SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ALETAS EM UM CONTEXTO DE ALTAS TEMPERATURAS

R. Sobral

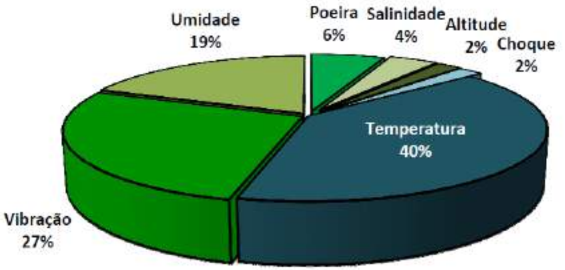
Doutorando em Engenharia Mecânica

rodolfo.sobral@cefet-rj.br

Fundamentos

Muitos dispositivos e equipamentos tem a necessidade de dissipar calor, seja como atividade-fim, otimização de eficiência ou garantia de integridade de sistemas.

Motivação



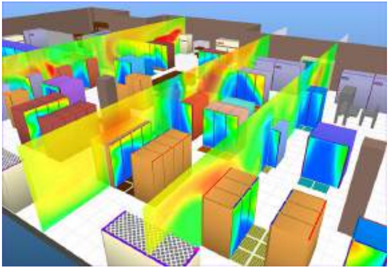
Dispositivos Eletrônicos

Fonte: RAMOS, R. A. V. Análise da convecção natural em superfícies com fontes de calor protuberantes. Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998.

Grandezas Associadas

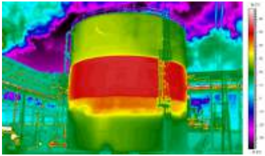
- Dispositivos Termoelétricos;
- Efeito Thomson;
- Lei de Curie-Weiss;
- Painéis Fotovoltaicos.

Análise Multifísica

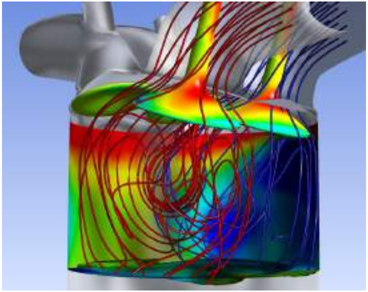


Análise Multifísica

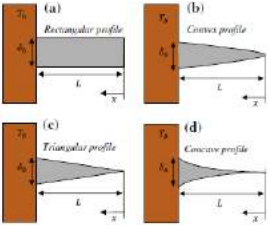
Utility Flares / Vapor Combustion Unit / Fixed Orifice Sonic Flares
by *Flare Industries - An Aereon Company*

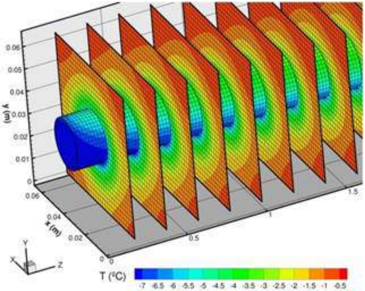


Análise Multifísica



Análise Multifísica





Soluções Analíticas

- Teorema de Duhamel;
- Funções de Green;
- Transformada de Laplace.

Fonte: OZISIK, M. Necati. Heat conduction. John Wiley & Sons, 1993.

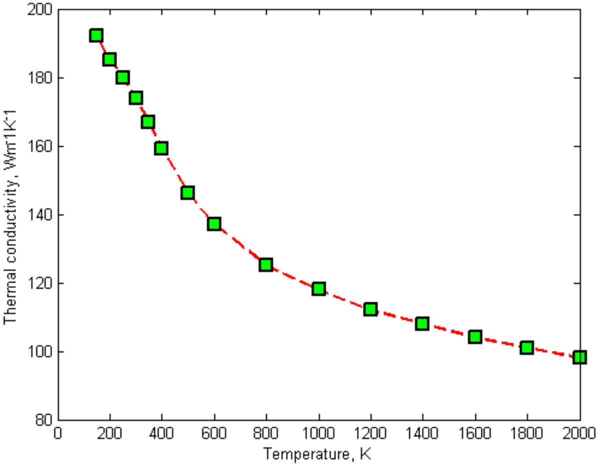
Justificativa

Muitos problemas de transferência de calor não linear não possuem soluções analíticas, além do que softwares de análise multifísica realizam aproximações que podem acarretar a erros consideráveis nos perfis de temperatura.

Ciência dos Materiais

Em ciência dos materiais muitas equações constitutivas são obtidas assumindo condutividade térmica constante, entretanto tal aproximação pode acarretar a erros consideráveis.

Condutividade Térmica do Cobre



Fonte: HO, Cho Yen; POWELL, Reginald W.; LILEY, Peter E. Thermal conductivity of the elements. Journal of Physical and Chemical Reference Data, v. 1, n. 2, p. 279-421, 1972.

Objetivos

- Principal

  Simulação numérica de processos de transferência de calor em aletas com condutividade térmica variável utilizando-se formulação variacional e construção sequencial de soluções através da Transformada de Kirchhoff.

- Secundários

  Resolver o problema não linear através do limite da sequência cujos elementos são oriundos da solução de problemas lineares e suas soluções são obtidas por meio da minimização de funcionais quadráticos.

Estudos Recentes

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

International Journal of Thermal Sciences

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijts

An assessment on air forced convection on extended surfaces: Experimental results and numerical modeling

Andrea Diani, Simone Mancin*, Claudio Zilio, Luisa Rossetto

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Heat and Mass Transfer

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijhmt

Effect of thermal boundary conditions and thermal conductivity on conjugate heat transfer performance in pin fin arrays

Weihong Li *, Li Yang, Jing Ren, Hongde Jiang

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Estudos Recentes

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Heat and Mass Transfer

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijhmt

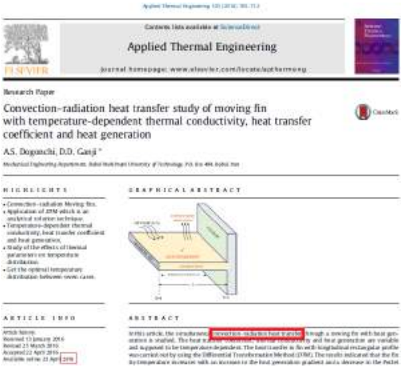
Numerical and experimental study of natural convection heat transfer characteristics for vertical plate fin and tube heat exchangers with various tube diameters

Han-Taw Chen[a,*], Yung-Shiang Lin[a], Pin-Chun Chen[a], Jiang-Ren Chang[b]

ARTICLE INFO

ABSTRACT

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Thermal Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apthermeng

Research Paper

Convection–radiation heat transfer study of moving fin with temperature-dependent thermal conductivity, heat transfer coefficient and heat generation

A.S. Dogonchi, D.D. Ganji*

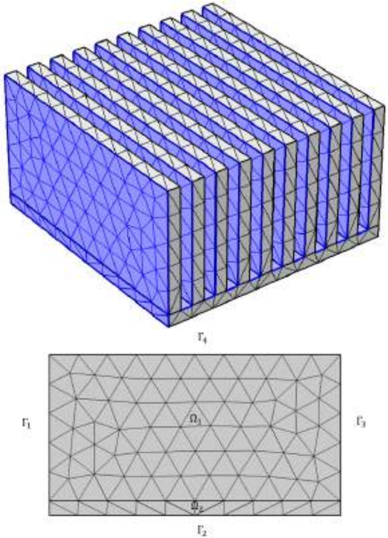
HIGHLIGHTS

GRAPHICAL ABSTRACT

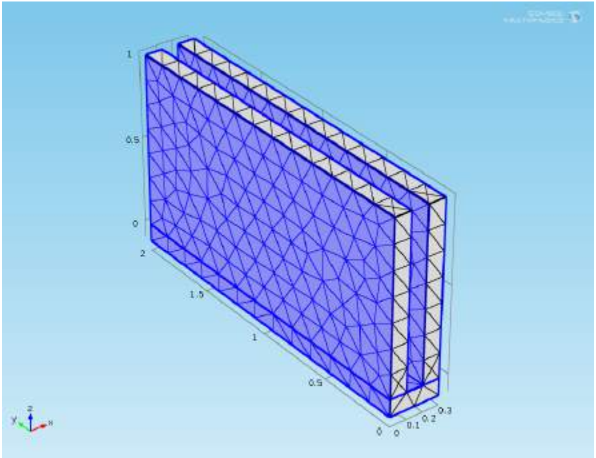
ARTICLE INFO

ABSTRACT

Modelo Físico



Modelo Físico



Murray-Gardner

- Temperatura não nula do dissipador;
- Interação entre aletas e superfície primária;
- Condutividade térmica dependente da temperatura;
- Irradiação mútua entre aletas adjacentes;
- Efeito combinado de irradiação mútua e radiação ambiental;
- Interação da radiação com a estrutura associada.

Fonte: KRAUS, Allan D.; AZIZ, Abdul; WELTY, James. Extended surface heat transfer. John Wiley & Sons, 2002.

Formulação Matemática

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k(T)\frac{\partial \overline{T}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k(T)\frac{\partial \overline{T}}{\partial y}\right) - \frac{2}{\delta}\left[h\left(\overline{T}-T_{\infty}\right)+\epsilon\sigma|\overline{T}|^{3}.\overline{T}\right]=0 \quad in \quad \Omega_1$$

$$-k\nabla\overline{T}.\mathbf{n}=0 \;\; on \;\; \partial\Omega_1=\Gamma_1 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4$$

and

$$T = T_{env}\left(\xi,\eta\right) \quad for \quad t=0;1<\xi<H;1<\eta<Z$$

Fonte: WEBB, Ralph L.; KIM, Nae-Hyun. Principles of enhanced heat transfer. Taylor Francis: New York, NY, USA, 2005.

Transformada de Kirchhoff

Redução da equação do calor a uma equação diferencial parcial linear por meio da introdução de nova variável ω relacionada com T da seguinte forma:

$$\omega = f(T) = \int_{T_0}^{T} k(\epsilon) d\epsilon$$

Transformada de Kirchhoff

Para curva empírica do cobre com o auxílio do método dos mínimos quadrados, obteve-se a seguinte curva ajustada a ser integrada na Transformada de Kirchhoff:

$$\omega = f(T) = \int_{T_0}^{T} k(\epsilon) d\epsilon = \frac{c}{(d+1)} . T^{(d+1)}$$

$$grad\omega = kgradT$$

$$T = f^{-1}(\omega) = e^{\frac{1}{d+1} \log \frac{\omega(d+1)}{c}}$$

Transformada de Kirchhoff

$$div[grad\omega] - \frac{2}{\delta}\left[h.e^{\lambda} + \sigma|e^{\lambda}|^{3}.e^{\lambda}\right] = 0 \quad in \quad \Omega_1$$

com condição de contorno

$$-(grad\omega).\mathbf{n} = 0 \quad on \quad \partial\Omega_1.$$

Formulação Variacional

Solução do problema físico real deve ser alcançada através do limite da sequência cujos elementos são obtidos através da minimização do seguinte funcional quadrático:

$$I[\nu] = \frac{1}{2}\int_0^H \int_0^Z \left[\left(\frac{\partial \nu}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \nu}{\partial y}\right)^2\right] dxdy + \int_0^H \int_0^Z \left[\frac{h}{\delta k}\left(\nu - T_\infty\right)^+ \frac{2\varepsilon\sigma}{5Dk}|\nu|^5\right] dxdy$$

A primeira variação do funcional descreve a formulação variacional do problema real

Fonte: Martins-Costa, M.L., de Freitas Rachid, F.B. and da Gama, R.M.S., 2016. "*An unconstrained mathematical description for conduction heat transfer problems with linear temperature-dependent thermal conductivity*". International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 81, pp. 310–315.

Sequência de Problemas Lineares

$$\omega = \lim_{i \to \infty} \Phi_i$$

em que os elementos da sequência $[\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, ..., \Phi_i]$ são obtidos através de

$$div\left(grad\Phi_{i+1}\right) = \alpha\Phi_{i+1} - \beta_i \quad in \quad \Omega_1$$

e

$$-\left(grad\Phi_{i+1}\right)\mathbf{n} = 0 \quad on \quad \partial\Omega_1$$

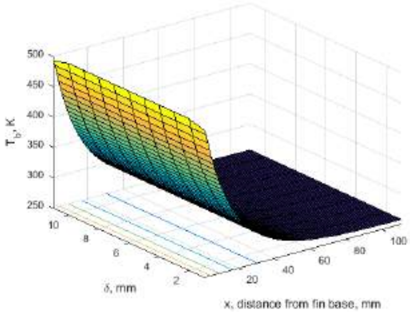
Para um termo auxiliar β:

$$\beta_i = \alpha\Phi_{i-1} - \left(\sigma\left|\Phi_{i-1}\right|^3\Phi_{i-1} - h\left(\Phi_{i-1} - T_\infty\right)\right)$$

$$for \quad i = 0, 1, 2, ...$$

Fonte: Gama, R.M.S., Corrêa, E.D. and Martins-Costa, M.L., 2013. "*An upper bound for the steady-state temperature for a class of heat conduction problems wherein the thermal conductivity is temperature dependent*". International Journal of Engineering Science, Vol. 69, pp. 77–83.

Perfil de Temperatura



Aletas longitudinais de cobre com C.C. convectivas e radiativas de perfil retangular

Discretização em 11 nós

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	276.9028	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
2	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
3	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
4	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
5	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
6	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
7	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
8	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
9	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
10	280	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293
11	276.9028	273.8056	268.7513	264.6555	261.3740	258.7933	256.8257	255.4046	254.4827	254.0293	254.0293

Base a $T_{\mathbf{amb}}$ C.C. convectiva

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	279.6022	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
2	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
3	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
4	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
5	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
6	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
7	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
8	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
9	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
10	280	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320
11	279.6022	279.2044	278.5328	277.9719	277.5105	277.1392	276.8508	276.6393	276.5007	276.4320	276.4320

Base a $T_{\mathbf{amb}}$ C.C. convectiva e radiativa

Conclusão

- A influência da temperatura na condutividade térmica (dando origem a equações diferenciais não lineares). Tal dependência é muito importante quando existem grandes variações de temperatura
- A influência da radiação térmica nos processos de troca de calor (gerando também não linearidades). Tal influência fica mais importante quando as temperaturas envolvidas são altas e/ou as atmosferas são rarefeitas

Referências Bibliográficas

[1] RAMOS, R. A. V. *Análise da convecção natural em superfícies com fontes de calor protuberantes*. Doutorado em Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 1998.

[2] OZISIK, M. Necati. *Heat conduction*. John Wiley & Sons, 1993.

[3] HO, Cho Yen; POWELL, Reginald W.; LILEY, Peter E. *Thermal conductivity of the elements*. Journal of Physical and Chemical Reference Data, v. 1, n. 2, p. 279-421, 1972.

[4] Kraus, A.D., Aziz, A. and Welty, J., 2002. *Extended surface heat transfer*. John Wiley & Sons.

[5] Webb, R.L. and Kim, N.H., 2005. "*Principles of enhanced heat transfer*". Taylor Francis: New York, NY, USA.

[6] Martins-Costa, M.L., de Freitas Rachid, F.B. and da Gama, R.M.S., 2016. "*An unconstrained mathematical description for conduction heat transfer problems with linear temperature-dependent thermal conductivity*". International Journal of Non-Linear Mechanics, Vol. 81, pp. 310–315.

[7] Gama, R.M.S., Corrêa, E.D. and Martins-Costa, M.L., 2013. "*An upper bound for the steady-state temperature for a class of heat conduction problems wherein the thermal conductivity is temperature dependent*". International Journal of Engineering Science, Vol. 69, pp. 77–83.

Agradecimento

Obrigado a todos !