

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA DE USINAGEM EM AÇOS DE CORTE FÁCIL ATRAVÉS DO MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA-PEÇA

Ivanilson Sousa da Costa, LEPU - UFU, ivanilsonsousacosta@hotmail.com

Márcio Bacci da Silva, LEPU - UFU, mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo. A temperatura de corte é um importante parâmetro na usinagem de metais, podendo ser um critério para avaliação de usinabilidade de metais. O objetivo deste trabalho foi medir a temperatura de corte dos aços de corte fácil resulfurado ABNT 1214 e ao chumbo ABNT 12L14 através do método termopar ferramenta-peça. A metodologia utilizada nos ensaios e na calibração do método foi detalhada. Os resultados de temperatura obtidos através do método termopar ferramenta-peça mostraram que o aço de corte fácil ABNT 1214 apresenta temperaturas de usinagem mais altas que o aço de corte fácil ABNT 12L14 em toda faixa de avaliação.

Palavras chave: temperatura, aços de corte fácil, termopar ferramenta-peça

1. INTRODUÇÃO

Em usinagem praticamente toda a energia mecânica associada à formação do cavaco se transforma em energia térmica (calor). Grande parte deste calor gerado é dissipada pelo cavaco, uma pequena percentagem é dissipada pela peça e outra pelo ambiente. O restante vai para a ferramenta de corte, que muito contribuem para o desgaste da ferramenta (Diniz; Marcondes; Coppini, 2008; Machado *et al.*, 2011).

O monitoramento destas temperaturas é imprescindível para o bom desenvolvimento da usinagem de metais. Inclusive, a temperatura de usinagem pode ser um parâmetro para avaliação da usinabilidade de metais. O objetivo deste trabalho foi medir a temperatura de corte dos aços de corte fácil resulfurado ABNT 1214 e ao chumbo ABNT 1214 através do método termopar ferramenta-peça. Além disso, apresentar a metodologia para medição de temperatura de usinagem utilizada no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

2. MÉTODO DO TERMOPAR FERRAMENTA-PEÇA

O método do termopar ferramenta-peça mede a temperatura da interface cavaco-ferramenta por meio do fenômeno físico denominado “efeito Seebeck”. A experiência mostra que um circuito constituído por dois materiais diferentes é percorrido por uma corrente elétrica “i” desde que os contatos ou junções destes materiais estejam a temperaturas diferentes. Um circuito deste tipo, denominado par termoeletrico ou termopar, é uma fonte de força eletromotriz. O valor desta força eletromotriz gerada depende somente da natureza dos condutores e da diferença de temperatura entre os dois contatos (Borchardt; Gomes, 1979).

Utilizando o princípio do “efeito Seebeck”, a temperatura de usinagem pode ser medida. O material da peça e o material da ferramenta constituem um termopar. Isto ocorre porque, durante a usinagem, a zona de aderência entre a ferramenta e o cavaco garante a formação de uma junção (junta quente). Uma conexão elétrica para uma parte de menor temperatura da ferramenta forma a junção fria (junta fria).

A Figura (1) mostra um esquema geral do método do termopar ferramenta-peça. O ponto “Q”, de contato da peça com a ferramenta, representa a junta quente. Os pontos “F1”, “F2”, “F3” e “F4” representam as juntas frias. A cuba é preenchida com mercúrio até que seja estabelecido o contato elétrico do disco de contato com o elemento “E”, garantindo desta forma o fechamento do circuito. Os fios “A1” e “A2” fazem a conexão do sistema com o milivoltímetro “V” que indica o valor da força eletromotriz gerada (Machado *et al.*, 2011).

A relação entre a força eletromotriz gerada pelo termopar ferramenta-peça e a temperatura da junta é obtida através da calibração do sistema. Esta calibração é realizada para cada par de materiais e em faixas de temperaturas a que estes materiais estarão submetidos na usinagem. Um sistema de aquisição de dados é utilizado para medição da força eletromotriz e da temperatura gerada na junta quente, para posteriormente obter a curva de calibração.

A calibração do sistema termopar ferramenta-peça também pode ser realizada através de um aquecimento produzido por chama de maçarico a gás oxi-acetileno (Kaminise, 2012). O princípio é semelhante à calibração utilizando banho de sal aquecido por resistência elétrica (Ferraresi, 1970), entretanto, a calibração com maçarico a gás oxi-acetileno pode ser realizada na própria máquina-ferramenta, com os mesmos elementos usados em um ensaio de usinagem: ferramenta de corte, porta-ferramenta, corpo de prova e o elemento de aquecimento (pino metálico do material da peça ou cavaco).

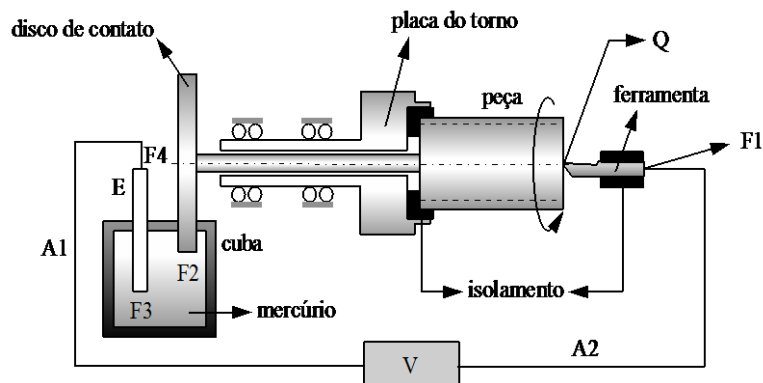


Figura 1. Esquema geral do método do termopar ferramenta-peça (adaptado de Machado; Da Silva, 2004, p.104)

A contra ponta utilizada por Kaminise (2012) foi modificada especialmente para conferir isolamento elétrico do corpo da máquina-ferramenta e permitir a continuidade do circuito elétrico, sem comprometer a sustentação do corpo de prova na usinagem. A continuidade elétrica do circuito foi obtida através do alojamento de uma cápsula de *Teflon*[®] com armazenamento de mercúrio no interior do cone morse da contra ponta. A Figura (2) apresenta os elementos da contra ponta rotativa modificada.

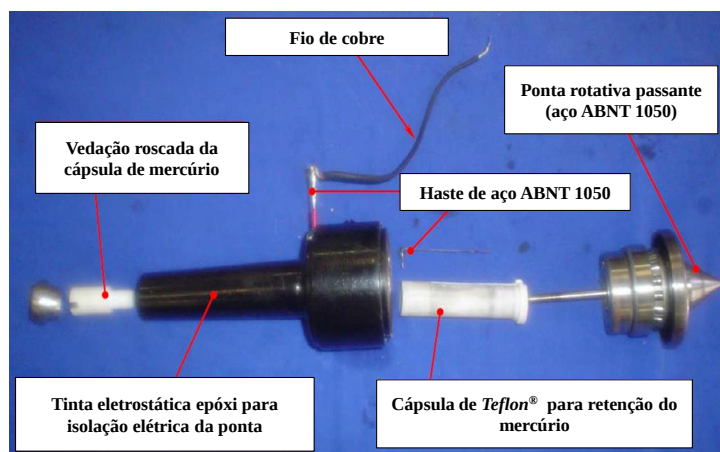


Figura 2. Conta ponta rotativa modificada para o método termopar ferramenta-peça (adaptado de Kaminise, 2012)

A ponta rotativa e a haste metálica da Fig. (2) fazem contato com o mercúrio retido na cápsula de *Teflon*[®], uma vez que ambos foram confeccionados com aço SAE 1050, a junta formada é de mesmo material. Desta forma, não há força eletromotriz adicional no sistema termopar ferramenta-peça proveniente desta junta. O cone *morse* foi isolado eletricamente através de pintura eletrostática à base de resina epóxi. O fio de cobre soldado à haste metálica da conta ponta fecha o circuito elétrico (Kaminise, 2012).

3. METODOLOGIA

Os ensaios de temperatura de usinagem foram realizados em torno eletrônico universal *Diplomat*[®] modelo *Revolution RV-220* de rotação máxima de 2500 rpm e potência de 8 kW.

O equipamento para medição de temperatura em usinagem consiste de uma unidade de aquisição, comutação e registro de dados *Agilent Technologies*[®] modelo 34970A comandado por computador através do programa *Agilent BenchLink Data Logger*. Este sistema é utilizado para adquirir os sinais dos termopares e da força eletromotriz gerada pelo termopar ferramenta-peça, tanto na calibração do método quanto na execução dos experimentos de usinagem.

Nas pesquisas mais recentes do LEPU, tem-se optado pela calibração do termopar ferramenta-peça através do aquecimento gerado por chama de maçarico a gás oxi-acetileno, de acordo com Kaminise (2012), em detrimento à calibração utilizando banho de sal aquecido por resistência elétrica (Ferraresi, 1970). Assim, a montagem experimental utilizada na calibração do termopar ferramenta-peça é apresentada na Fig. (3).

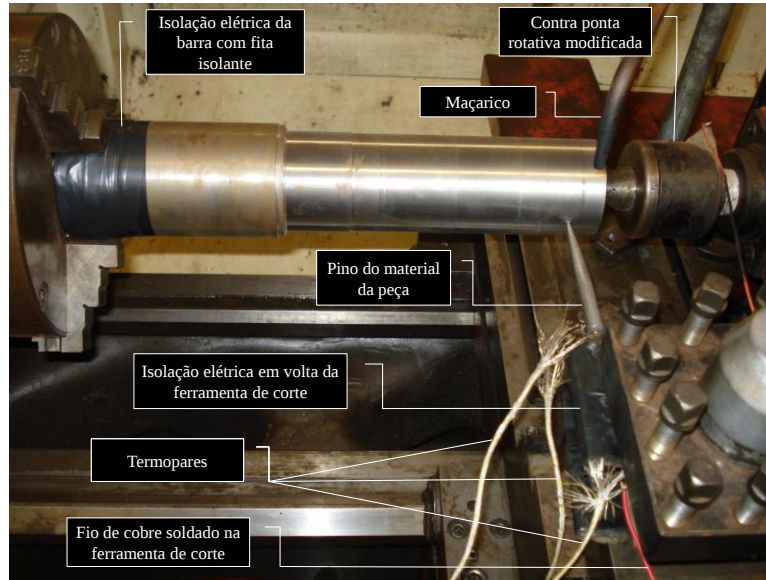


Figura 3. Montagem experimental da calibração do sistema termopar ferramenta-peça através do aquecimento gerado por chama de maçarico a gás oxi-acetileno

Um pino metálico do material da peça foi utilizado como elemento de aquecimento, ver Fig. (4). Isso ocorre caso o material da peça não produza cavacos contínuos. A função deste elemento de aquecimento é receber diretamente o calor (chama do maçarico) e conduzi-lo até a junta formada pelo contato entre pino metálico e ferramenta.

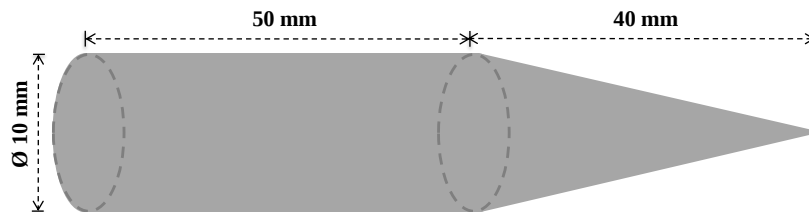


Figura 4. Geometria de pino metálico (elemento de aquecimento) utilizado na calibração do termopar ferramenta-peça

Durante a calibração, o aumento de temperatura induzido na junta pino metálico-ferramenta através da chama do maçarico é medido através de termopares do tipo K. Estes termopares são soldados sobre a cunha cortante da ferramenta, na superfície principal de folga e na superfície de saída, visando obter os valores de temperatura gerados na ponta da ferramenta. Também é soldado um termopar na face oposta à cunha da ferramenta, para controle da temperatura desta região, ver Fig. (3). Os termopares são fixados através de soldagem por descarga capacitiva.

A força eletromotriz originada pela variação de temperatura imposta pela calibração é medida através do sistema de aquisição de sinais utilizando um fio de cobre (bitola de 2 mm) soldado por descarga capacitiva na face oposta à cunha cortante, ver Fig. (3). De posse dos valores de temperatura da junta pino metálico-ferramenta e da força eletromotriz gerada, essas variáveis são correlacionadas, obtendo-se a curva de calibração do termopar ferramenta-peça.

A isolação elétrica é realizada utilizando folhas de lixa e fita isolante, entre a peça e a placa do torno. Da mesma forma, a ferramenta de corte é isolada do carro porta-ferramenta. A eficiência da isolação é examinada por meio de testes de continuidade elétrica utilizando multímetro digital.

Todos os ensaios de usinagem foram realizados sem a presença de fluido de corte.

4. RESULTADOS

4.1. Calibração do método termopar ferramenta-peça

As curvas de calibração apresentadas na Fig. (5) e Fig. (6) representam os resultados obtidos na calibração de aço de corte fácil ABNT 1214 (material I) e aço de corte fácil ABNT 12L14 (material II) utilizando a metodologia apresentada. Esta calibração é realizada com a mesma ferramenta de corte utilizada nos ensaios de medição de temperatura.

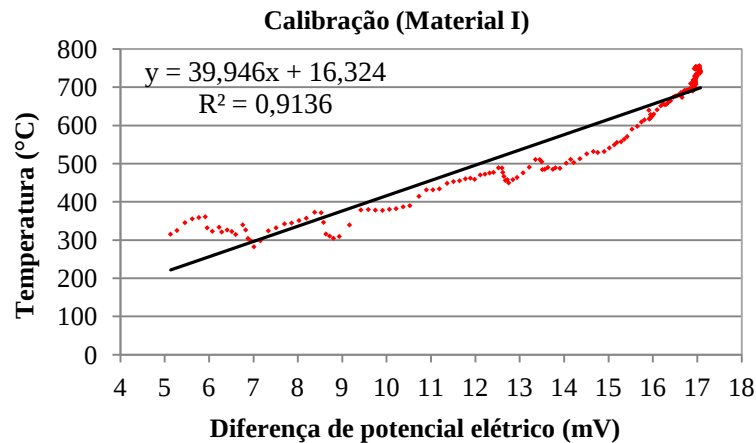


Figura 5. Curva de calibração para material I para $f = 0,15$ mm/volta e $a_p = 2,0$ mm

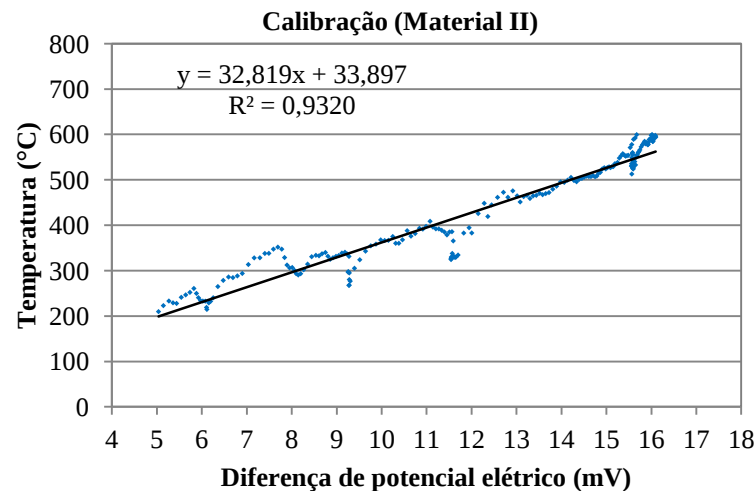


Figura 6. Curva de calibração do material II para $f = 0,15$ mm/volta e $a_p = 2,0$ mm

Através de regressão linear são obtidas as seguintes equações das curvas de calibração:

$$T = 39,946x + 16,324 \text{ (material I)} \quad (1)$$

$$T = 32,819x + 33,897 \text{ (material II)} \quad (2)$$

A variável x representa a diferença de potencial elétrico (mV) e a variável T representa a temperatura média da interface cavaco-ferramenta (°C).

4.2. Temperatura de usinagem

A Figura (7) apresenta os valores de temperatura de usinagem em função da velocidade de corte obtidos pelo método do termopar ferramenta-peça para o material I e material II, levando em consideração as respectivas curvas de calibração apresentadas na seção 4.1.

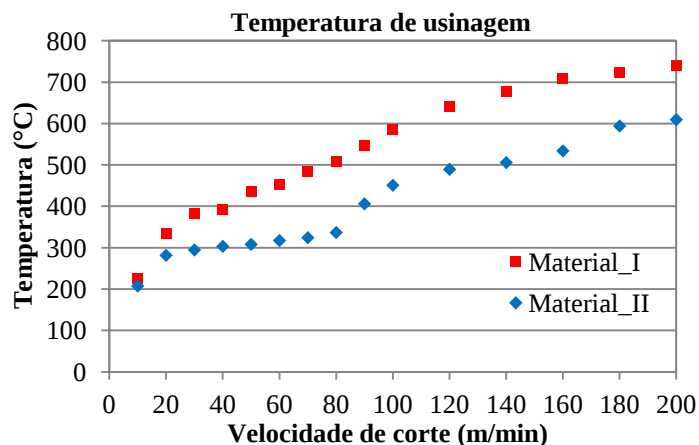


Figura 7. Temperatura de usinagem obtida pelo método do termopar ferramenta-peça para o material I e material II. Condições de corte: $f = 0,15$ mm/volta e $a_p = 2,0$ mm

O material I apresentou maiores temperaturas médias na interface cavaco-ferramenta em toda faixa de velocidade de corte. Desconsiderando os erros do sistema, a temperatura máxima alcançada pelo material I foi ligeiramente superior a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, enquanto que para o material II a temperatura de usinagem máxima foi de $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, ambos à velocidade de corte de 200 m/min .

5. CONCLUSÕES

Através dos ensaios de medição de temperatura de usinagem realizados conclui-se que o material I (aço de corte fácil resulfurado ABNT 1214) apresentou maiores temperaturas de usinagem que o material II (aço de corte fácil ao chumbo ABNT 12L14) em toda faixa de velocidade de corte ensaiada. O método do termopar ferramenta-peça foi detalhado e pode ser utilizado para avaliação da temperatura em processos de usinagem com bom desempenho.

6. REFERÊNCIAS

- Borchardt, I. G., Gomes, A. F., 1979, “Termometria Termoeletrica – Termopares”, Ed. Sagra S/A, Porto Alegre.
- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2008, “Tecnologia da Usinagem de Materiais”, São Paulo, Artliber, 6ª ed., 262 p.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 751 p.
- Machado, Á. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B., 2011, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, São Paulo: Blucher, 2ª ed., 397 p.
- Machado, Á. R., Da Silva, M. B., 2004, “Usinagem dos Metais”, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Universidade Federal de Uberlândia, Versão 8, Abril de 2004, 257 p.
- Kaminise, A. K., 2012, “Estudo da Influência do Material do Porta-ferramenta sobre as Temperaturas de Usinagem no Torneamento”, 105 f., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro às pesquisas do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU/UFU).

8. ABSTRACT

The cutting temperature is an important parameter in the metal cutting, which can be a criterion for evaluation of machinability of metals. The objective of this study was to measure the cutting temperature of free-machining steels AISI 12L14 and AISI 1214 through the tool/work thermocouple method. The methodology used in the testing and in the calibration method is detailed. The experimental results cutting temperature by the tool/work thermocouple method showed that the free-machining steel AISI 1214 show higher cutting temperatures that free-machining steel AISI 12L14 in all evaluation range.

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.