



DETERMINAÇÃO DA TEMPERATURA NA INTERFACE CAVACO- FERRAMENTA A PARTIR DA MODELAGEM 3D DO CONJUNTO FERRAMENTA E PORTA-FERRAMENTA

Solidônio Rodrigues de Carvalho

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, S/N - CEP 38400-902 Tel.:(34) 3239-4148, Fax:(34) 3239-4206, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

srcarvalho@mecanica.ufu.br

Sandro Metrevelle Marcondes de Lima e Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, S/N - CEP 38400-902 Tel.:(34) 3239-4148, Fax:(34) 3239-4206, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

metrevel@mecanica.ufu.br

Álison Rocha Machado

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, S/N - CEP 38400-902 Tel.:(34) 3239-4148, Fax:(34) 3239-4206, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

alisonm@mecanica.ufu.br

Gilmar Guimarães

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, S/N - CEP 38400-902 Tel.:(34) 3239-4148, Fax:(34) 3239-4206, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

gguima@mecanica.ufu.br

Resumo: Neste trabalho propõe-se uma metodologia que considera o problema térmico de usinagem bastante realista para a obtenção da temperatura na interface cavaco-ferramenta. Assim, o objetivo principal deste trabalho é estudar este problema considerando o conjunto ferramenta e porta-ferramenta no modelo térmico. Neste caso, um modelo de condução de calor tridimensional transiente, discretizado a partir de uma malha não uniforme é usado para o cálculo da temperatura. Neste modelo também considera-se a variação do coeficiente de transferência de calor por convecção com a temperatura. A técnica de otimização Seção Áurea com aproximação polinomial é usada para determinar o fluxo de calor que flui para a ferramenta a partir de temperaturas medidas em regiões acessíveis da ferramenta e do porta-ferramenta. Conhecido o fluxo pode-se determinar através da solução do problema direto, a temperatura em qualquer posição da ferramenta. Teste experimentais foram usados para avaliar a repetição dos resultados estimados para cada condição de usinagem similar e analisar os efeitos das condições de corte sobre os resultados obtidos.

Palavras-chave: problemas inversos, condução de calor tridimensional, temperatura de corte, otimização.

1. INTRODUÇÃO

No processo de usinagem a energia mecânica é convertida em calor através da deformação plástica envolvida no cavaco e através do atrito entre a ferramenta e a peça. Este calor é um parâmetro que permite medir o desempenho da ferramenta durante o processo de usinagem. A contínua necessidade de aumento das velocidades de corte em processos de usinagem de alto desempenho tem impulsionado pesquisas de novos materiais resistentes a altas temperaturas, assim como estudos de maximização da taxa de remoção de material (D'errico, 1998). A medida da temperatura durante o corte é importante na investigação do uso de ferramentas, pois permite controlar os fatores que influenciam no seu uso, vida útil e desgaste (Borelli et al, 2001). A dificuldade de calcular a temperatura e o gradiente de temperatura na interface cavaco-ferramenta, mesmo para condições de corte simples mostra a importância do desenvolvimento de um método eficiente para a determinação desta temperatura, Trent et al (2000). Neste sentido vários métodos experimentais têm sido propostos para obtenção destas temperatura na região de corte. Nos trabalhos de Shaw (1958) e Stephenson (1991) a técnica do efeito termopar ferramenta-peça é usada. Todavia nesta técnica somente valores médios para temperatura são obtidos. Tay (1993) e Eu-Gen (1995) usaram a técnica de inserção de termopares no interior da ferramenta. No entanto, a dificuldade de instalação dos termopares em função das pequenas dimensões da ferramenta e também quanto a baixa qualidade dos resultados obtidos, pois os efeitos de difusão de calor na ferramenta são alterados com a introdução do termopar e principalmente pela realização do microfuro. Os artigos de Jaspers et al (1998), Chu & Wallbank (1998), Borelli et al (2001) e Huda et al (2002) baseiam-se no uso de termômetros infravermelho ou pirômetros óptico. Entretanto, a área de contato entre a peça e a ferramenta é limitada e muito complexa para ser medida. Além do mais para o uso destes sensores é necessário o conhecimento preciso da propriedade radioativa emissividade. Cabe salientar que esta propriedade varia com a temperatura. Várias técnicas analíticas e numéricas também podem ser encontradas na literatura. Radulescu and Kapoor (1994) apresentam um modelo tridimensional analítico para determinar os campos de temperatura durante a usinagem com corte interrompido e corte contínuo. O problema térmico é subdividido em três subgrupos: obtenção do calor gerado no contato da ferramenta com a peça, comportamento da temperatura na ferramenta e comportamento da temperatura na peça. O calor gerado na região de corte é calculado aplicando-se o balanço de energia em função da força de corte. Conhecendo-se o fluxo de calor total emprega-se um modelo analítico tridimensional sobre a ferramenta e também sobre o cavaco para a obtenção da distribuição de temperatura nos dois meios. No modelo analítico tridimensional transiente da ferramenta, as condições de contorno são simplificadas desprezando-se efeitos convectivos e de resistência de contato. No modelo analítico tridimensional do cavaco a formulação é válida para o regime quase permanente. Stephenson et al (1997) apresentam uma nova aplicabilidade para o modelo proposto por Radulescu and Kapoor (1994). Neste sentido o modelo analítico tridimensional transiente é adaptado para estudar as temperaturas na ferramenta de corte no processo de torneamento. Modificações são introduzidas no modelo para se calcular as variações do fluxo de calor com o tempo e para se representar o contorno da ferramenta (isolamento térmico e temperatura prescritas). Testes experimentais são usados para a validação da técnica. Chen et al (1997) determinaram a temperatura na superfície cavaco-ferramenta usando um modelo térmico tridimensional transiente resolvido por elementos de contorno. O fluxo de calor foi obtido a partir da técnica inversa da função especificada sequencial aproximada por um fluxo de calor constante proposta por Beck et al (1985). Todavia, a temperatura experimental foi medida através da técnica de inserção de um termopar na ferramenta. Ressalta-se ainda a grande discrepância apresentada na temperatura média calculada quando comparada com a temperatura experimental. Jen & Gutierrez (2000) usaram elementos finitos para calcular a temperatura tridimensional transiente com propriedades térmicas variáveis. A solução deste modelo é obtida simulando-se o fluxo de calor na interface de corte como uma fonte de calor plana com distribuição espacial, cuja metodologia foi proposta por Stephenson et al (1997). As condições de contorno são simplificadas desprezando-se os efeitos de convecção e de resistência térmica de contato. Uma análise da geometria da ferramenta também é realizada. No trabalho de Shet and Deng (2000) também foi usado elementos finitos para o cálculo da temperatura na ferramenta.

Neste caso, a temperatura foi calculada a partir do software comercial de elementos finitos ABAQUS. Entretanto, o fluxo de calor usado para o cálculo da temperatura de corte foi determinado a partir da medição da força de corte. No trabalho de Lazoglu and Altintas (2002) um modelo numérico bidimensional baseado no método de diferenças finitas é usado para determinar os campos de temperatura na interface cavaco-ferramenta durante o processo de torneamento. São também apresentados resultados na interface cavaco-ferramenta para o processo de fresamento. No entanto a validação do método é feita a partir da comparação da temperatura média calculada com a temperatura média experimental, obtida pelo método termopar ferramenta-peça. Como pode-se observar as técnicas citadas apresentam várias simplificações. Os autores deste trabalho vêm trabalhando no desenvolvimento de um método que aproxima o modelo teórico o máximo do experimento. Neste sentido, um modelo de condução de calor tridimensional transiente considerando somente a ferramenta, discretizado a partir de uma malha variável, foi usado para o cálculo da temperatura, Carvalho et al (2003). A técnica de otimização Simulated Annealing foi usada para determinar o fluxo de calor que flui para a ferramenta a partir de temperaturas medidas na face oposta à zona de corte. O fluxo de calor foi obtido a partir da temperatura experimental medida em qualquer região acessível da ferramenta. Conhecido o fluxo determinou-se através da solução do problema direto, a temperatura em qualquer posição da ferramenta. Todavia, neste trabalho o fluxo de calor apresentou decaimento quando a peça estava sendo usinada. Buscando aprimorar os resultados obtidos neste trabalho (Carvalho et al, 2003), propõe-se uma nova metodologia que considera no modelo térmico a ferramenta e o porta-ferramenta. Nesta nova metodologia também é considerada a variação do coeficiente de transferência de calor por convecção com a temperatura. Apresenta-se ainda neste trabalho, o planejamento dos testes experimentais e parâmetros de usinagem definidos para cada teste. Os testes buscam avaliar a repetição dos resultados estimados para cada condições de usinagem similares e analisar os efeitos das condições de corte sobre os resultados obtidos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Na Figura 1 apresenta-se o modelo esquemático do problema térmico de usinagem. A geração de calor durante o processo de usinagem é indicada por uma distribuição de fluxo de calor desconhecida $q''(x,y,t)$ sobre a área arbitrada por x e y . Neste trabalho resolve-se o problema de difusão de calor em coordenadas cartesianas. A ferramenta e o porta-ferramenta são posicionados no domínio de cálculo a partir do fornecimento de suas dimensões. Considerou-se neste caso uma ferramenta de corte sem quebra cavacos. Além disso, considera-se que o material da ferramenta e do porta ferramenta são homogêneos e que as suas propriedades termofísicas não variam com a temperatura. Durante o experimento não foi utilizado fluido de corte. Portanto, como condições de contorno considera-se que todas as faces do conjunto ferramenta e porta-ferramenta estão submetidas a um coeficiente de transferência de calor por convecção variável $h(x,y,z,t)$.

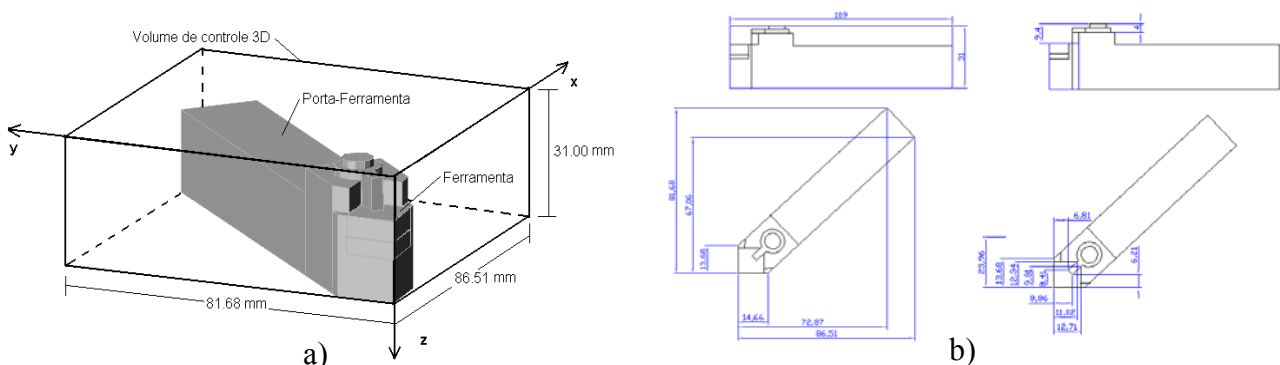


Figura 1: a) Problema térmico tridimensional da ferramenta e porta-ferramenta e b) Dimensões do conjunto ferramenta e porta ferramenta

Na Figura 1a a ferramenta e o porta-ferramenta são gerados a partir de um volume de controle tridimensional (paralelepípedo perfeito). Onde as dimensões do volume de controle são 86,51 x 81,68 x 31,00 mm. Neste trabalho o problema de difusão de calor é resolvido em coordenadas cartesianas. A ferramenta e o porta-ferramenta são posicionados no domínio de cálculo a partir do fornecimento de suas dimensões, como apresentado na Figura 1b.

2.1. O Problema Direto: Formulação Numérica para a Distribuição de Temperatura

Na Figura 1 apresenta-se a modelagem do problema térmico de usinagem estudado. A geração de calor durante o processo de usinagem é indicada por uma distribuição de fluxo de calor desconhecida $q''(t)$. Este modelo térmico foi obtido pela solução numérica da equação da difusão tridimensional transiente que pode ser descrita por:

$$A_{i,j,k} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + B_{i,j,k} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + C_{i,j,k} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - D_{i,j,k} (T - T_\infty) + E_{i,j,k} \frac{q''(t) A_{xy}}{\lambda \times V} = F_{i,j,k} \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

onde A, B, C, E, F podem assumir os valores 0 (zero) ou 1 (um) dependendo da posição do nó analisado, D representa o problema convectivo, que nos contornos é dado por $D_{i,j,k} = h(x,y,z,t) \times A_h / \lambda(T) \times V$, na região fora do modelo $D_{i,j,k} = 1$ e no interior $D_{i,j,k} = 0$, T é a temperatura do modelo, x, y e z são os eixos de coordenadas, $h(x,y,z,t)$ é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A_h a área submetida a convecção, T_∞ temperatura ambiente, $q''(t)$ fluxo de calor, A_{xy} área de contato cavaco-ferramenta, λ condutividade térmica, α difusividade térmica, V é o volume, t o tempo de usinagem e T_0 temperatura inicial da ferramenta e do porta-ferramenta. Na região $R(0 < x < 86,51mm, 0 < y < 81,68mm, 0 < z < 31mm)$ em $t > 0$, sujeito à condição inicial

$$T(x, y, z, 0) = T_0 \quad (2)$$

nota-se que as condições de contorno foram inseridas na equação da difusão o que permite tratar o problema da convecção no interior do modelo térmico tridimensional. Obteve-se a solução da Equação 1 através do uso do método das diferenças finitas (Figura 2). As dimensões do volume de controle foram apresentadas na Figura 1a.

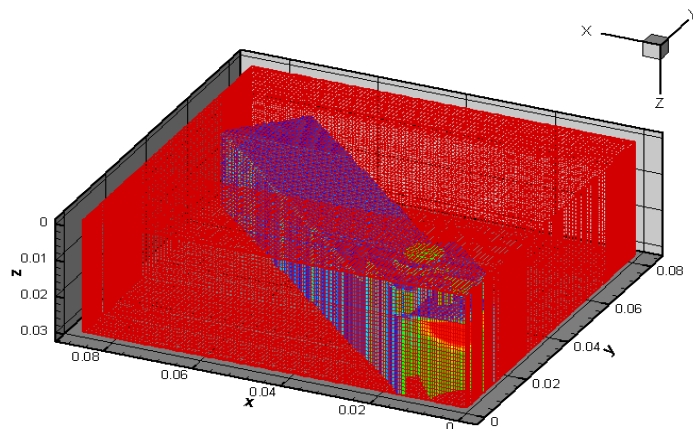


Figura 2: Visualização tridimensional do campo de temperatura obtido numericamente para o modelo proposto na Equação (1)

2.2. Problema Inverso de Transferência de Calor: Seção Áurea

O fluxo de calor que flui da interface cavaco-ferramenta é obtido usando-se a técnica de otimização da Seção Áurea. Basicamente, nesta técnica minimiza-se uma função erro quadrático

definida pelo quadrado da diferença entre as temperaturas medidas na ferramenta, Y , e as temperaturas calculadas pelo modelo teórico (Equação 1). Assim, a função objetivo a ser minimizada pode ser escrita como

$$F = \sum_{i=1}^{nterm} (Y(x, y, z, t)_i - T(x, y, z, t)_i)^2 \quad (3)$$

onde $nterm$ representa o número de termopares usados. A Seção Áurea é uma das técnicas mais populares para a estimação de máximos, mínimos ou zero de funções de apenas uma variável. Algumas características particulares tornam-na muito interessante: i) não necessita de derivadas contínuas; ii) ao contrário da aproximação polinomial possui taxa de convergência conhecida e iii) é de fácil implementação (Vandreplaats, 1984).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No processo de usinagem utilizou-se o torno mecânico convencional IMOR MAXI – II – 520 – 6CV. As temperaturas experimentais foram medidas através de um sistema de aquisição de dados HP 75000 Series B com voltímetro E1326B comandado por PC onde foram conectados oito termopares do tipo K. Estes termopares foram posicionados em regiões acessíveis, nas faces inferior e superior assim como demonstrado na Figura 3 e fixados nas posições mostradas na Tabela 1. Como materiais de trabalho e ferramentas, foram usados corpos-de-prova em ferro fundido cinzento FC 20 EB 126 ABNT e ferramentas de metal duro (ISO SNUN 12 04 12 H1P-K10/SANDVIK) fixada ao porta ferramentas ISO CSBNR 20 K12/SANDVIK COROMAT. Realizou-se os testes nas barras de ferro fundido cinzento com diâmetro de 77 mm. Dividiu-se cada corpo de prova em três partes iguais de $L = 77$ mm. Buscando-se avaliar a influência das condições de usinagem, avanço e velocidade de corte, foram realizados os seguintes testes que são mostrados na Tabela 2. No primeiro teste buscou-se analisar a variação do avanço (0,138 mm/rot, 0,277 mm/rot e 0,554 mm/rot) e no segundo teste variou-se a velocidade de corte (135,47 m/min - 560 rpm, 171,76 m/min - 710 rpm e 217,72 m/min - 900 rpm), totalizando assim 15 experimentos. Ressalta-se que cada condição de usinagem foi realizada três vezes para analisar a repetibilidade. Em cada experimento o número de pontos medidos, N_t , foi de 300, com um intervalo de medição, Δt , de 0,500s.

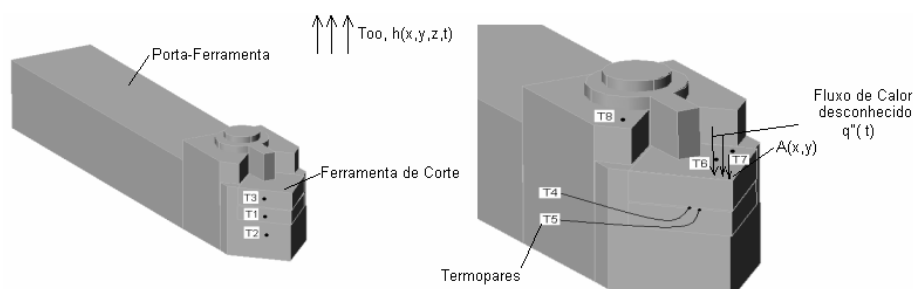


Figura 3: Posicionamento dos termopares T_1 a T_8 no conjunto ferramenta e porta-ferramenta

Tabela1: Posição dos termopares no conjunto ferramenta e porta-ferramenta

Posição/Termopar	1	2	3	4	5	6	7	8
X [mm]	0,000	0,000	0,000	4,490	6,528	7,222	9,512	5,300
Y [mm]	6,450	7,250	3,950	4,116	6,579	4,740	1,715	14,55
Z [mm]	15,95	21,05	11,52	14,23	14,23	9,400	9,400	4,000

Tabela 2: Identificação dos testes experimentais de usinagem

Parâmetros de usinagem	Teste 1	Teste 2
Diâmetro inicial	77 mm	77 mm
Comprimento usinado	77 mm	77 mm
Avanço	variável	0,138 mm/rot
Rotação	560 rpm	variável
Profundidade corte no diâmetro	3,0 mm	3,0 mm
Diâmetro final	74 mm	74 mm

Uma das maiores dificuldades na implementação do modelo térmico proposto reside na identificação correta da área de contato ferramenta-peça. Na literatura é possível encontrar alguns métodos referentes à determinação desta interface de contato, como por exemplo o uso de um software de análise de imagens (Jen et al, 2000) ou de técnicas de aplicação de camadas (Yen, 1986). No presente trabalho, buscando medir esta área com a maior precisão possível, foi usado o seguinte procedimento. Para cada condição de usinagem a área foi medida em três arestas da ferramenta, obtendo assim um valor médio para área de contato. Além disso, para visualização desta área utilizou-se um sistema de tratamento de imagens (Figura 4). Este equipamento é composto por uma câmera de vídeo Hitachi CCD, modelo KP-110, por um computador AMD K6 450 MHz e por um software de tratamento das imagens, o GLOBAL LAB Image. Na Figura 4a apresenta-se uma fotografia da área de contato, valor encontrado $0,410835 \text{ mm}^2$, obtida para o teste com avanço de 0,138 mm/rot, velocidade de corte de 217,72 m/min e profundidade de corte de 3,00 mm. Apresenta-se também na Figura 4b o tratamento realizado pelo software GLOBAL LAB Image para obtenção da área de contato.

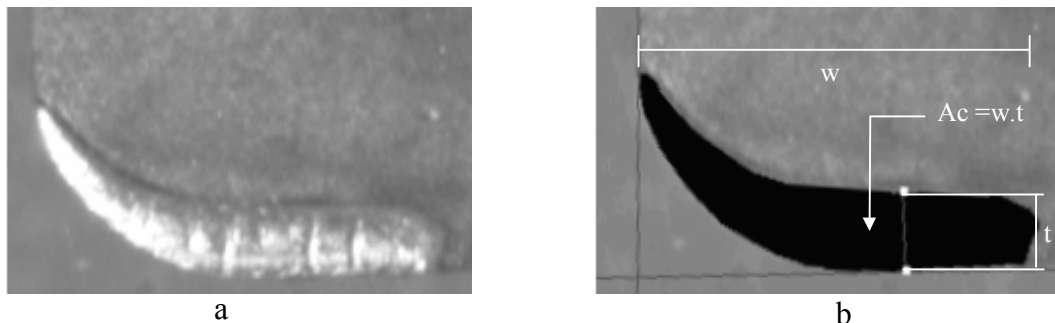


Figura 4: a) Visualização da área de contato através da câmera de vídeo e b) Tratamento da imagem realizado pelo software GLOBAL LAB Image

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste trabalho, a condutividade térmica da ferramenta $\lambda = 43,1 \text{ W/mK}$ e a difusividade térmica da ferramenta $\alpha = 14,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ foram obtidas da literatura (Lima, 2001), assim como a condutividade térmica do porta-ferramenta $\lambda = 49,8 \text{ W/mK}$ e a difusividade térmica do porta-ferramenta $\alpha = 13,05 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Considerou-se ainda que o suporte abaixo da ferramenta possuía as mesmas propriedades térmicas da ferramenta de corte. A taxa de transferência de calor estimada no processo para a condição de usinagem, avanço de 0,138 mm/rot, rotação de 900 rpm e profundidade de corte de 3,0 mm é apresentada na Figura 5a. Nesta figura para observar a confiabilidade dos resultados a taxa de transferência de calor foi estimada para três experimentos, observa-se assim, a repetibilidade dos resultados obtidos. Um outro fato importante a ser destacado nesta figura é que a taxa de transferência de calor não sofre mais o decaimento com o tempo quando a peça está sendo usinada. Ressalta-se que este problema foi encontrado pelos autores (Carvalho et al, 2003), quando considerado no modelo térmico somente a ferramenta de corte. Apresenta-se na Figura 5b a temperatura calculada na interface cavaco-ferramenta para esta taxa de transferência de

calor estimada para a condição de usinagem da Figura 5a. O campo de temperatura na ferramenta e no porta-ferramenta é mostrado nas Figuras 6 e 7 para o instante 60 s. Verifica-se na Figura 6 um alto gradiente térmico na ferramenta de corte, apresentando um ΔT de aproximadamente de 750°C entre a temperatura medida na interface de contato e a temperatura a 4mm desta interface. Ressalta-se que este elevado gradiente térmico é um dos fatores responsáveis pelo aumento do desgaste e diminuição da vida da ferramenta de corte. Na Figura 7 são apresentados os campos de temperatura no plano x-z e no plano y-z para a mesma condição da Figura 6.

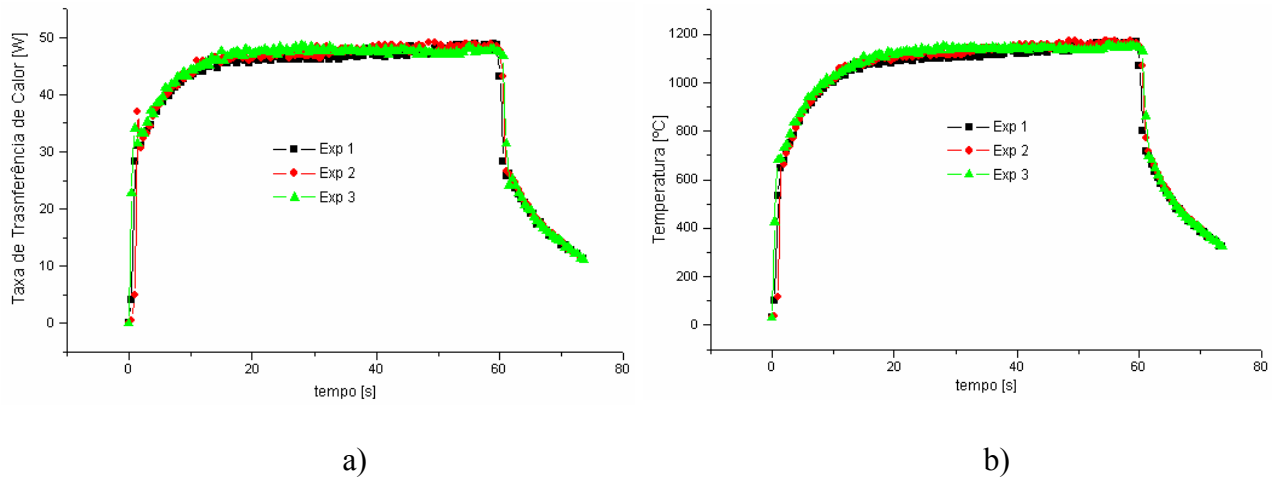


Figura 5: a) Taxa de transferência de calor estimada para a condição de usinagem mais severa de três experimentos b) Comparação entre as temperaturas estimadas para as taxas da Figura (5a)

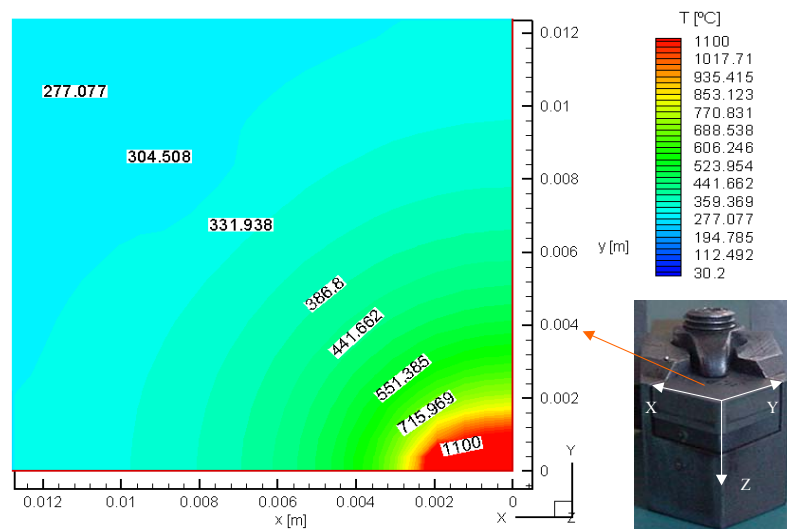


Figura 6: Vista superior do campo de temperatura (plano x-y) no instante t = 60 s para a condição mais severa

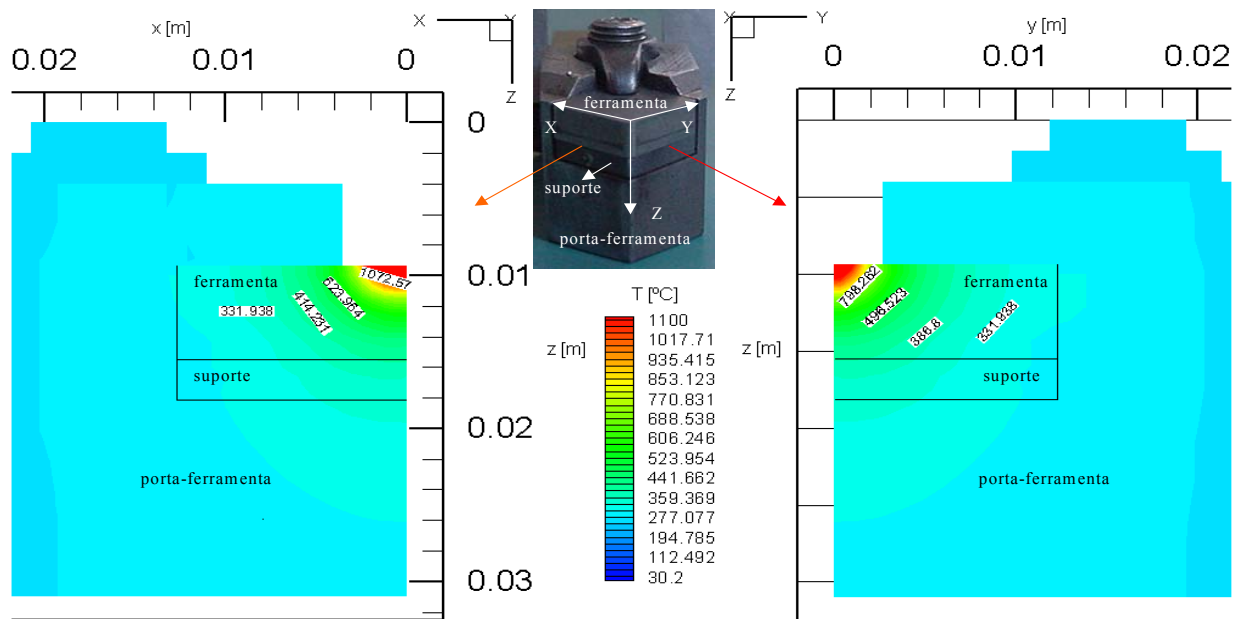


Figura 7: Vista lateral dos campos de temperatura (planos x-z e y-z) no instante $t = 60$ s para a condição mais severa

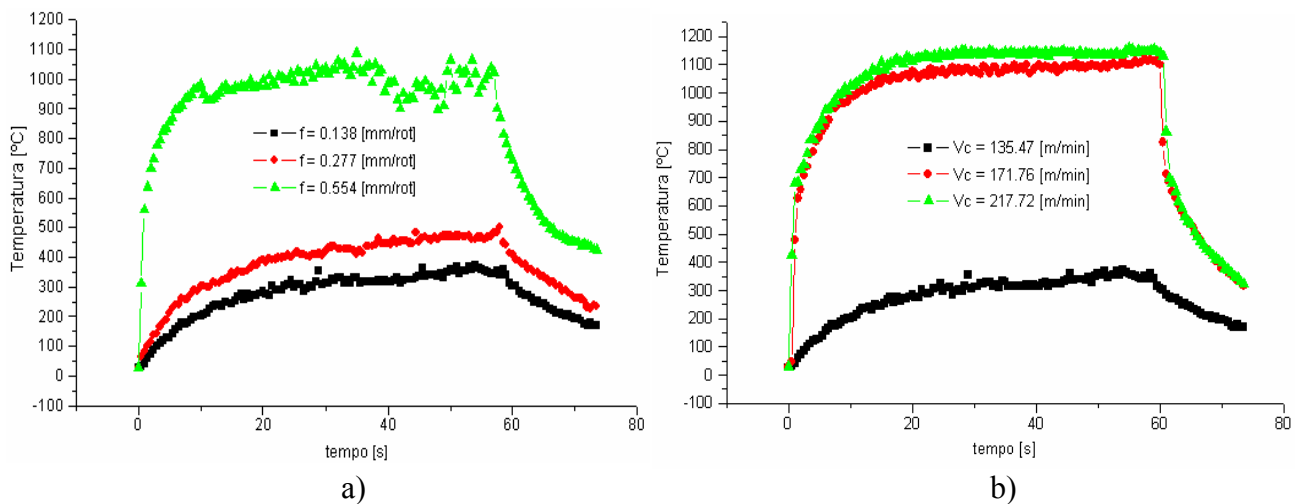


Figura 8: Temperaturas na interface cavaco-ferramenta considerando a) $v_c = 135,3$ m/min, $a_p = 1,5$ mm no raio e 3 avanços diferentes e b) 3 velocidades de corte diferentes, $a_p = 1,5$ mm no raio e $f = 0,138$ mm/rot

A Figura 8 mostra a temperatura máxima obtida na interface cavaco-ferramenta quando se varia o avanço (Figura 8a) e a velocidade de corte (Figura 8b). Observa-se nitidamente o aumento da temperatura com o aumento destas variáveis, assim como era esperado.

5. CONCLUSÕES

A taxa de calor imposta na superfície cavaco-ferramenta foi estimada através da técnica de otimização Seção Áurea com aproximação polinomial cúbica. Esta metodologia mostrou-se adequada, apesar do modelo térmico ainda não considerar o efeito da variação das propriedades térmicas com a temperatura. Observa-se que os valores encontrados para os campos térmicos (distribuição de temperatura e fluxo de calor) no modelo proposto considerando o conjunto ferramenta e porta-ferramenta se encontram na faixa esperada, obtendo uma melhora considerável no programa INV3D, quando comparado com o trabalho anterior que considerava somente a ferramenta no modelo. Ressalta-se também que a taxa de transferência de calor não sofreu

decaimento com o tempo quando a peça estava sendo usinada. O próximo passo para os autores deste trabalho é avaliar a influência do porta-ferramenta na temperatura da interface cavaco-ferramenta. Neste caso, serão analisados materiais de maior condutividade térmica na fabricação do porta-ferramenta.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento Capes, CNPq e Fapemig, pelo apoio financeiro.

7. REFERÊNCIAS

- Beck, J.V.; Blackwell, B.; ST. CLAIR, C.,1985, "Inverse Heat Conduction: Ill-posed Problems." New York: Wiley-Interscience Publication, 308p.
- Borelli, J.E.; França, C.A.; Medeiros, C.F.; Gonzaga, A.,2001, "Análise da temperatura na região de contato entre a peça e a ferramenta.", Revista Máquinas e Metais, p. 114-125, Abril.
- Carvalho, S.R.; Lima E Silva, S.M.M.; Pinho, F.A. A.; Machado, A.R.; Guimarães, G.,2003, "Determinação da temperatura na interface cavaco-peça-ferramenta durante o processo de torneamento usando a técnica do simulated annealing.", Revista Ciência e Engenharia (CE-09), Universidade Federal de Uberlândia, MG, Brasil, Edição Especial COBEF2003, p.41-47.
- Chen, W.C.; Tsao, C.C.; Liang, P.W.,1997, "Determination of temperature distributions on the rake face of cutting tools using a remote method.", Int. Comm. Heat Mass Transfer, v.24, n.2, p.161-170.
- Chu, T.H.; Wallbank, J.,1998, "Determination of the temperature of a machined surface.", Journal of Manufacturing Science and Engineering, v.120, p. 259-263.
- D'errico, G.E., 1998, "An adaptive system for turning process control based on tool temperature feedback.", Journal of Materials Processing Technology, v.78, p. 43-47.
- Eu-Gené, N.G.,1995, "Measurement of tool/workpiece interface temperature when turning hardened tool steel PCBN.", Final Year Project, The University of Birmingham, England.
- Huda, M. A.; Yamada, K.; Hosokawa, A.; Ueda, T.,2002, "Investigation of temperature at tool-chip interface in turning using two-color pyrometer.", Journal of Manufacturing Science and Engineering, v.124, p.200-207.
- Jaspers, S.P.F.C.; Dautzemberg, J.H.; Tarminiau, D.A.,1998, "Temperature measurement in orthogonal metal cutting.", Int. J. Adv. Manuf. Technol., v.14, p. 7-12.
- Jen, T.C.; Gutierrez, G.,2000, "Numerical heat transfer analysis in transient cutting tool temperatures.", In: NATIONAL HEAT TRANSFER CONFERENCE, 34., Pittsburgh. Proceedings of the 34th National Heat Transfer Conference. Pennsylvania.
- Lazoglu, I.; Altintas, Y.,2002, "Prediction of tool chip temperature in continuous and interrupted machining.", International Journal of Machine Tools & Manufacture, v.42, p.1011-1022.
- Lima, F.R.S.,2001, "Modelagem tridimensional de problemas inversos em condução de calor: aplicação em problemas de usinagem.", 2001. 172f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- Radulescu, R.; Kapoor, S.G.,1994, "An analytical model for prediction of tool temperature-fields during continuous and interrupted cutting.", Journal of Engineering for Industry, v.116, p. 135-143.
- Shaw, M.C., 1984, "Metal Cutting Principles", Oxford University Press. 594p.
- Shet, C.; Deng, X.,2000, "Finite element analysis of the orthogonal metal cutting process.", Journal of Materials Processing Technology, v.105, p.95-109.
- Stephenson, D.A.,1991, "Assessment of steady-state metal cutting temperature models based on simultaneous infrared and thermocouple data.", Journal of Engineering for Industry, v.113, p. 121-128.

- Stephenson, D.A.; Jen, T.C.; Lavine, A.S.,1997, "Cutting tool temperatures in contour turning: transient analysis and experimental verification.", Journal of Manufacturing Science and Engineering, v.119, p.494-501.
- Tay, A. A.O.,1993, "A review of methods of calculating machining temperature.", Journal of Material Processing Technology, v.36, p.225-257.
- Trent, E.M.; Wright, P. K.,2000, "Metal Cutting.", 4^a. ed. Boston, USA, Butterworth-Heinemann, 446p.
- Vanderplaats, G.N.,1984, "Numerical optimization techniques for engineering design.", New York: Mc Graw-Hill College USA, 333 p.
- Yen, D.W.; Wright, P.K.,1986, "A Remote temperature sensing technique for estimating the cutting interface temperature distribution.", Journal of Engineering for Industry, v.108, p.252-263.

TEMPERATURE DETERMINATION IN THE CHIP-TOOL INTERFACE FROM THE 3D MODELLING OF THE TOOL AND TOOLHOLDER ASSEMBLY

Solidônio Rodrigues de Carvalho

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, João Naves de Ávila Avenue, 2160 - ZIP CODE: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.
srcarvalho@mecanica.ufu.br

Sandro Metrevelle Marcondes de Lima e Silva

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, João Naves de Ávila Avenue, 2160 - ZIP CODE: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.
metrevel@mecanica.ufu.br

Álisson Rocha Machado

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, João Naves de Ávila Avenue, 2160 - ZIP CODE: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.
alissonm@mecanica.ufu.br

Gilmar Guimarães

School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Campus Santa Mônica, João Naves de Ávila Avenue, 2160 - ZIP CODE: 38408-100, Uberlândia, Minas Gerais, Brazil.
gguima@mecanica.ufu.br

Abstract. *This work proposes the most possible realistic methodology to obtain the temperature in the chip-tool interface. Thus, the main objective of this work is to study this problem considering in the thermal model the tool and toolholder assembly. In this case, the transient three-dimensional heat conduction model discretized with a non-uniform grid is used for the calculation of the temperature. In this model, the variation of the heat convection coefficient with the temperature is also considered. The inverse heat conduction problem is solved by applying the Golden Section technique on the minimization of a square error function based on theoretical and experimental temperature obtained by thermocouples on accessible positions of the tool surface. Knowing the heat flux, it is possible to determine the distribution of the temperature through the direct solution of the thermal problem. The planning of experimental tests and machining parameters defined for each test are also studied in this paper. In this case the effects of cutting speed, feed rate and depth of cut on the cutting surface temperature are investigated. The estimated temperatures are in good agreement with experimental results.*

Keywords: *inverse problems, three-dimensional heat conduction, cutting temperature, optimization.*