

INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DE APLICAÇÃO DO FLUIDO DE CORTE NA TEMPERATURA DA INTERFACE CAVACO-FERRAMENTA

Déborah Oliveira Almeida ⁽¹⁾

Vítor Tomaz Guimarães Naves ⁽²⁾

Álison Rocha Machado ⁽³⁾

Márcio Bacci da Silva ⁽⁴⁾

(1), (2), (3) e (4) Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.408-100, Brasil.

Autores para correspondência: (1) deborah@mecanica.ufu.br; (2) vitortomaz@gmail.com; (3) alissonm@mecanica.ufu.br; (4) mbacci@mecanica.ufu.br.

Resumo: Este trabalho tem como objetivo verificar a influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta, utilizando um método estatístico de planejamento de experimento. O fluido foi aplicado individualmente na superfície de saída e na superfície de folga da ferramenta e depois nas duas simultaneamente, durante o torneamento de um aço de corte-fácil. A temperatura de corte foi medida utilizando o método do termopar ferramenta – peça. Foram variadas a taxa de avanço, a velocidade de corte e a concentração do fluido de corte. Neste trabalho a técnica do Planejamento Composto Central foi utilizada para determinar a influência das variáveis sobre a resposta, no caso a temperatura de corte. Os resultados mostraram que o fluido aplicado sobre-cabeça e entre a superfície de folga e a peça ao mesmo proporciona as menores temperaturas, apesar de temperaturas menores terem sido observadas durante o corte a seco.

Palavras-chave: Torneamento de aço de corte-fácil; Planejamento experimental, Fluido de corte, Temperatura de corte.

1. INTRODUÇÃO

Os aços de corte-fácil (*free cutting steels*) são aços especiais de construção mecânica que apresentam propriedades especialmente adequadas para facilitar a usinagem em primeiro lugar, e são empregados em elementos mecânicos de baixa responsabilidade, já que características como resistência a tração, ductilidade e resposta a tratamentos térmicos são consideradas secundárias [Evangelista e Machado, 2006].

Quando adiciona-se enxofre e manganês ao aço, ambos se combinam formando o sulfeto de manganês (MnS) que torna-se, na solidificação, uma inclusão não metálica, frágil, distribuída na matriz metálica. As partículas de sulfeto de manganês facilitam a usinagem basicamente por dois motivos:

- O cavaco, ao invés de contínuo, torna-se quebradiço em consequência da fragilização causadas pelas inclusões de sulfeto de manganês, o que viabiliza a produção seriada em máquinas automáticas;
- A aresta da ferramenta tem sua vida prolongada, pois é lubrificada pelo sulfeto de manganês.

Em relação à mesma liga Fe-C, a presença do MnS permite produzir peças usinadas mais complexas, mais precisas e com melhor acabamento, trabalhando com velocidades de corte, em máquinas de produção seriada, muito superiores às velocidades de corte utilizadas nos aços comuns.

Obtém-se significativo aumento na usinabilidade do aço adicionando-se chumbo e/ou bismuto, metais de baixo ponto de fusão não-miscíveis ao ferro, que normalmente se juntam às inclusões de sulfeto e melhoram a lubrificação da aresta de corte da ferramenta [Troiani, 2004]. O mecanismo preciso com que essas adições atuam para melhorar a usinabilidade ainda não está totalmente esclarecido, mas provavelmente deve-se à formação de uma película na interface cavaco-ferramenta, formada por constituintes de menores resistências ao cisalhamento do que a própria matriz. Isso possibilita utilizar maiores velocidades de corte, proporcionando maiores vidas das ferramentas, melhores acabamentos superficiais, menores forças de corte, temperaturas e potências de usinagem e melhor controle dos cavacos [Machado e Da Silva, 2004].

Existem vários métodos para medir a temperatura gerada durante um processo de usinagem, porém nenhum deles é absoluto. Um dos métodos mais utilizados, e que foi também aplicado neste trabalho, é o método do termopar ferramenta-peça. Neste método, a região de contato entre a ferramenta e a peça representa a junção quente (Q). A junção fria, ou junção de referência é mantida a 0°C. Um milivoltímetro indica o valor da f.e.m. gerada, e o sistema fornece os valores da temperatura em °C através de curvas de calibração. O termopar deve ser calibrado para cada par de materiais utilizados para a ferramenta e a peça [Machado e Da Silva, 2004]. É importante ressaltar que este método mede a temperatura média da interface cavaco-ferramenta, e não seu valor máximo [Sales, 1999]

A função dos fluidos de corte é introduzir uma melhoria no processo de usinagem, seja ela de caráter funcional (aquelas que conferem um melhor desempenho ao processo) ou de caráter econômico (aquelas que induzem a um processo mais econômico, como a redução do consumo de energia durante o corte, ou a redução do custo da ferramenta na operação) [Ferraresi, 1970]. Os fluidos podem ser lubrificantes, refrigerantes ou exercer as duas funções ao mesmo tempo. Como lubrificantes, eles agem para reduzir a área de contato entre o cavaco e a ferramenta, e como refrigerantes eles diminuem a temperatura de corte, tanto pelo aumento da dissipação do calor como pela redução da geração do mesmo. A fim de cumprir seu papel, o fluido deveria penetrar na interface cavaco-ferramenta até a ponta da ferramenta. Existem várias vias de aplicação do fluido: através da superfície de saída (sobre-cabeça), através da superfície de folga, na saída do cavaco (entre a superfície de saída da ferramenta e o cavaco) e diretamente da zona de aderência, injetando-se o fluido por dentro da ferramenta de corte. Várias pesquisas já foram feitas para avaliar a eficiência das direções de aplicação e resultados diversos foram encontrados, como Lauterbach (1952) que encontrou que a mais eficiente para a usinagem de aços é aplicar o fluido na superfície de folga da ferramenta [Machado e Da Silva, 2004].

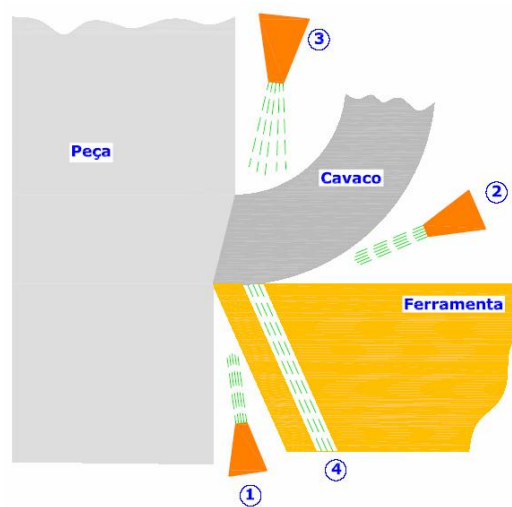


Figura 1: Vias de aplicação do fluido de corte: 1) através da superfície de folga; 2) na saída do cavaco; 3) sobre-cabeça; e 4) por dentro da ferramenta.

Ribeiro *et al.* (2003) encontraram que a temperatura aumenta com o aumento da velocidade de corte, e que avanços menores e a utilização de fluido de corte emulsionável na concentração de 5% produzem menores temperaturas de corte. Sales (1999) explica que os fluidos emulsionáveis possuem uma maior dificuldade em retirar calor da interface quando comparados a fluidos minerais ou sintéticos, por exemplo, pois, como são fluidos misturados à água, que possui um baixo ponto de ebulição, quando entram em contato com a peça quente a troca de calor e a evaporação do líquido é imediata. Isso reduz a temperatura da peça quente mas impede que nova quantidade de fluido penetre na interface cavaco-ferramenta, reduzindo a eficiência da troca de calor.

É comum aparecerem problemas em que precisamos estudar várias variáveis ao mesmo tempo, e as pesquisas que objetivam fornecer respostas rápidas às dúvidas existentes geralmente demandam muito tempo e muito material de trabalho, tornando seu custo bastante alto. O emprego de planejamentos experimentais baseados em princípios estatísticos ajuda a extrair do sistema em estudo o máximo de informações úteis, fazendo um número mínimo de experimentos, e por esse motivo seu uso vem crescendo e sendo aplicado nas mais variadas atividades científicas e industriais [Barros Neto et al, 2003].

O planejamento fatorial é uma técnica muito utilizada quando se tem duas ou mais variáveis independentes, pois permite uma combinação de todas as variáveis em todos os níveis, obtendo-se assim uma análise de uma variável sujeita a todas as combinações das demais. São muito úteis para medir os efeitos de uma ou mais variáveis na resposta, e o mais comum é utilizar um planejamento com dois níveis (2^n), no máximo três, já que o uso de mais níveis aumentaria muito o número de experimentos a serem realizados [Callado e Montgomery, 2003]. Apesar dessas vantagens, o planejamento fatorial a dois níveis permite apenas uma relação linear entre a resposta e as variáveis independentes, onde cada uma das n variáveis pode assumir apenas dois fatores, chamados nível superior (+) e nível inferior.

O Planejamento Composto Central (PCC) é utilizado quando se quer verificar a existência de termos quadráticos no modelo. Uma de suas características é a economia de experimentos em relação a um planejamento fatorial a 3 níveis, por exemplo. É composto de um planejamento fatorial a dois níveis (2^n), ou um fatorial fracionado (2^{n-p}), mais $2n$ pontos axiais ou estrela, mais n_c pontos centrais. Suas características principais são a rotacionalidade e a ortogonalidade.

No planejamento composto central têm-se cinco níveis para avaliar a influência dos fatores na resposta, e é isso o que garante que a superfície de resposta será quadrática, e não um plano como seria se houvesse apenas dois níveis. O software *Statistica* foi utilizado neste trabalho para planejar o experimento e para analisar os dados obtidos após o mesmo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado foi um aço de corte fácil ABNT 12L14, com a composição descrita na tabela 1. Os corpos de prova foram usinados com ferramentas de aço-rápido com 10% de Co em sua composição, no torno Revolution RV220 Diplomat, do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem - LEPU da Faculdade de Engenharia Mecânica - FEMEC da Universidade Federal de Uberlândia - UFU. Os corpos de prova possuíam dimensões apropriadas para a utilização do método do termopar ferramenta-peça durante uma operação de torneamento cilíndrico de desbaste.

Tabela 1: Composição do material utilizado nos testes

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% Al	% Pb	% N2
0.077	0.02	1.22	0.045	0.295	0.13	0.12	0.21	0.03	0.001	0.24	0.0086

Os seguintes níveis inferior e superior parâmetros foram variados:

- Velocidade de corte: 40 a 120 m/min
- Avanço da ferramenta: 0,1 a 0,2 mm/rev
- Concentração do Fluido: 3% a 10%
- Profundidade de corte fixa: 1,0 mm no diâmetro da peça

Essas condições foram repetidas com as aplicações do fluido na superfície de saída, na superfície de folga, nas duas superfícies simultaneamente, e a seco para efeito de comparação. Para cada método de aplicação do fluido de corte foi feita uma matriz de planejamento com todas as interações possíveis entre as variáveis. As tabelas foram geradas pelo software *Statistica 6.0*.

As temperaturas foram medidas utilizando o método do termopar ferramenta-peça previamente calibrado conforme descrito por Machado e Da Silva (2004), para o par aço-rápido / aço ABNT 12L14.

Foram adquiridas três temperaturas para cada condição e calculada a média, o que ajuda a minimizar o erro de medição. Também para minimizar o erro sistemático da medição, os experimentos foram feitos aleatoriamente.

Para aplicar o fluido na superfície de folga, e também nas duas superfícies da ferramenta ao mesmo tempo, foi utilizado um sistema de aplicação de fluido semelhante ao incluso na própria máquina, composto por um reservatório e uma bomba. E para medir as diferentes concentrações do fluido de corte durante os experimentos foi utilizado um refratômetro portátil da marca Atago, modelo N1.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das temperaturas obtidas foi feita uma análise de variância (ANOVA), e uma tabela de estimativa dos efeitos das variáveis na resposta foi gerada. Esta tabela fornece o valor do nível de significância (p) das variáveis e de suas interações entre si, e através de um gráfico de probabilidade foi possível também verificar quais as interações que tinham maior efeito na resposta. Foi utilizado um nível de confiabilidade de 95% para estimar os intervalos de confiança.

3.1. Aplicação do fluido de corte sobre-cabeça

Para a aplicação do fluido sobre-cabeça a análise de variância foi feita ignorando-se alguns efeitos que não tiveram um nível de significância suficiente. Encontrou-se que as variáveis que tinham maior influência na temperatura foram a velocidade de corte, a velocidade de corte ao quadrado e a concentração do fluido de corte ao quadrado, e a tabela da ANOVA está mostrada na tabela 2. O coeficiente de correlação R^2 obtido foi 0,905, que é um número muito bom.

Tabela 2: ANOVA – Efeitos significativos para aplicação do fluido sobre-cabeça

	SQ	GL (v)	Estimador da Variância (δ^2)	F	p	-95% (int. conf.)	+95% (int. conf.)
Conc (L)	414,1	1	414,08	0,5212	0,483128	-43,9690	21,9433
Conc (Q)	3181,9	1	3181,87	4,0048	0,066697	-2,2510	58,8553
Vc (L)	94488,9	1	94488,93	118,9260	0,000000	133,4030	199,3146
Vc (Q)	22590,9	1	22590,92	28,4335	0,000136	-105,9660	-44,8593
f (L)	398,2	1	398,15	0,5011	0,491504	-22,1570	43,7549
f (Q)	69,5	1	69,50	0,0875	0,772078	-26,3700	34,7361
1 x 2	257,8	1	257,76	0,3244	0,578670	-54,4120	31,7065
1 x 3	487,3	1	487,29	0,6133	0,447577	-27,4500	58,6682
2 x 3	659,1	1	659,06	0,8295	0,378992	-61,2120	24,9061
Resíduo	10328,7	13	794,52			-43,9690	21,9433
Total SS	133006,0	22					

A partir da análise dos desvios da média e dos intervalos de confiança pode-se ter uma idéia do comportamento das variáveis. Foi possível verificar que a velocidade foi a única variável que demonstrou um comportamento mais significativo, pois os intervalos de confiança calculados para o avanço e para a concentração do fluido foram muito grandes.

Após esta análise, foi gerado um modelo, que foi otimizado usando-se uma função do MatLab. Essa otimização aponta o conjunto de fatores que minimizam a temperatura, já que uma menor temperatura é desejável para não prejudicar a resistência da ferramenta. A otimização apontou que a melhor condição, no caso da aplicação de fluido sobre-cabeça, é aquela onde a velocidade de corte é a menor, aqui 40m/min (nível -1), e a concentração do fluido é também a menor, aqui 3,0% (nível -1). O algoritmo calculou qual seria a temperatura nestas condições e forneceu a resposta de 415°C. O meta-modelo gerado está mostrado na equação 1.

$$\text{TEMPERATURA} = 535.89 + 14.14 \times \text{Conc}^2 + 83.18 \times V_c - 37.72 \times V_c^2 \quad (1)$$

3.2. Aplicação do fluido entre a superfície de folga da ferramenta e a peça

A partir da análise de variância dos dados obtidos com a aplicação do fluido entre a superfície de folga e a peça, que pode ser vista na tabela 3, verificou-se que a variável que mais influenciava na temperatura era a velocidade de corte. O coeficiente de correlação obtido que não foi um número muito bom, visto que, quanto mais próximo da unidade este número estiver melhor será a representatividade do modelo. Para aumentar este coeficiente seria necessário realizar mais testes, mas antes disso, calcular o número de amostras necessárias para realizar estes testes e obter uma confiabilidade maior.

Tabela 3: ANOVA Efeitos significativos para aplicação entre a superfície de folga e a peça

	SQ	GL (v)	Estimador da Variância (Δ^2)	F	p	-95% (int. conf.)	+95% (int. conf.)
Conc (L)	2378,6	1	2378,59	0,39290	0,541631	-64,5762	117,3653
Conc (Q)	10907,3	1	10907,33	1,80169	0,202480	-31,9375	136,7386
Vc (L)	69894,8	1	69894,79	11,54533	0,004762	52,1087	234,0501
Vc (Q)	3516,8	1	3516,81	0,58091	0,459561	-114,0924	54,5837
f (L)	6066,8	1	6066,80	1,00212	0,335067	-48,8172	133,1243
f (Q)	2880,1	1	2880,09	0,47574	0,502487	-111,2645	57,4116
1 x 2	660,4	1	660,42	0,10909	0,746446	-137,0307	100,6873
1 x 3	1077,7	1	1077,68	0,17801	0,679980	-142,0719	95,6461
2 x 3	249,0	1	249,01	0,04113	0,842422	-130,0173	107,7007
Resíduo	78701,3	13	6053,94				
Total SS	176452,7	22					

Da mesma maneira, foram feitos gráficos mostrando o desvio das médias obtidas e os intervalos de confiança, com nível de 95% de confiabilidade. Foi observado que a velocidade foi a única variável que demonstrou um comportamento mais significativo, pois os intervalos de confiança calculados para o avanço e para a concentração do fluido foram muito grandes. Apesar do intervalo de confiança da velocidade de corte ter sido grande também, o nível de significância (p) calculado para essa variável foi menor do que o das outras variáveis.

O modelo matemático foi gerado após a análise, e foi otimizado usando-se uma função do MatLab. A otimização apontou que a melhor condição, no caso da aplicação de fluido entre a superfície de folga da ferramenta e a peça, é aquela onde a velocidade de corte é a menor, 40m/min (nível -1). O algoritmo calculou qual seria a temperatura nestas condições e forneceu a resposta de aproximadamente 360°C. O meta-modelo gerado está mostrado na equação 2:

$$\text{TEMPERATURA} = 431,36 + 71,54 \times V_c \quad (2)$$

3.3. Aplicação do fluido sobre-cabeça e entre a superfície de folga e a peça ao mesmo tempo

Durante a aplicação do fluido sobre-cabeça e entre a superfície de folga e a peça ao mesmo tempo, a variável que apresentou maior influência na temperatura de corte também foi a velocidade de corte. O coeficiente de correlação R^2 para esta condição, assim como na aplicação apenas entre a superfície de folga e a peça, também foi pequeno. Da mesma forma, para aumentar este coeficiente seria necessário realizar mais testes. A análise de variância dos dados obtidos pode ser vista na tabela 4.

Tabela 4: ANOVA Efeitos significativos para aplicação sobre-cabeça e entre a superfície de folga e a peça ao mesmo tempo

	SQ	GL (v)	Estimador da Variância (Δ^2)	F	p	-95% (int. conf.)	+95% (int. conf.)
Conc (L)	1602,2	1	1602,19	0,38836	0,543943	-53,435	96,7599
Conc (Q)	13273,0	1	13273,04	3,21727	0,096147	-11,817	127,4264
Vc (L)	49169,6	1	49169,64	11,91830	0,004289	44,909	195,1033
Vc (Q)	14709,5	1	14709,54	3,56547	0,081512	-130,474	8,7697
f (L)	10531,1	1	10531,08	2,55264	0,134122	-19,559	130,6353
f (Q)	2676,6	1	2676,60	0,64878	0,435034	-95,580	43,6641
1 x 2	677,7	1	677,66	0,16426	0,691856	-116,527	79,7119
1 x 3	2515,9	1	2515,93	0,60984	0,448836	-133,587	62,6514
2 x 3	1127,0	1	1126,96	0,27317	0,610008	-74,381	121,8570
Resíduo	53632,3	13	4125,56				
Total SS	150105,4	22					

Também aqui os intervalos de confiança calculados para as variáveis analisadas foram grandes, portanto podem não corresponder exatamente ao comportamento das variáveis analisadas. O modelo gerado para este método de aplicação do fluido de corte está mostrado na equação 3.

$$\text{TEMPERATURA} = 425,64 + 60,00 \times V_c \quad (3)$$

A otimização apontou que a melhor condição para é aquela onde a velocidade de corte é a menor, 40m/min (nível -1). O algoritmo calculou qual seria a temperatura nestas condições e forneceu a resposta de 366°C.

3.4. Experimentos sem aplicação de fluido de corte – Usinagem a seco

Para efeito de comparação, foram realizados testes sem a aplicação de fluido de corte, e também neste caso a variável que apresentou maior influência na temperatura foi a velocidade de corte. A análise de variância dos dados obtidos pode ser vista na tabela 5.

Tabela 5: ANOVA Efeitos significativos para os testes realizados a seco

	SQ	GL (v)	Estimador da Variância (Δ^2)	F	p	-95% (int. conf.)	+95% (int. conf.)
Vc (L)	17272,56	1	17272,56	5,404316	0,032729	6,5751	135,6784
Vc (Q)	11541,55	1	11541,55	3,611171	0,074489	-113,7449	5,9426
f (L)	9938,04	1	9938,04	3,109460	0,095803	-10,5999	118,5033
f (Q)	1529,93	1	1529,93	0,478692	0,498357	-40,2191	79,4684

1 x 2	0,65	1	0,65	0,000204	0,988761	-83,7693	84,9122
Resíduo	54333,15	17	3196,07				
Total SS	94674,22	22					

Também aqui os intervalos de confiança calculados para as variáveis analisadas foram grandes, portanto podem não corresponder exatamente ao comportamento das variáveis analisadas. O modelo gerado para esta situação, ou seja, sem a aplicação de fluido de corte, está mostrado na equação 4.

$$\text{TEMPERATURA} = 393,98 + 35,56 \times V_c \quad (4)$$

A otimização pelo MatLab apontou que a melhor condição para a temperatura de corte ser a menor possível é aquela onde a velocidade de corte é a menor, como era de se esperar, ou seja, 40m/min (nível -1). O algoritmo calculou qual seria a temperatura nestas condições e forneceu a resposta de 358°C. Deve-se salientar que a otimização foi feita utilizando-se o mesmo “chute inicial” em todos os modelos em que foi realizada.

3.5. Comparação entre os métodos

O gráfico da figura 2 mostra uma comparação dos diferentes métodos de aplicação. Ele foi feito baseado nos modelos de regressão obtidos. Como a velocidade de corte foi a variável mais significativa em todos os métodos de aplicação do fluido, ela foi variada do nível mínimo (40m/min) para o nível máximo (120m/min), e, para o caso da aplicação de fluido sobre-cabeça, foi utilizada a concentração do fluido de corte média, ou seja 6,5%, apenas para efeito de comparação. A partir deste gráfico, pode-se perceber que a melhor condição para a ferramenta, onde a temperatura obtida será menor, é a não aplicação do fluido de corte, ou seja, no corte a seco, utilizando-se a menor velocidade de corte.

As menores temperaturas foram observadas no corte a seco. Sabe-se que a aplicação do fluido de corte deve diminuir a temperatura, mas este resultado pode ser explicado pelo fato de que, como o fluido retira o calor da peça, isso promove uma redução no amolecimento do metal da peça. Assim, o metal mantém sua resistência em níveis elevados e maior energia será consumida para o cisalhamento do cavaco, o que proporciona maiores temperaturas na interface cavaco-ferramenta (Sales, 1999).

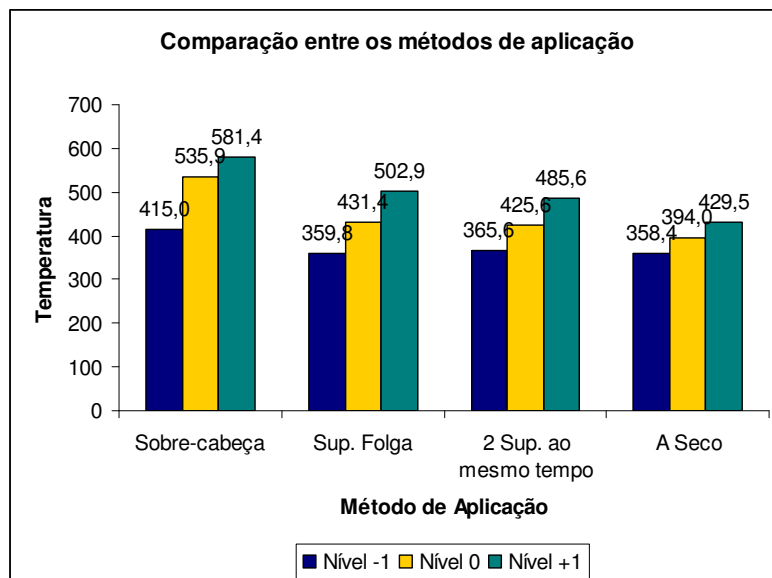


Figura 2: Comparação dos métodos de aplicação do fluido nas diferentes condições de corte

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, a variável que apresentou a maior influência na temperatura em todas as condições testadas foi a velocidade de corte, excetuando-se apenas a aplicação do fluido sobre-cabeça, ou seja, entre a superfície de saída da ferramenta e a peça, cuja temperatura dependia também da concentração do fluido de corte. Usando-se o meta-modelo gerado pela análise estatística, pode-se prever o comportamento aproximado da temperatura com a variação dos parâmetros analisados.

A temperatura para avanços crescentes tende a aumentar, mas esse fato não foi observado em nenhum dos métodos de aplicação do fluido de corte. Isso pode ter sido causado pelas características da interface cavaco-ferramenta, que provavelmente conseguiu manter uma camada de chumbo sobre a superfície de saída, diminuindo o coeficiente de atrito na interface cavaco-ferramenta. Apesar disso, essa hipótese depende de outros ensaios para ser confirmada. Este fato pode não ter sido notado apenas na faixa de avanço que foi escolhida para fazer os testes.

As altas temperaturas nos planos de cisalhamento primário e secundário diminuem a resistência do material e facilitam a retirada de material. Quando aplica-se um fluido refrigerante no conjunto peça-ferramenta a temperatura nos planos de cisalhamento primário e secundário diminui e a resistência do material aumenta, já que haverá o encruamento daquela região da peça. Portanto será necessária maior energia para a deformação do material e o cisalhamento do cavaco, o que aumentará a temperatura da interface cavaco-ferramenta. O efeito lubrificante do fluido de corte é mais evidente em temperaturas menores.

O melhor método de aplicação de um fluido seria aquele onde a refrigeração acontecesse apenas na superfície da ferramenta, para garantir a redução da temperatura da ferramenta, aumentando assim a vida da mesma, e para não impedir o efeito do amolecimento do material nas zonas de cisalhamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio financeiro, ao Instituto Fábrica do Milênio, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU, aos alunos de iniciação científica Marcelo Bidóia, Luis Fernando Fonseca, Marcos Vinícius Beraldo e Fábio Cunha e ao Recém-Doutor Rosemar Batista da Silva pelo auxílio na execução dos experimentos e na análise dos resultados.

6. REFERÊNCIAS

1. CALADO, V., MONTGOMERY, D. C., **Planejamento de Experimentos Usando o *Statistica***, Rio de Janeiro: E-Papers Serviços Editoriais, 2003, 260p.
2. CHIAVERINI, V., **Aços e Ferros Fundidos**, 6^a ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1990, 574 p.
3. EVANGELISTA, N., MACHADO, A. R., **Tendências no Desenvolvimento de Aços de Corte Livre**, Artigo submetido à revista Materials Science and Technology, Uberlândia, 2006.
4. FERRARESI, D., **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1977, 751 p.
5. GONÇALVES, V. V., **Processos de Usinagem**, São Paulo: SENAI, 2000.
6. LEAL, M. F., **Otimização do Comportamento Dinâmico de Veículos Usando Superfície de Resposta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.
7. MACHADO, A.R., DA SILVA, M.B., **Usinagem dos Metais**, apostila, 8^a versão, EDUFU, Uberlândia, 2004, 257 p.

8. NETO, B. B., SCARMINIO, I. S., BRUNS, R. E., **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**, 2ª ed., Campinas: Editora Unicamp, 2003, 401 p.
9. RIBEIRO, L.O., DA SILVA, R.B., MACHADO, A.R., **A Temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Refrigeração/Lubrificação**, In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2003, Uberlândia, MG.
10. SALES, W. F. ; MACHADO, A. R. ; GUIMARAES, G. . **Nem Sempre o Fluido com Maior Poder Refrigerante Garante Temperaturas de Corte mais Baixas**. Revista Máquinas e Metais, Aranda Editora, v. 407, p. 46-61, 1999.
11. SALES, W.F., **Determinação das Características Refrigerantes e Lubrificantes de Fluidos de Corte**, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1999.
12. TROIANI, F., **Aços resulfurados de corte fácil**, O Mundo da Usinagem, 27/06/2004, disponível em http://www.cimm.com.br/construtordepaginas/htm/3_20_3518.htm, Acesso em 30/06/2006.

INFLUENCE OF THE DIRECTION OF APPLICATION OF THE CUTTING FLUID IN THE TEMPERATURE OF THE CHIP-TOOL INTERFACE

Déborah Oliveira Almeida ⁽¹⁾

Vítor Tomaz Guimarães Naves ⁽²⁾

Álison Rocha Machado ⁽³⁾

Márcio Bacci da Silva ⁽⁴⁾

^{(1), (2), (3) e (4)} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2.121, Uberlândia – MG, 38.408-100, Brasil.

(1) deborah@mecanica.ufu.br; (2) vitortomaz@gmail.com; (3) alissonm@mecanica.ufu.br; (4) mbacci@mecanica.ufu.br.

Abstract: *The objective of this research is to verify the influence of the application of the cutting fluid in the temperature of the chip-tool interface, using a statistic method. The cutting fluid was applied individually in the rake face, in the flank face and in the both faces, during the turning of a free cutting steel. The temperature was measured by the tool-workpiece thermocouple method. The feed rate, cutting speed and the water based fluid concentration were ranged. The Central Composite Design technique was used to determine the influence of the cutting parameters in the cutting temperature. The results had shown that the temperatures were lower when the fluid was applied overhead and between the flank face and the workpiece at the same time, although lesser temperatures have been observed during the dry cutting.*

Palavras-chave: *Free-cutting steels machining; Experimental Design; Cutting fluids; Cutting Temperature.*