

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL DA TEMPERATURA DE USINAGEM NO CORTE ORTOGONAL DE ALUMÍNIO

José Aécio Gomes de Sousa, aeciosousa@yahoo.com.br¹
Frederico Mariano Aguiar, marianoaguiar@gmail.com¹
Marcelo do Nascimento Sousa, mascimento28@yahoo.com.br¹
Pedro Oscar Mundim, pedromundim@mec.ufu.br¹
Rodrigo Nogueira Cardoso, rodrignog@hotmail.com¹
Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br¹

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Av. João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG 38.400-089, Brasil.

Resumo: Durante os processos de usinagem, a retirada de material pela penetração e movimento da ferramenta de corte na peça consome uma grande quantidade de energia no processo de cisalhamento necessário para a formação do cavaco. Grande parte desta energia é transformada em calor que eleva as temperaturas da região de corte a valores consideráveis, dependendo do material usinado, dos parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, profundidade de corte), do material e geometria da ferramenta, do fluido de corte eventualmente empregado, entre outros fatores. Valores de temperaturas excessivamente altos podem comprometer a resistência e o desempenho da ferramenta, podendo promover, em alguns casos, falhas catastróficas. Diversos métodos de medição e modelagem da temperatura vêm sendo desenvolvidos, porém, poucos traduzem fielmente os valores e comportamento da temperatura na usinagem. O maior conhecimento das temperaturas alcançadas durante a usinagem pode favorecer a busca de entendimentos que possam resultar na redução dos mecanismos de desgastes e conseqüentemente, no aumento da vida da ferramenta. Nesta linha, este trabalho mede a temperatura da região de cisalhamento primário, utilizando um termopar fino (diâmetro 0,5 mm) do tipo T, inserido na peça, dentro da região que será cisalhada e transformada em cavaco durante o corte ortogonal no processo de aplainamento com ferramentas de aço-rápido. A evolução da temperatura é registrada continuamente, até o momento em que há a destruição do termopar por esmagamento dentro desta zona de cisalhamento. Foi avaliado a influência da velocidade de corte sobre o comportamento da temperatura de usinagem.

Palavras-chave: Temperatura de usinagem, Geração de calor, Região de cisalhamento primária, Aplainamento, Condições de corte.

1. INTRODUÇÃO

Uma das linhas de pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) é o estudo da formação do cavaco, incluindo a análise do comportamento da temperatura durante o processo de usinagem. Parâmetros de usinagem, como a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte, além da presença de fluido de corte, entre outros fatores, podem influenciar no comportamento da temperatura de usinagem.

A temperatura desenvolvida nas operações de usinagem sempre foi um fator preocupante para as ferramentas de corte (MACHADO et al., 2009). Além de acelerar os mecanismos de desgaste termicamente ativados, o aumento da temperatura reduz o limite de escoamento das ferramentas. Entretanto, segundo Nourari (2003), temperaturas elevadas podem também ser atingidas quando se usinam o alumínio, principalmente em ligas mais resistentes, como as ligas fundidas da classe 3XXX de Al-Si-Cu-Mg da linha automotiva e as ligas trabalháveis da classe 7XXX, de Al-Zn da linha aeronáutica. Segundo Casto et al. (1994), a medida da temperatura é o fator mais importante na investigação do uso de ferramentas permitindo, dessa forma, controlar os fatores que influenciam na vida e no desgaste das mesmas. A temperatura também influencia no controle dimensional e no acabamento superficial da peça (SUAREZ et al., 2008; SUAREZ et al., 2009). O aumento da temperatura também colabora para reduzir as forças e a potência de usinagem.

Em cada um dos processos de corte as temperaturas máximas situam-se em regiões específicas, bem próximas à aresta de corte, onde as tensões atuantes (normais e cisalhantes) são extremamente elevadas (TRENT e WRIGTH, 2000). Durante o corte dos metais existem três regiões de geração de calor, definidas como zona de cisalhamento primário, zona de cisalhamento secundário e zona de interface entre a peça e a superfície de folga da ferramenta (MACHADO et al., 2009). A Figura 1 mostra as regiões de geração de calor durante a usinagem.

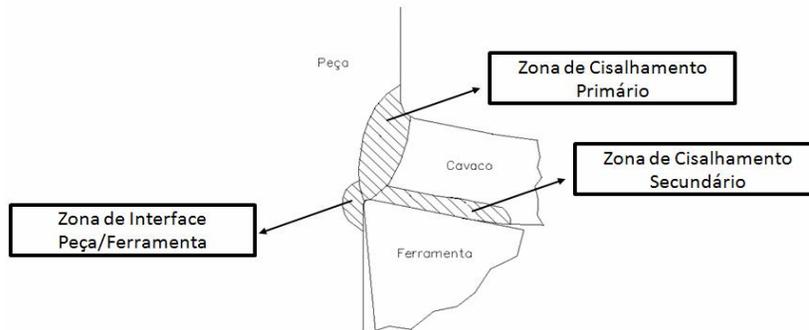


Figura 1 – Zona de geração de calor em usinagem. Adaptado de (MACHADO et al., 2009).

Segundo Machado et al. (2009), a zona de cisalhamento secundário é a principal fonte de calor responsável pelas altas temperaturas da ferramenta de corte, principalmente quando da usinagem de materiais duros e de alto ponto de fusão (aços, titânio, ligas de níquel, por exemplo). A temperatura na zona de fluxo depende da quantidade de trabalho realizado para cisalhar o material e da quantidade de material que passa pela mesma.

O calor gerado na zona de cisalhamento primário é, em sua maior parte, dissipado pelo cavaco e uma pequena parte é transmitida por condução para a peça, parte esta que não deve ser desprezada visto que pode causar erros de dimensionamento da peça. A zona de interface entre a peça e a superfície de folga da ferramenta pode se tornar uma importante fonte de calor para a ferramenta quando se usina com pequenos ângulos de folga ou com ferramentas com desgastes consideráveis (TRENT, 1984).

Diversos métodos de medições (RIBEIRO et. al., 2002; MELO et. Al., 2003) e modelagem da temperatura vêm sendo desenvolvidos (LIMA et. al., 2000; CARVALHO et al., 2006), porém, poucos traduzem fielmente os valores e comportamento da temperatura na usinagem. O maior conhecimento da temperatura atingida durante o cisalhamento dos materiais pode impulsionar pesquisas de novos materiais resistentes a altas temperaturas.

O objetivo deste trabalho é investigar o comportamento da temperatura de usinagem na zona de cisalhamento primário durante o corte ortogonal de aplainamento de alumínio. Os testes consideram a variação da velocidade de corte.

2. MÉTODO EXPERIMENTAL

Durante os experimentos utilizou-se como material o alumínio puro comercial com dureza média de 111 HB. Os testes foram feitos no corte ortogonal, utilizando uma plaina limadora STRIGON GH 560/M mostrada na Figura 2, que apresenta também o detalhe da ferramenta e do termopar soldado na peça.



Figura 2 – (a) Máquina-Ferramenta Plaina STRIGON GH 560/M e (b) Detalhe do termopar.

A Figura 3 mostra as dimensões da peça utilizadas nos experimentos e a posição de inserção do termopar para medir a temperatura de corte.

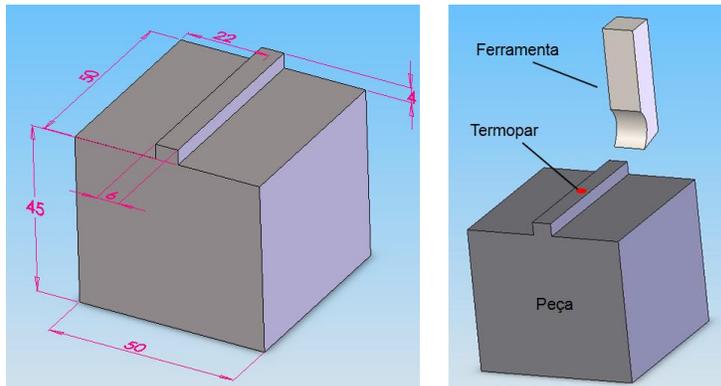


Figura 3 – a) Ilustração das dimensões do corpo de prova e b) Indicação da posição de inserção do termopar para medição da temperatura.

Para leitura da temperatura durante a usinagem foi utilizado um termopar tipo 'T' (Figura 4).

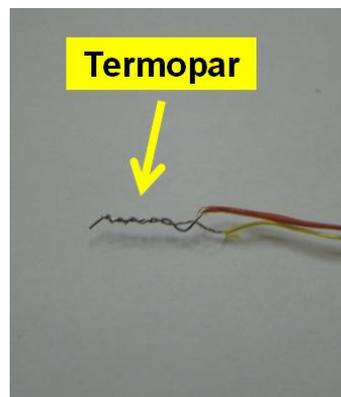


Figura 4 – Termopar tipo 'T'.

Para fixação do termopar na peça, foi feito um furo de 3 mm de diâmetro e 1,5 mm de profundidade (Figura 5).

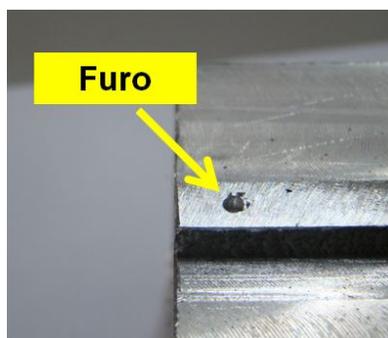


Figura 5 – Localização do furo na peça de teste.

Para a fixação do termopar na peça foi utilizado o princípio da solda por curto circuito gerado por descarga de um banco de capacitores (soldagem por descarga capacitiva). Essa solda tem por característica conseguir unir peças metálicas, inclusive de materiais diferentes, de maneira superficial em tempos muito curtos, que devem girar em torno de alguns milésimos de segundo. Devido ao tempo ser muitíssimo curto, não há aquecimento perceptível na peça, o calor de mais de 1200 °C é dissipado quase que instantaneamente, portanto, a probabilidade de haver uma deformação é também mínima (KERNIT, 2007). A Figura 6 mostra a seqüência de procedimentos utilizada para realização deste tipo de procedimento de soldagem durante os experimentos.

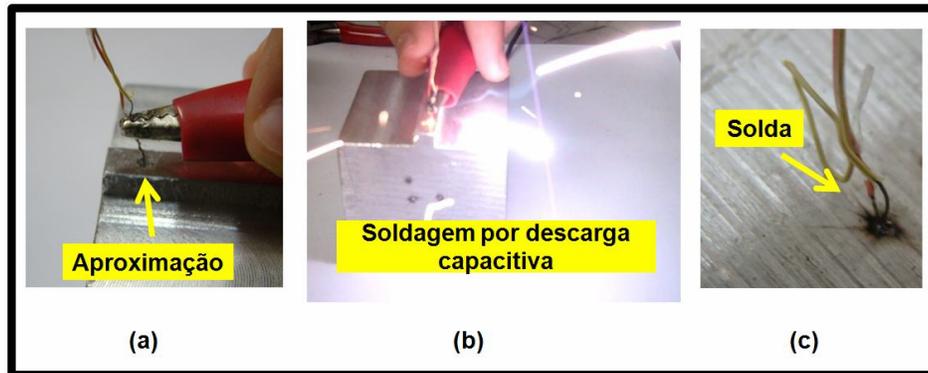


Figura 6 – a) Aproximação do termopar na peça; b) Soldagem por descarga capacitiva e c) Solda.

Com o termopar devidamente fixado na peça, este foi conectado por meio de cabos elétricos ao multímetro. Durante o processo de aplainamento, a ferramenta entra em contato com a peça e cisalha o material juntamente com o termopar (o termopar é destruído). A Figura 7 mostra a montagem do termopar na peça antes de iniciar o corte.

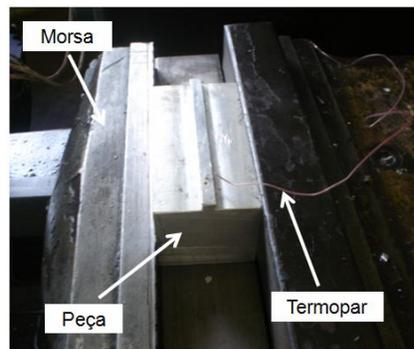


Figura 7 – Montagem do termopar na peça

As ferramentas utilizadas na usinagem foram bits de aço rápido. A montagem da ferramenta no suporte possibilitou a seguinte geometria: ângulo de saída $\gamma_o = 35^\circ$; ângulo de folga $\alpha_o = 13^\circ$; ângulo de posição $\chi_r = 90^\circ$, ângulo de posição secundário $\chi'_r = 0^\circ$ e ângulo de inclinação $\lambda = 0^\circ$.

Durante os testes de aplainamento, o número de golpes foi variado de 12, 18 e 25 golpes/minutos. Uma placa de aquisição de sinais Agilent 34970A foi utilizado para medição da temperatura de usinagem. Este equipamento foi conectado ao computador com *software* adequado para leitura de sinal de temperatura. Antes de iniciar os experimentos, foram realizados testes para verificar sua calibração.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se agora os resultados obtidos no aplainamento do alumínio. A Figura 8 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 12 golpes por minutos. Para este caso, a profundidade de corte utilizada neste experimento foi 1,5 mm. Nota-se que quando a ferramenta entra em contato com a peça, a temperatura se eleva bruscamente (ponto 'C'). Após o corte do material, a região de corte resfria até a temperatura ambiente (trecho CD).

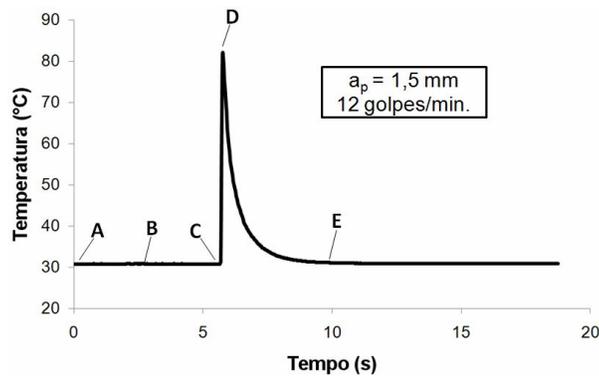


Figura 8 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 12 golpes/minuto.

Os trechos representados na Figura 8 podem ser assim explicados:

- Trecho AB – A ferramenta não entrou em contato com a peça;
- Trecho BC – A ferramenta entra em contato com a peça, porém não atinge a região próxima ao termopar;
- Trecho CD – A temperatura se eleva bruscamente devido o contato da ferramenta com a peça na região próxima ao termopar;
- Trecho DE – O cavaco resfria naturalmente ao ar (o termopar é arrancado junto com o cavaco).

A Figura 9 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 18 golpes por minutos. A profundidade de corte utilizada neste experimento foi 1,5 mm. Note que o comportamento desta curva é semelhante ao da Figura 8.

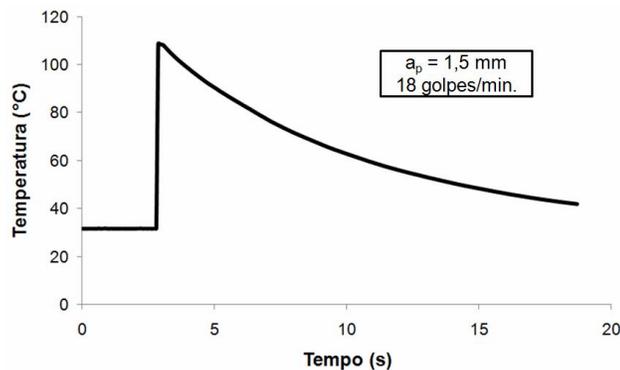


Figura 9 – Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 18 golpes/minuto.

A Figura 10 mostra o estudo do comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de aplainamento de 25 golpes por minutos. A profundidade de corte utilizada neste experimento também foi de 1,5 mm. Note que o comportamento desta curva é semelhante ao das Figuras 8 e 9.

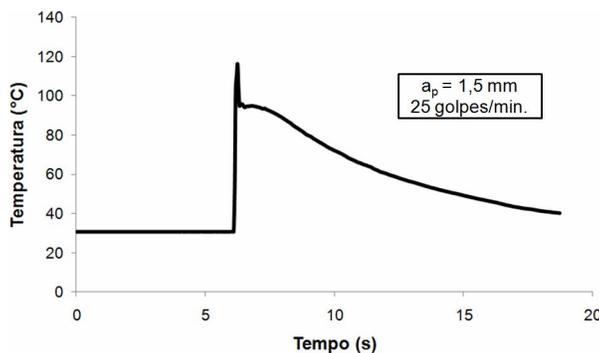


Figura 10 - Comportamento da temperatura em função do tempo para a velocidade de 25 golpes/minuto.

A Figura 11 mostra a comparação das curvas da temperatura em função do tempo para as três diferentes velocidades de corte (12, 18 e 25 golpes/min.) para a mesma profundidade de corte ($a_p = 1,5$ mm). Note que a velocidade de corte de 25 golpes/min foi a que atingiu a maior temperatura. Neste caso, o aumento da velocidade de corte gerou um aumento na velocidade de escoamento do cavaco e, conseqüentemente, ocasionou um aumento significativo da temperatura sobre a superfície de saída da ferramenta (NOUARI et al, 2005).

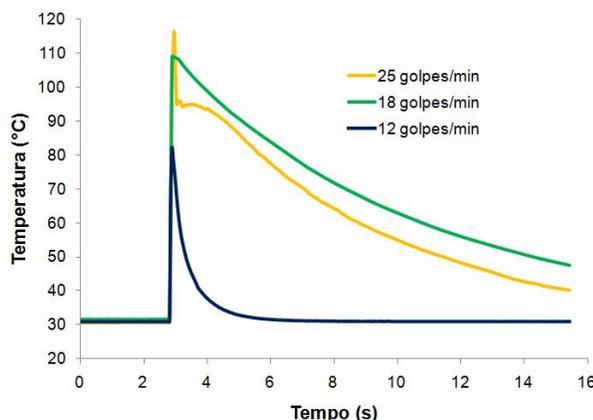


Figura 11 – Comparação entre as curvas de temperaturas para diferentes velocidades de corte.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho realizou um estudo do comportamento da temperatura na usinagem do alumínio puro. Foi avaliada a influência da velocidade de corte. Um termopar tipo ‘T’ foi fixado na peça por soldagem de descargas capacitiva. Durante o aplainamento, o termopar registrava a temperatura de corte através de um multímetro.

Os resultados mostraram que a maior temperatura foi alcançada quando se utilizou a maior velocidade de corte (25 golpes/min.). A curva da temperatura registrou uma elevação brusca quando a ferramenta cisalhou o material.

5. AGRADECIMENTOS

Às instituições FAPEMIG, CNPQ e CAPES pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Carvalho, S.R.; Silva, S.M.M.L.; Machado, A.R.; Guimarães, G., "Temperature Determination at the Chip-Tool Interface Using an Inverse Thermal Model Considering the Tool and the Tool Holder", Journal of Materials Processing Technology, Vol 179, 2006, pp 97 – 104.
- Casto, S.L.; Valvo, E.L.; Piacentini, M.; Lucchini, E.; Mashio, S.; Ruisi, V.F., "Cutting Temperatures Evaluation in Ceramic Tools: Experimental Test, Numerical Analyses and SEM Observations", Annals of the CIRP, vol. 43, 1994, pp 73-76.
- Kernit, "Manual do Proprietário - Fixator", vol.1, Indaiatuba – SP, 2007;
- Lima, F.R.S.; Machado, A.R.; Guimarães, G.; Guths, S., "Numerical and Experimental Simulation for Heat Flux and Cutting Temperature Estimation Using Three-Dimensional Inverse Conduction Technique", Inverse Problems in Engineering, vol. 8, 2000, pp 553-577
- Machado, A.R.; e Da Silva, M.B. ; Coelho, R. T; Abrão, A. M.- "Teoria da Usinagem dos Materiais" 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- Marcondes, F.C., Diniz, A.E., Coppini, N.L., "Tecnologia da Usinagem dos Metais", 4ªed., Editora Artliber, São Paulo, 2003.
- Melo, A.C.A.; Machado, A.R.; Silva, S.M.M.L.; Guimarães, G., "Estudo da Variação da Temperatura de Corte no Fresamento Frontal", 2º COBEF, Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia - MG, 18 a 21 de maio de 2003, Anais em CD – ROM, paper COF03-0813.
- Nouari M., List G., Gehin D., Gomez B., Manaud J., "Wear behaviour of cemented carbide tools em dry machining of aluminum alloy", França, 2005.
- Ribeiro, L.O.; Da Silva, R.B.; Machado, A.R., "Comportamento da Temperatura na Interface Cavaco-Ferramenta sob Diferentes Condições de Corte", 8º Colóquio de Usinagem, PUC-MG, Belo Horizonte, 31.05.2002, Anais em CD-ROM.
- Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R., "Influência dos Parâmetros de Corte no Acabamento de Canais em Alumínio Aeronautico 7075-T7", V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 25 a 28 de agosto de 2008, Salvador – BA. Anais em CD ROM – Artigo CON08-0317, 10 pags.

Suarez, M.P.; Costa, E.S.; Machado, A.R.; Abrão, A.M., “Precisão Dimensional em Canais Usinados na Liga de Alumínio 7075 – T7”, V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 14 a 17 de Abril de 2009, Belo Horizonte, MG, Anais em CD Rom, Artigo: 011072262, 7 pgs.
Trent, E.M.; Wright, P. K., “Metal Cutting”, 2ª ed., Butterworth-Heinemann, Woburn, USA, 2000.



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TEMPERATURE IN MACHINING OF ALUMINUM ORTHOGONAL CUTTING

José Aécio Gomes de Sousa, aeciosousa@yahoo.com.br¹
Frederico Mariano Aguiar, marianoaguiar@gmail.com¹
Marcelo do Nascimento Sousa, mnascimento28@yahoo.com.br¹
Pedro Oscar Mundim, pedromundim@mec.ufu.br¹
Rodrigo Nogueira Cardoso, rodrignog@hotmail.com¹
Álison Rocha Machado, alissonm@mecanica.ufu.br¹

¹Institution and address for third author Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlandia, Av. Joao Naves de Avila, 2121, Uberlandia, MG 38.400-089, Brazil

***Abstract.** During machining processes, the removal of material by penetration and movement of the cutting tool in the piece consumes a large amount of energy in the shear necessary for the formation of the chip. Much of this energy is transformed into heat which raises the temperature of the clipping region to values considerably, depending on the material being machined, the cutting parameters (cutting speed, feed, depth of cut), material and tool geometry, fluid cutting any employee, among other factors. Values of excessively high temperatures can affect the strength and performance of the tool, and can promote, in some cases, catastrophic failures. Several methods of measurements and modeling of temperature have been developed, but few accurately reflect the values and behavior of the temperature in machining. Greater knowledge of the temperatures reached during machining can facilitate the search for understandings that could lead to a reduction of wear mechanisms, consequently, increased tool life. In this line, this work measures the temperature of the primary shear region, using a thin thermocouple (diameter 0.5 mm) type T, inserted in the play within the region to be sheared and transformed into chips during the orthogonal cutting process planing tools with high-speed steel. The evolution of temperature is recorded continuously, until the moment that there is the destruction of the thermocouple by crushing within this shear zone. We evaluated the influence of cutting speed on the behavior of temperature machining*

***Keywords:** Temperature machining, heat generation, primary shear region, planing, cutting conditions.*