa do forno, de diminuir o consumo de combustível, e conseqüentemente, de reduzir o custo do produto final, acrescentou-se uma camada de lâ de vidro e uma camada extra de argila úmida misturada com cinzas que foram reaproveitadas da própria queima do forno. As cinzas da lenha possuem propriedades térmicas isolantes que misturadas com a argila úmida em proporção adequada pode ser aplicada sobre a superfície externa da abóboda, com espessuras que podem atingir até 10 cm (MESSIAS 1996). Esses fornos chamados por muitos de fornos intermitentes de chama descendente são fornos que propiciam uma queima mais uniforme e mais econômica com relação ao consumo de lenha, diferentemente dos fornos caieiras, que além de serem de baixa produtividade, também possuem uma alta dissipação de calor, fato este que leva os fornos abóbodados a serem um dos mais

utilizados na indústria cerâmica. Vale salientar que o controle térmico desses fornos é feito através de termopares inseridos na cúpula do forno, cuja temperatura é lida através de um equipamento de aquisição de dados.

2. FORNO ABÓBODA

O forno abóboda em estudo possui seis cabines de queima, seis cinzeiros e duas portas de entrada, sendo que as cabines de queima são construídas de bloco cerâmico maciço refratário, a superfície superior esférica de bloco cerâmico maciço semi-refratário e a parede cilíndrica de bloco cerâmico maciço.

Esses fornos funcionam pela diferença de pressão existente entre o interior do forno e a altura da chaminé, onde as correntes de convecção são quem fazem com que haja circulação de temperatura em todas as peças. Nele se obtém maior economia devido ao fato de a temperatura ficar aprisionada, diferentemente do que acontece nos fornos caieiras, que perde grande quantidade de calor, consumindo uma maior quantidade de lenha por milheiro. Com essa conservação da temperatura pode-se diminuir o consumo de lenha e com tudo isso o material fica mais tempo sujeito as altas temperaturas, fazendo com que haja maior sinterização das peças. Isto ocasiona uma menor porosidade e uma maior resistência mecânica. Segundo (SOUZA 2008), essa transferência de calor de dentro para fora do forno é importante quando a fonte térmica é desligada, pois os mesmos já se encontram sinterizados. Essa perda de calor é necessária para que os produtos sejam resfriados até uma temperatura capaz de serem retirados do forno para a comercialização.



Figura 1. Vista frontal do forno abóboda

Os produtos passam 40 horas queimando em temperatura monitorizada e controlada por aparelhos específicos que enviam em períodos de 5 em 5 segundos um sinal a um software. Dessa forma, tem-se um sistema de queima de qualidade excelente nos produtos, que é comprovada através de ensaios mecânicos em um laboratório interno da empresa Cerâmica Tavares. Segundo o (CTGAS), o custo direto aproximado, por fornada, em um forno intermitente para 8.000 tijolos de 190 mm x 190 mm x 90 mm é em média de R\$ 200,00 com lenha. Para que as peças de cerâmica vermelha cheguem ao produto acabado, é necessário que se passe por varias etapas de processo, sendo a principal etapa, a de queima do produto (sinterização) como também a de resfriamento. No caso dos blocos a porosidade tem que ser controlada. Segundo a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) o bloco tem que ter uma absorção que varia entre 8 e 22 % . Caso algum bloco tenha absorção menor que 8% implicará na junção do reboco com o bloco havendo assim um desprendimento do mesmo na hora da retirada. Já uma absorção maior que 22% o bloco não chegará a uma resistência mecânica que atenda aos esforços solicitados chegando a até desmoronar a estrutura. Portanto veja a importância que devemos ter no controle da queima.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste presente trabalho foram analisadas as perdas de calor existentes em um forno do tipo abóboda da empresa Cerâmica Tavares, que fica localizada na comunidade rural de Juazeiro, á 14 km Parelhas/RN, região do Seridó. A mesma produz diversas peças de cerâmicas vermelhas como telhas, lajotas, tijolo e casquilho. Foi utilizado na parte superior esférica do forno um isolante térmico capaz de

diminuir as perdas de calor do sistema, já que nesta parte superior do interior do forno a temperatura é muita alta devido a própria configuração do forno. O isolante é composto de três camadas com formato sanduíche: argila + cinzas provenientes da queima da lenha, lã de vidro e mais outra camada de argila misturada com cinzas. As temperaturas foram medidas na parte cilíndrica e esférica do forno em três posições distantes entre si de 120°. Também foi registrada a velocidade do vento, a umidade relativa do ar e a emissividade na parede externa. Todas as medidas de temperatura foram realizadas durante o patamar de queima (900°C) dos produtos, temperatura essa em que o forno entra em regime estacionário. A instrumentação utilizada nas medições foram as seguintes: Termopar tipo K (Cromel – Alumel); um Anênometro Ventoinha Digital para a medição da velocidade do vento com range de 0,4 à 30 m/s, resolução de 0,1 m/s; um Pirômetro Ótico Polimed para medição de emissividade com resolução ótica de 8:1 e com range de 0,1 a 1; um Termômetro Minipa KIT 306 com range de -50 à 1300 °C, resolução de 0,1 °C e um Termohigrometro digital, amplitude 25% RH à 95% RH. A calibração dos termopares, como também a do equipamento de aquisição foi feita no laboratório de metrologia da UFRN.



Figura 2. Parte superior do forno abóboda onde é mostrado o isolante térmico aplicado

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os resultados obtidos nos experimentos, foram feitos os cálculos das perdas de calor parcial e total do forno abóbada. Não foram obtidos neste trabalho dados da variação de fluxo de calor do forno ao longo do tempo, já que a análise do fluxo foi feita no período em que o forno estava trabalhando em regime permanente, ou seja, fluxo constante. Logo, como no regime permanente o fluxo de calor por condução na parede é igual ao fluxo de calor por radiação e convecção, então foi calculada apenas a energia radiativa e convectiva, já que foi medida a temperatura externa da mesma. As equações utilizadas para o cálculo da energia total perdida no forno foram as seguintes.

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)De^3}{\nu\alpha} \quad (1)$$

$$\bar{h} = \left(2 + \frac{0,589Ra^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{4/9}} \right) \frac{K_f}{De} \quad (2)$$

$$q_c = \bar{h}_c A_s (T_s - T_\infty) \quad (3)$$

$$q_r = \varepsilon\sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (4)$$

$$q_t = q_c + q_r \quad (5)$$

Através da Eq. (2) foi encontrado o valor do coeficiente convectivo de $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. A umidade relativa do ar local medida foi de 65%, a temperatura ambiente registrada foi de 26°C e a emissividade do forno registrada foi de 0,96. A tabela 1 abaixo mostra os valores das perdas por região e o tipo de perda.

Tabela 1. Valores das Perdas de energia do forno abóbada com revestimento

| Tipo e local da perda | Energia perdida (W) |
|---|---------------------|
| Perda de energia convectiva na parede cilíndrica inferior do forno | 1.727 |
| Perda de energia radiativa na parede cilíndrica inferior do forno | 4.559,2 |
| Perda de energia total na parede cilíndrica inferior do forno | 6.286,2 |
| Perda de energia convectiva na parede esférica da cúpula do forno | 25.323 |
| Perda de energia radiativa na parede esférica da cúpula do forno | 117.155 |
| Perda de energia total na parede esférica da cúpula do forno | 142.478 |
| Perda de energia total do forno (envolvendo toda a área superficial, cilíndrica + esférica) | 148.764,2 |

A diferença entre as temperaturas superficiais externas da cúpula (166°C) e da parede cilíndrica (40°C) é devida não somente aos valores da espessura das paredes, mas também por a parede cilíndrica ser feita de tijolo comum e a esférica de tijolo semi refratário, pois é na região superior interna do forno onde se encontra uma maior temperatura, devido a própria configuração do mesmo. O desvio padrão das temperaturas na superfície externa da cúpula e na parede cilíndrica são, respectivamente, $8,48^\circ\text{C}$ e $3,65^\circ\text{C}$. A velocidade do vento em torno do forno é em média $0,8\text{m/s}$. A parede cilíndrica possui uma espessura de 1 m e a parede da cúpula em torno de 30 cm, sendo 20 cm de tijolo semi refratário e 10 cm de isolante térmico. A área superficial da região cilíndrica e da cúpula esférica (abóbada) do forno é de $69,08 \text{ m}^2$ e $74,48 \text{ m}^2$ respectivamente. Para se obter o custo do aumento da espessura foi feito um cálculo aproximado de quanto se gastaria em lã de vidro para ser inserido na manta. Como a área dessa cúpula é aproximadamente $74,48 \text{ m}^2$ e o preço do metro quadrado na manta de lã de vidro com espessura de 3 cm gira em torno de R\$ 8,00, então foi gasto no isolamento térmico da cúpula esférica do forno em torno de R\$ 596,00, levando em consideração que a camada de argila que é inserida na manta tem custo praticamente zero, já que a mesma é abundante no local. Portanto, pode se dizer que o custo total para se aumentar a espessura da parede é baixo, haja vista que o retorno do investimento se dará em pouco tempo.

5. CONCLUSÕES

- A perda de calor por convecção tanto na região cilíndrica como na esférica é muito baixa comparada às perdas de calor por radiação, isto pelo fato da velocidade do vento próximo ao forno ser baixa ($0,8\text{m/s}$).
- Tanto na região cilíndrica como na região esférica, a perda de calor por radiação é maior que a perda de calor por convecção, isto pode ser explicado pelo fato da temperatura superficial na radiação está elevada a quarta potência.
- Um aumento da espessura da parede da cúpula, diminui a perda de calor na superfície tanto por convecção como por radiação, pois o aumento da mesma faz aumentar a resistência térmica ao fluxo de calor.
- A razão entre a energia radiativa e a energia convectiva é menor na parede cilíndrica do que na parede esférica.
- Os custos para se obter um aumento da espessura são baixos.
- A perda de energia total na parede esférica da cúpula do forno é aproximadamente 22 vezes maior que a perda de energia total na parede cilíndrica inferior do forno.

6. REFERÊNCIAS

- Abreu, Y V., GUERRA, S. M. G. 2000, “Indústria de Cerâmica no Brasil e o Meio Ambiente. Chile: IV Congresso Nacional de Energia”.
- Alexandre, J.; Toledo, R.; Gomes, M.; Vargas, H., 2006, “Avaliação de Perdas de Calor em um Forno Modelo Hoffmann”, Anais do 50º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Blumenau-SC, cdrom ref: 5-26.
- Incropera, F.P., De Witt, D.P., 1998, “Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa”, LTC Editora, Rio de Janeiro, Brasil.
- Messias, L.S.O., 1996, “Recuperação de Gases Quentes em Fornos Intermitentes. Aplicação na Indústria de Cerâmica”, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A, Cidade Universitária Armando Salles de Oliveira, Butantã, São Paulo, SP.
- Souza, J.C.F., Filho, M.O.T., Mendes, J.U.L., Kalionara, M.F.M., Freitas, M.K.M., Lima, R.S., “Avaliação Térmica de uma Camada de Material Isolante À Base de Cinzas Obtidas em Fornos Cerâmicos”, Centro federal de Educação do RN, Departamento de Engenharia Mecânica, UFRN, Cerâmica Tavares, Parelhas, RN.
- Tapia, R.S.E.C.; Vilar, S.C., 2000, “Manual para a Indústria de Cerâmica Vermelha”, Série Uso Eficiente de Energia, Ed. SEBRAE, Rio de Janeiro, Brasil.
- Henrique JR., M. F. Manual de Conservação de Energia na Indústria Cerâmica Vermelha. Rio de Janeiro: INT, 1993.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos neste trabalho.

ANALYSIS OF THE HEAT LOSS IN A VAULT STYLE OVEN WITH LAYERING

Marcos Alexandre de Vasconcelos Cavalcanti, alexandre.mecanica@gmail.com¹
José Ubiragi de Lima Mendes, ubiragi@ct.ufrn.br¹
Milson Oliveira da Trindade Filho, milson_trindade@hotmail.com¹
Dabney Sérgio Guedes de Moraes, dabneysergio@hotmail.com¹
Rodrigo Marcio da Silva, rodrigomarcio@yahoo.com.br¹
Hallyjus Alves Dias Bezerra, hallyjusdias@yahoo.com.br¹

¹Federal University of Rio Grande do Norte, Sen. Salgado Filho Avenue – Department of Mechanical Engineering – Laboratory of Mechanical Fluids – Zip Code 59072-970 – Box office 1524 – Natal - RN

Abstract: *Ceramic products such as structural and facing bricks, tile and bearings were previously burned throughout an oven that had no inside layering. There was an enormous thermal dissipation through its walls, which caused a decrease of its thermal efficiency. This used to be responsible for several negative factors in the daily routine of a factory, as for example, an uncomfortable environment for those who worked by the ovens, an increase in the consumption of electric power to reach the burning temperature of 900° C and therefore, also an increase in the final cost of the product. In the attempt to solve this problem, a thermal insulation was introduced inside the arch designed roof top of the oven. The thermal insulation had a sandwich shape, which means that it was made of two layers of clay and one layer of glass wool. The temperature measurements were made through thermocouples introduced in the inside and in the outside walls of the oven. The numbers obtained through specific formulas and the final results showed that there was a decrease of thermal flow from inside the oven to its outside, causing a decrease of heat loss through the system and consequently improving its thermal efficiency.*

Key-words: *thermal efficiency, temperature, thermal insulation, thermal discomfort.*