

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO TÉRMICO TRIDIMENSIONAL PARA ANÁLISE INVERSA DE PROBLEMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Marcelo R. Santos, Solidônio R. de Carvalho, Sandro M. M. de Lima e Silva

UFU - Universidade Federal de Uberlândia, FEMEC - Faculdade de Engenharia Mecânica,

LTCM - Laboratório de Transferência de Calor e Massa e Dinâmica dos Fluidos

Av. João Naves de Ávila, 2122, CEP 38408-100, Uberlândia, MG,

E-mail para correspondência: marcelorisan@yahoo.com.br

Introdução

Se o fluxo de calor ou histórias de temperatura na superfície de um sólido são conhecidas, então a distribuição da temperatura no interior do sólido pode ser encontrada, este é o chamado problema direto. Em muitas situações dinâmicas em transferência de calor, o fluxo de calor ou perfis de temperatura na superfície de um sólido de difícil acesso necessitam ser determinados. Isso pode ser feito aplicando-se o problema inverso, que consiste em um problema de otimização, onde busca-se minimizar um funcional que leve em conta as temperaturas experimentais em regiões acessíveis e as temperaturas induzidas por um determinado fluxo de calor, que se deseja calcular. Nota-se que a utilização de problemas diretos e inversos para encontrar a temperatura e o fluxo de calor podem ser aplicados na resolução de diversos problemas como por exemplo: a determinação do aporte de calor em um processo de soldagem. Uma vez medindo-se a temperatura na face oposta à soldagem, pode-se conhecer o aporte de calor efetivamente entregue à chapa. Esse trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo térmico tridimensional, que seja capaz de obter o campo de temperatura e o fluxo de calor em uma amostra de aço inoxidável AISI 316. O domínio é discretizado a partir de uma malha variável enquanto a técnica da Seção Áurea é usada para a determinação do fluxo de calor que flui para a placa. Uma vez obtido o fluxo de calor a partir da temperatura experimental medida em regiões acessíveis da placa, determina-se a temperatura em qualquer posição da placa através da solução do problema direto.

Metodologia

Neste trabalho apresenta-se uma metodologia que busca resolver um modelo tridimensional que é descrito por uma amostra plana homogênea sujeita a uma temperatura inicial T_0 onde um fluxo de calor transiente $\phi_1(t)$ é imposto na superfície superior, como mostrado na Fig. 1. As superfícies remanescentes são consideradas isoladas.

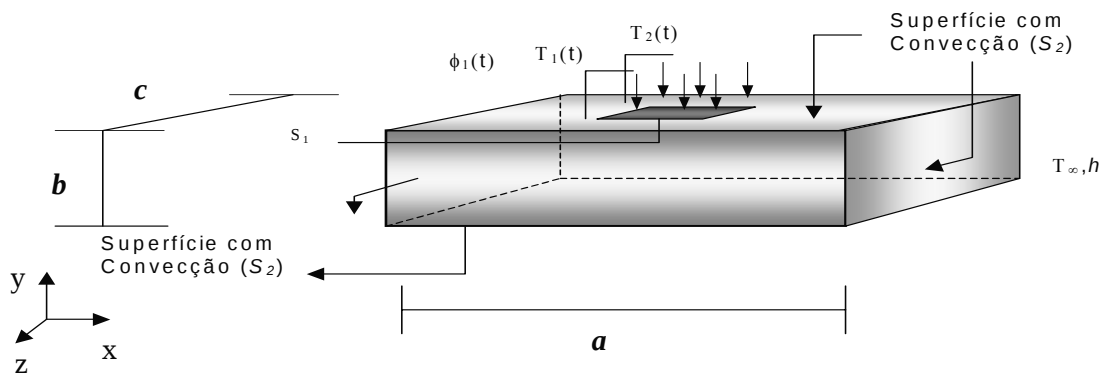


Figura 1 – Modelo térmico tridimensional

A equação da difusão de calor governante do problema mostrado na Fig. (1) é dada por:

$$\frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} \quad (1)$$

na região R ($0 < x < a$, $0 < y < b$, $0 < z < c$) em $t > 0$, sujeita à condição inicial: $T(x, y, z, 0) = T_0$ e às condições de contorno:

$$\begin{aligned}
-k \frac{\partial T(x, b, z, t)}{\partial \eta} &= \phi_1(t) \text{ em } S_1 \quad (0 \leq x \leq x_H, \quad 0 \leq z \leq z_H) \\
\frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial \eta} &= h(T - T_\infty) \quad 0 \text{ em } S_2 \quad (x, y, z \in S \mid (x, y, z) \notin S_1)
\end{aligned}
\tag{2}$$

onde S representa a superfície dada por $(0 \leq x \leq a, 0 \leq z \leq c)$ e x_H e z_H os limites da superfície S_1 onde é aplicada a fonte de calor e η é a normal para fora nas coordenadas x, y, z . Nesse trabalho a Eq.(1) é resolvida numericamente através do uso do método das diferenças finitas o que leva a resolução do problema a um sistema de equações algébricas lineares. Para resolver esse sistema linear utiliza-se o S.O.R (Método das Sobre-relaxações Sucessivas) que é um método iterativo que procura acelerar o processo de convergência do sistema linear. Já para calcular o fluxo de calor no modelo em questão faz-se uso da técnica de Problemas Inversos, que basicamente utiliza a técnica de otimização Seção Áurea com aproximação Polinomial. Nessa técnica busca-se minimizar uma função erro quadrático definida pelo quadrado da diferença entre as temperaturas medidas na amostra Y , e as temperaturas calculadas T pelo modelo teórico Eq.(1). Assim, a função objetivo a ser minimizada pode ser escrita como:

$$F = \sum_{i=1}^{nterm} [Y(x, y, z, t_i) - T(x, y, z, t_i)]^2
\tag{3}$$

onde F é a função objetivo de erro quadrático e $nterm$ representa o número de termopares usados.

Procedimento Experimental

Para a realização da montagem experimental utilizou-se basicamente os seguintes equipamentos: aquecedor resistivo, transdutor de fluxo de calor, termopares do tipo K, um micro computador, um sistema de aquisição, uma amostra de aço inox AISI 316 com dimensões de 450 x 202 x 1,2 mm, isolantes térmicos, fontes de alimentação. Os sinais medidos de temperatura e fluxo de calor foram adquiridos usando o sistema de aquisição de dados marca Agilent, modelo 34970 A, que está conectado a um micro computador. O transdutor de fluxo de calor tem dimensões de 50 x 50 x 0,4 mm e o aquecedor resistivo de 50 x 50 x 0,2 mm, sendo alimentado por uma fonte de tensão contínua MCE, modelo 10S1.

Resultados

Foram realizados 5 experimentos para um pulso de calor gerado em torno de 2000 W/m². Cada experimento teve um intervalo de tempo de 5,0 s com um total de 60 pontos. Verificou-se a repetibilidade dos resultados através de 5 testes realizados sob as mesmas condições. Para a solução do problema inverso usaram-se dois termopares, um na superfície frontal ao calor e outro na superfície oposta ao calor. As Figuras (1 e 2) mostram respectivamente as comparações entre o fluxo de calor experimental e o estimado e as temperaturas experimentais e as calculadas pelo modelo proposto acima. Nesse trabalho observou-se que os resíduos médios situaram-se em torno de 3,30 % para o fluxo de calor e de 2,09% para as temperaturas.

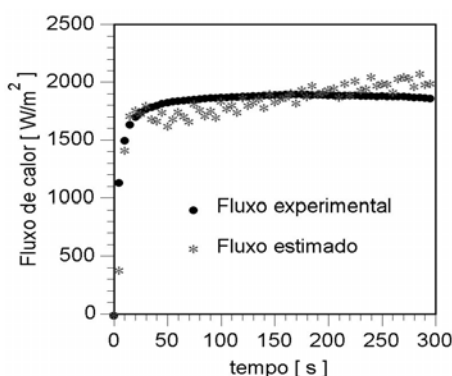


Figura 1 – Comparação do fluxo estimado com o fluxo experimental.

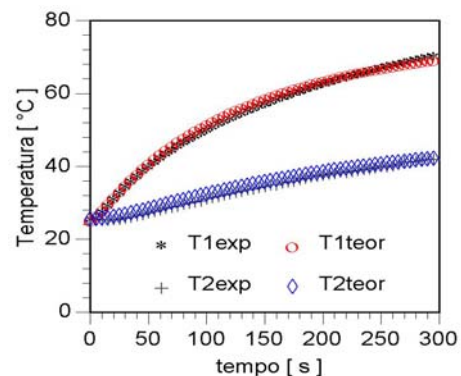


Figura 2 – Comparação das temperaturas experimentais com as temperaturas calculadas.

A pequena dispersão da taxa de transferência de calor estimada e das temperaturas calculadas pode ser creditada às incertezas de medições de temperatura e à incerteza no valor das propriedades térmicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PIBIC-UFU, a Capes, a Fapemig e o CNPq pelo apoio financeiro.