

Estimativa Do Fluxo De Calor Em Uma Ferramenta De Corte Durante Um Processo De Usinagem Com O Uso Do Software COMSOL Multiphysics® E De Técnicas De Problemas Inversos

R. F. Brito¹, S. R. de Carvalho², S. M. M. de L. e Silva³

¹Federal University of Itajubá - UNIFEI, Itabira, Minas Gerais, Brasil

²Federal University of Uberlândia - UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil

³Federal University of Itajubá - UNIFEI, Itajubá, Minas Gerais, Brasil

Abstract

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe o uso de técnicas de problemas inversos em conjunto com os pacotes comerciais COMSOL Multiphysics® e MATLAB® para obter o campo de temperatura na zona de contato em regime transiente, numa ferramenta de corte de torneamento, e para estimar o fluxo de calor, respectivamente.

Um programa em MATLAB®, com a técnica da função especificada, foi desenvolvido para estimar o fluxo de calor aplicado sobre a ferramenta de corte. A validação da metodologia proposta foi realizada em experimentos controlados em laboratório.

2. FORMULAÇÃO TEÓRICA

2.1. Modelo Térmico e Uso do COMSOL

O problema tratado neste trabalho é representado pela Fig. 1a, que representa o conjunto ferramenta de corte, calco e porta-ferramenta. A geração de calor durante o processo de usinagem é indicada por uma distribuição do fluxo de calor $q''(x, y, t)$ desconhecido. Uma vista detalhada do conjunto é mostrada na Fig. 1b.

O problema direto consiste na obtenção da solução da equação de difusão de calor, usando o COMSOL. Além disso, o COMSOL permite ajustar quaisquer condições de contorno, bem como a modelação da geometria, de modo a representar fielmente o sistema investigado como apresentado na Fig. 1a.

2.2. Problema Inverso

A técnica inversa adotada neste trabalho é a função especificada (Beck et al., 1985). Esta técnica requer o cálculo do coeficiente de sensibilidade que é feito numericamente a partir do Teorema de Duhamel (Correa Ribeiro, 2012). O coeficiente de sensibilidade é então obtido com a utilização de uma sonda numérica que segue as mudanças de temperatura nos pontos equivalentes onde os termopares foram colocados nos experimentos. Uma vez que o coeficiente

de sensibilidade é conhecido, o fluxo de calor é estimado com o uso da técnica inversa.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O coeficiente de sensibilidade foi calculado usando o COMSOL, como o problema direto, utilizando-se condições de contorno de fluxo de calor igual a $1,0 \text{ W/m}^2$ e temperatura inicial igual a $0,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e um coeficiente de convecção médio de $20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

A Figura 2a apresenta o fluxo de calor estimado pela técnica inversa no presente trabalho e aquele estimado por Carvalho et al. (2006, 2009). Na Figura 2b, uma comparação entre as temperaturas experimentais e calculadas com o fluxo estimado nas posições T3, T6 e T7 é apresentada. Nesta figura, bons resultados podem ser vistos quando se comparam as temperaturas estimadas e experimentais, especialmente para o termopar T3.

As Figs. 3a, 3b, 3c e 3d apresentam o campo de temperatura, em Celsius, no conjunto usando o COMSOL, para os instantes 5 s, 10 s, 50 s e 80 s, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Uma melhora significativa na técnica para estimar o fluxo de calor e as temperaturas numéricas em um processo de usinagem foi apresentada neste trabalho. O uso de pacotes comerciais para as soluções numéricas de equações diferenciais que governam o fenômeno físico investigado deve ser destacado, pois estes programas permitem ajustar quaisquer condições de contorno, bem como, modelar a geometria de forma a representar fielmente o sistema investigado.

Reference

C. A. Corrêa Ribeiro, 2012, “Uso Combinado do Software Comercial CFX e Técnicas de Problemas Inversos em Transferência de Calor”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, Brasil.

D. Ulutan, I. Lazoglu, C. Dinc, 2009, “Three-Dimensional Temperature Predictions in Machining Process using Finite Difference Method, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 1111-1121.

D. W. Yen, P. K. Wright, 1986, “A Remote Temperature Sensing Technique for Estimating the Cutting Interface Temperature Distribution, Journal of Engineering for Industry, Vol. 108, pp.252-263.

E. M. Trent, P. K. Wright, 2000, “Metal Cutting”, Butterworth Heinemann, 4th ed., Woburn, United States.

F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, A. S.

Lavine, 2007, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, 6th ed., John Wiley & Sons, USA.

F. Samadi, F. Kowsary, A. Sarchami, 2012, “Estimation of Heat Flux Imposed on the Rake Face of a Cutting Tool: A Nonlinear, Complex Geometry Inverse Heat Conduction Case Study”, International Communication on Heat and Mass Transfer, Vol. 39, pp. 298-303.

J. V. Beck, B. Blackwell, C. St. Clair, 1985, “Inverse Heat Conduction: Ill-posed Problems”, Wiley-Interscience Publication, New York.

K. A. Woodbury, S. Duvvuri, Y. K. Chou, J. Liu, 2007, “Use of Evolutionary Algorithms to Determine Tool Heat Fluxes in a Machining Operation”, Proceedings of the Inverse Problems Design and Optimization Symposium, IPDO, Miami Beach, Florida, USA.

K. Yang, Y.-C. Liang, K.-n. Zheng, Q.-s. Bai, W.-q. Chen, 2011, “Tool Edge Radius Effect on Cutting Temperature in Micro-End-Milling Process”, Int. J. Adv. Manuf. Technol., Vol. 52, pp. 905-912.

L. Wang, Z. L. Sun, X. K. Wang, S. C. Guo, 2010, “Numerical and Analytical Modelling of Temperature Rise on the Machined Stainless Steel 316L”, International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering: (MACE 2010).

M. Gostimirovic, P. Kovac, M. Sekulic, 2011, “An Inverse Heat Transfer Problem for Optimization of the Thermal Process in Machining”, Sādhanā, Vol. 36, pp. 489-504.

S. R. Carvalho, M. R. Santos, P. F. B. Souza, G. Guimarães, S. M. M. Lima e Silva, 2009, “Comparison of Inverse Methods in the Determination of Heat Flux and Temperature in Cutting Tools during a Machining Process”, High Temperatures High Pressures, Vol. 38, pp. 119-136.

S. R. Carvalho, S. M. M. Lima e Silva, A. R. Machado, G. Guimarães, 2006, “Temperature

Determination at the Chip-Tool Interface using an Inverse Thermal Model considering the Tool Holder”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 179, pp. 97-104.

T. C. Jen, G. Gutierrez, 2000, “Numerical Heat Transfer Analysis in Transient Cutting Tool Temperatures”, Proceedings of 34th National Heat Transfer Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, August, pp.20-22.

V. M. Luchesi, R. T. Coelho, 2012, “An Inverse Method to Estimate the Moving Heat Source in Machining Process”, Applied Thermal Engineering, Vols. 45-46, pp. 64-78.

W. Grzesik, P. Niesłony, M. Bartoszek, 2009, “Modelling of the Cutting Process Analytical and Simulation Methods”, Advances in Manufacturing Science and Technology, Vol. 33, pp. 5-29.

Figures used in the abstract

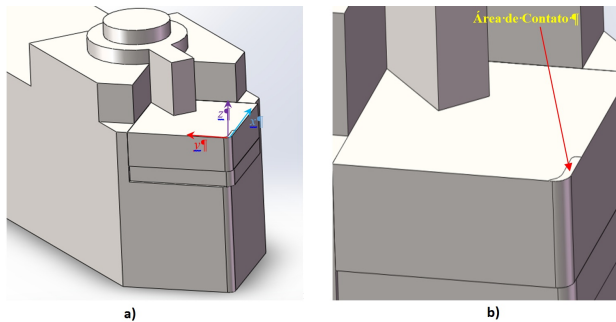


Figure 1: a) Esquema de problema térmico e b) Detalhe da interface de contato entre a ferramenta e a peça.

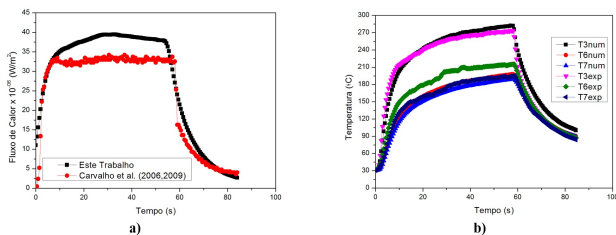


Figure 2: a) Fluxo de calor estimado e b) comparação entre as temperaturas experimentais e estimadas para os termopares T3, T6 e T7.

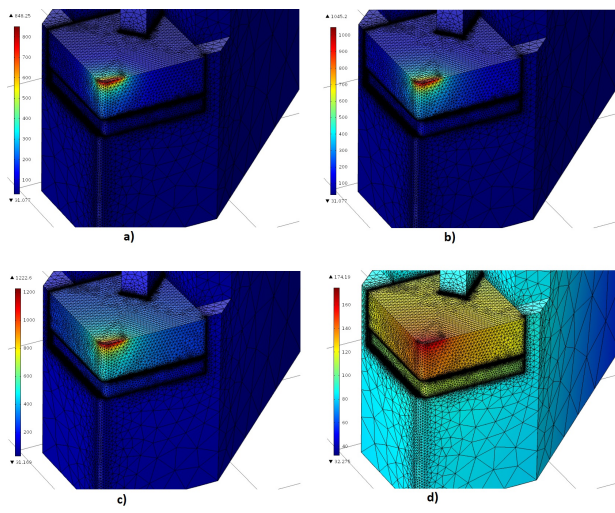


Figure 3: Campo de temperatura no conjunto para os instantes: a) $t = 5$ s, b) $t = 10$ s, c) $t = 50$ s e d) $t = 80$ s.