

## **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM FORNO PARA TRATAMENTO TÉRMICO DE AÇOS**

**FERNANDO MONTANARE BARBOSA<sup>1\*</sup>, CASSIMA ZATORRE ORTEGOSA<sup>2</sup>  
DANIEL JOSÉ LAPORTE<sup>3</sup>; FABIANO PAGLIOSA BRANCO<sup>4</sup>; BRUNO DE PAULA ROSA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Dr. em Engenharia Mecânica, UCDB, Campo Grande-MS, montanare@gmail.com;

<sup>2</sup>Ms. em Engenharia da Computação, IFMS, Campo Grande-MS, cassima@gmail.com;

<sup>3</sup>Ms. em Engenharia Mecânica, UCDB, Campo Grande-MS, daniellaporte@gmail.com;

<sup>4</sup>Ms. em Engenharia Mecânica, UCDB, Campo Grande-MS, pagliosa@gmail.com;

<sup>5</sup>Ms. em Engenharia Mecânica, UCDB, Campo Grande-MS, probrunorosa@gmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** O tratamento térmico nos aços é um processo importante para alterar as propriedades do material, onde para se obter a propriedade desejada, o material é aquecido e resfriado em condições controladas. Para esse tipo de aquecimento utiliza-se um forno especial onde é possível aumentar e controlar a temperatura necessária para atingir a temperabilidade desejada para o aço. Neste trabalho serão apresentados os passos necessários para projetar e construir um forno, de baixo custo, para tratamento térmico de têmpera dos aços, visando o uso de materiais com propriedades de isolamento térmico e resistência elétrica capazes de atender as especificações necessárias para garantir o seu bom desempenho. Tal forno utilizará como fonte de calor a resistência elétrica, pois seu controle para manter a temperatura é mais simples que uma fonte de calor a gás. É importante o uso dos isolantes para um melhor desempenho térmico, pois com uma isolação eficaz, uma potência menor das resistências pode ser utilizada para atingir a temperatura desejada. Para a montagem do forno foram utilizados os seguintes materiais: chapa de aço 1020, manta de fibra de cerâmica, concreto refratário, resistência elétrica Kanthal A-1, dobradiças, parafusos de fixação e termostato. A elaboração do projeto auxiliará significativamente no ensino das disciplinas de materiais do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB).

**PALAVRAS-CHAVE:** Têmpera, forno elétrico, tratamento térmico.  
neste trabalho.

### **DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OVEN FOR THERMAL STEEL TREATMENT**

**ABSTRACT:** The heat treatment in steels is an important process to change the properties of the material, where to obtain the desired property, the material is heated and cooled under controlled conditions. For this type of heating a special furnace is used where it is possible to increase and control the temperature required to achieve the desired temperature for the steel. In this work, the necessary steps will be presented to design and build a low cost furnace for the heat treatment of steel tempering, aiming at the use of materials with thermal insulation properties and electrical resistance able to meet the specifications necessary to guarantee its good Performance. Such an oven will use the electric resistance as heat source, since its control to maintain the temperature is simpler than a source of gas heat. It is important to use the insulation for a better thermal performance, because with an effective insulation, a lower power of the resistors can be used to reach the desired temperature. For the furnace assembly the following materials were used: 1020 steel plate, ceramic fiber blanket, refractory concrete, Kanthal A-1 electrical resistance, hinges, fixing screws and thermostat. The preparation of the project will help significantly in the teaching of the disciplines of materials of the Mechanical Engineering course of the University Catholic of Dom Bosco (UCDB).

**KEYWORDS:** Tempering, electric oven, heat treatment.

## INTRODUÇÃO

Na engenharia os materiais são de grande importância, pois são as estruturas que formam o corpo da máquina ou do projeto. Porém, nem sempre encontramos estes materiais na forma desejada (propriedades físicas, mecânicas e químicas), para isso são empregados os tratamentos térmicos, que são mais aplicados nos aços de baixa liga e aços carbono. Os principais tipos de tratamento térmico são: têmpera, normalização, recozimento, revenimento; e também os possíveis tratamentos que modificam as propriedades químicas superficiais que são: nitretação e cementação. (Colpaert, 2008).

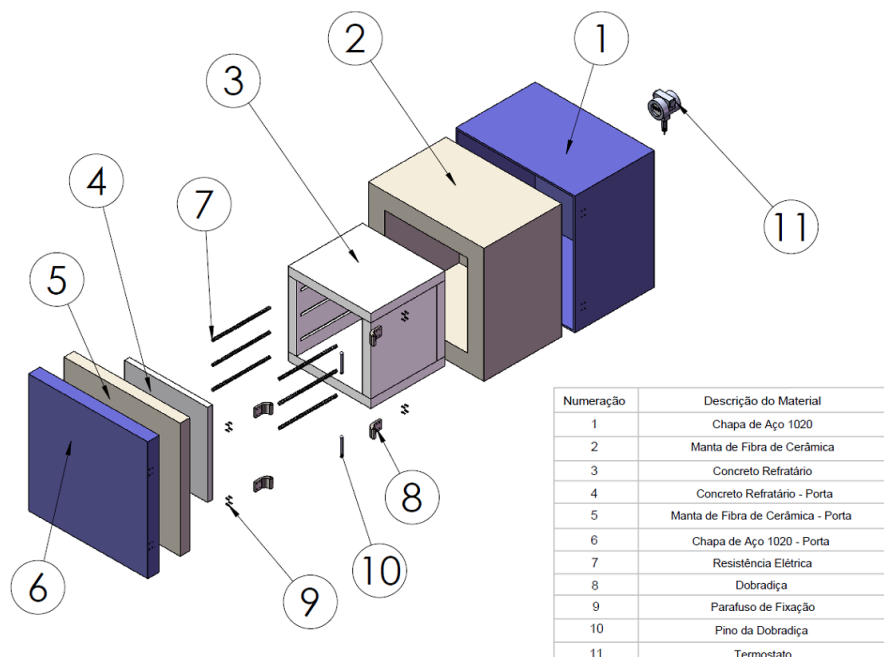
Os tratamentos térmicos possuem um papel muito importante na alteração dos materiais, evidentemente pelas inúmeras mudanças que ocorrem no material tais como: melhora a resistência à corrosão, aumento da ductilidade, aumento da usinabilidade, remoção de tensões internas, aumento da dureza e melhorias nas propriedades de corte. (Chiaverini, 1914).

Por essas mudanças de propriedades, objetiva-se projetar e construir um forno para estes tipos de tratamentos térmicos, utilizando conceitos de transferência de calor por condução, convecção e radiação. A partir desses conceitos, é possível determinar as dimensões e seu rendimento, devido à potência e a capacidade de armazenamento de isolar o calor.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto do forno é apresentado pela figura esquemática (Figura 1) ilustrada abaixo.

Figura 1. Imagem Explodida do Forno



Os componentes para construção do forno são listados a seguir:

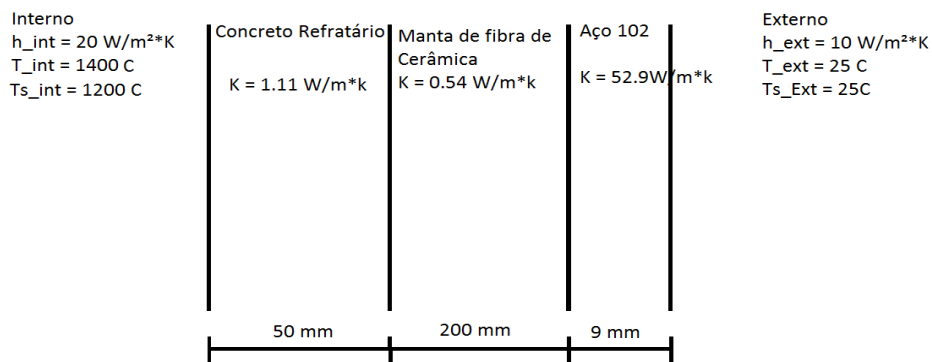
- Resistência Elétrica: A resistência escolhida foi a Kanthal A-1 de 1,7 mm de diâmetro, pois com menor diâmetro maior a resistência elétrica por unidade de comprimento, e 30 cm de comprimento em cada resistência, tal tamanho foi determinado dessa forma pois possibilita um melhor manuseio dentro do forno. A resistência elétrica, em relação ao fornecimento de calor, se for utilizada com tensão máxima (220 V), terá uma potência muito grande, então para ter uma menor potência deverá ser reduzida a tensão. A potência estabelecida para o forno foi de 50 kW;
- Manta de fibra de cerâmica: A fibra de cerâmica servirá para isolar o calor perdido pelas placas de concreto refratário. A manta de fibra de cerâmica possui um limite de calor de 1425 °C, também é uma temperatura que pode ter um uso contínuo. E ponto de fusão muito elevado de 1760°C. Tais dados são de grande importância como condutibilidade térmica e

densidade do material. A grande vantagem da manta de fibra de cerâmica é a de ser um material muito maleável, sendo facilmente encaixada;

- Concreto Refratário (Kaolite 3000 BR): Assim como a resistência elétrica e a manta de fibra de cerâmica, o outro material que estará em contato direto com as altas temperaturas no interior do forno é o concreto refratário, sendo o principal elemento para conter o calor dentro do forno. Ele possui condutibilidade térmica de  $1,11 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a uma temperatura de  $1371 \text{ }^\circ\text{C}$ . Sua temperatura máxima de uso contínuo é de  $1815 \text{ }^\circ\text{C}$ . É importante ressaltar que um fator de grande importância do concreto refratário é que ele suporta as pressões exercidas no interior do forno devido ao aquecimento do ar no interior deste;
- Chapa de aço 1020 de 5 mm: A chapa de aço 1020 de 9 mm de espessura, será a parte externa do forno, é nesta parte em que serão acoplados os demais elementos do forno já citados acima. Foi escolhido o material aço 1020, pois é um material de fácil acesso, custo baixo e excelente soldabilidade.
- Para a fixação da manta de fibra de cerâmica e até mesmo a resistência elétrica serão utilizados pinos de cerâmica.

Para determinar as dimensões do forno foi utilizado o método de tentativa e erro. Foram determinados alguns valores, tais como: as espessuras das paredes, os coeficientes de transferência de calor por convecção, as temperaturas (a desejada no interior do forno de  $1400^\circ\text{C}$ , e  $25^\circ\text{C}$  ambiente). A condutibilidade térmica de cada material foi fornecido pelo fabricante. Esses dados são mostrados (Figura 2) a seguir:

Figura 2. Circuito térmico



Para estabelecer se os valores das espessuras das paredes estão adequadas de modo para manter o calor no interior do forno, utilizou-se das equações (Equação 1) e (Equação 2) para determinar a potência. No entanto, para utilizar as equações é preciso definir a resistência térmica equivalente do meio interno, externo e das paredes, assim é possível achar a potência dissipada, pois já são conhecidas as temperaturas internas e externas.

$$R_{equivalente} = R_{conv1} + R_{cond1} + R_{cond2} + R_{conv2} \quad (1)$$

$$R_{equivalente} = \left( \frac{1}{h_1 * A} \right) + \left( \frac{L}{k_1 * A} \right) + \left( \frac{L}{k_2 * A} \right) + \left( \frac{1}{h_2 * A} \right) \quad (2)$$

Para realizar esse cálculo foi utilizada a ferramenta Engineering Equation Solver (EES), que possibilita a implementação de um script, (Figura 3), capaz de determinar a potência desejada.

Figura 3. Script dos cálculos utilizando a ferramenta EES

```

EES Commercial Version: C:\Users\JGOR\Desktop\Forno\Forno 2.EES - [Equations Window]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
T_int = 1400+273 [K]
Ts_int = 1200+273 [K]
T_ext = 25+273 [K]
Ts_ext = 25+273 [K]
h_int = 20 [W/m^2*k]
h_ext = 10 [W/m^2*k]
k_1 = 1,11 [W/m*k]
k_2 = 0,54 [W/m*k]
k_3 = 52,9 [W/m*k]
L_2 = 200/1000 [m]
L_3 = 9/1000 [m]
L = 50/1000 [m]
A = 0,16 [m^2]

hr_int = 0,9*5,67*10^(-8)*(T_int+Ts_int)*(T_int^2+Ts_int^2)
hr_ext = 0,9*5,67*10^(-8)*(T_ext+Ts_ext)*(T_ext^2+Ts_ext^2)
q = (1400-25)/(((1/(h_int*A))^(-1)+(1/(hr_int*A))^(-1))^(-1)+(L/(k_1*A)+(L_2/(k_2*A))+((1/(h_ext*A))^(-1)+(1/(hr_ext*A))^(-1))^(-1))

```

A partir da implementação do script, é possível observar as equações (Figura 4).

Figura 4. Montagem das equações

```

EES Commercial Version: C:\Users\JGOR\Desktop\Forno\Forno 2.EES - [Formatted Equations]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
h_ext = 10 [W/m^2*k]
k_1 = 1,11 [W/m*k]
k_2 = 0,54 [W/m*k]
k_3 = 52,9 [W/m*k]
L_2 = 200 / 1000 [m]
L_3 = 9 / 1000 [m]
L = 50 / 1000 [m]
A = 0,16 [m^2]
hr_int = 0,9 * 5,67 * 10^-8 * [T_int + Ts_int] * [T_int^2 + Ts_int^2]
hr_ext = 0,9 * 5,67 * 10^-8 * [T_ext + Ts_ext] * [T_ext^2 + Ts_ext^2]
q = (1400 - 25) / ( [ (1 / (h_int * A))^-1 + (1 / (hr_int * A))^-1 ]^-1 + L / (k_1 * A) + L_2 / (k_2 * A) + [ (1 / (h_ext * A))^-1 + (1 / (hr_ext * A))^-1 ]^-1 )

```

Assim, logo após esta implementação, permitiu a obtenção da potência desejada. Os resultados são apresentados a seguir (Figura 5).

Figura 5. Resultados obtidos

```

EES Commercial Version: C:\Users\JGOR\Desktop\Forno\Forno 2.EES - [Solution]
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
Unit Settings: [kJ]/[C]/[kPa]/[kg]/[degrees]
A = 0,16 [m^2]
hr_ext = 5,402
hr_int = 797,7
h_ext = 10 [W/m^2*k]
h_int = 20 [W/m^2*k]
k_1 = 1,11 [W/m*k]
k_2 = 0,54 [W/m*k]
k_3 = 52,9 [W/m*k]
L = 0,05
L_2 = 0,2
L_3 = 0,009
q = 456,8
Ts_ext = 298
Ts_int = 1473
T_ext = 298
T_int = 1673

```

Ao analisar o resultado da potência "q", é possível observar que é um valor baixo, consequentemente conclui-se que as espessuras das paredes são adequadas para a construção do forno.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A montagem do forno seguiu a sequência apresentada na Figura 1, ou seja, primeiro foi fabricado a chapa de aço, depois a manta de fibra de cerâmica, concreto refratário, concreto refratário porta, manta de fibra cerâmica – porta, chapa de aço 1020 – porta, resistência elétrica, dobradiça, parafuso de fixação, pino da dobradiça e termostato. Abaixo (Figura 6) (Figura 7) são ilustrados o projeto final do forno e o forno construído.

Figura 6. Projeto do forno pronto

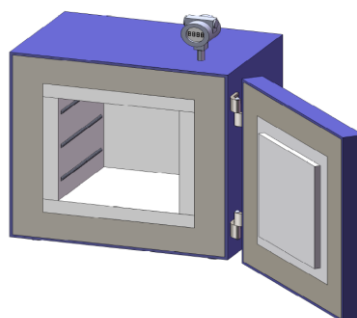


Figura 7. Forno construído



Para se alcançar o resultado esperado conforme o projeto proposto do forno para tratamento térmico, teve-se como objetivo a busca pela qualidade e o menor custo, utilizando materiais com propriedades de isolamento térmico e resistência elétrica capazes de atender as especificações necessárias, para garantir o seu bom desempenho.

## CONCLUSÕES

Durante o dimensionamento do forno para tratamento térmico, foram encontradas algumas dificuldades, tais como: o equacionamento do coeficiente de transferência de calor por convecção, onde os resultados obtidos não estavam conforme o resultado esperado, prejudicando assim a escolha dos materiais necessários para construção do forno e dificultando o andamento do projeto. Pode-se dizer que o auxílio de profissionais experientes na área térmica possibilitou alcançar os resultados apresentados pelo projeto.

O forno está sendo usado no Laboratório de Materiais da UCDB, auxiliando em diversas disciplinas através de ensaios de tratamentos térmicos e fundição de materiais.

## AGRADECIMENTOS

A UCDB pelo financiamento do projeto

## REFERÊNCIAS

- Callister, W. Jr., 1999, "Ciência e engenharia de materiais: uma introdução", Editora LTC, 5ª edição, São Paulo, 589 p.
- Chiaverini, V., 1914, "Aços-Carbono e Aços-liga", McGraw-Hill, São Paulo.
- Colpaert, H., 2008, "Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns", Editora Edgard Blücher Ltda, 4ª Edição, São Paulo.
- Fundação Roberto Marinho, 2000, "Telecurso 2000 profissionalizante: mecânica: processos de fabricação", Globo, Vol. 1 e Vol. 4, São Paulo.
- Hibbeler, R. C, 2004, "Resistências dos materiais", Prentice Hall, 5. ed. São Paulo:, pp. 23-24.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., 2011, "Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa" Editora LTC, 6 Ed, Rio de Janeiro.