

ANÁLISE DA TEMPERATURA NA INTERFACE CAVACO-FERRAMENTA NO PROCESSO DE TORNEAMENTO EM UMA LIGA DE AÇO 1020 UTILIZANDO RESFRIAMENTO A AR

Gean Flávio Soares de Melo Nogueira, geanflavio@gmail.com¹
Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹
Bruno Júnio Quaresma Rezende, brunojunio.rezende@gmail.com¹
Maira Daniel Batista, mairabatistadaniel@gmail.com¹
Matheus Philippe Martins da Cruz, matheus-philippe2009@hotmail.com¹
Wellington Teixeira dos Santos, wts2006@yahoo.com.br¹
Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com²
Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br²

¹Centro Universitário UNA, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

Resumo: Para que as necessidades da sociedade sejam supridas, existe a necessidade de transformar matéria-prima em produtos, e para que isso seja possível, existem os processos de fabricação. Dentre estes processos, o que possui mais reconhecimento é a usinagem, que é caracterizada pela transformação da matéria prima em produto pela remoção de material em forma de cavaco. Devido à necessidade de aumentos de produtividade, de modo a se produzir mais rápido, com melhor qualidade ou com menor custo, o desenvolvimento tecnológico se fez necessário a essa área. Vários fatores afetam diretamente as condições de trabalho entre a ferramenta e a peça, sendo a temperatura da ferramenta um fator limitante para a produtividade, visto que a elevação da temperatura da ferramenta tem como consequência a redução da resistência à deformação plástica de seu material, criando condições favoráveis para os mecanismos de desgaste, prejudicando a produtividade destas operações. Os fluidos de corte são amplamente utilizados para reduzir as temperaturas na interface cavaco-ferramenta, entretanto, devido a algumas de suas características, faz-se interessante o uso de outros métodos para este resfriamento. O presente trabalho é um estudo sobre a utilização de ar comprimido para a redução da temperatura de usinagem, obtendo, através de experimentos, dados que comprovam sua eficácia.

Palavras-chave: usinagem, torneamento, temperatura, resfriamento, ar comprimido.

1. INTRODUÇÃO

Nas operações de usinagem, a retirada de material através da penetração da ferramenta de corte na peça resulta em uma geração de calor devido ao atrito, à deformação plástica e ao cisalhamento ocorrido. Dentre os vários fatores que afetam diretamente as condições de trabalho entre a ferramenta e a peça, a temperatura na ferramenta é um fator que limita bastante a produtividade das operações de usinagem. Velocidade de corte (vc), avanço (f), tipo de geometria da ferramenta de corte, condições da máquina e material da peça a usinar, além, é claro, da eventual aplicação de um fluido de corte, podem influenciar no comportamento da temperatura de usinagem, sendo a velocidade de corte a mais influente para velocidades moderadas. Tais temperaturas podem ser excessivamente altas e com isso comprometendo a resistência da ferramenta, acelerando o seu desgaste e também acarretando alterações dimensionais no item usinado. Mas também podem ser muito úteis, reduzindo a resistência ao cisalhamento da peça e diminuindo as forças e em consequência a potência de usinagem (CARVALHO; ABRÃO; RUBIO, 2004; SOUSA, J.; SOUSA, M., 2010; RIBEIRO; SILVA; MACHADO, 2003).

Durante o corte dos metais existem três regiões (Fig. 1) 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. O calor é gerado nas zonas de cisalhamento e conduzido para a peça, para o cavaco e para a ferramenta. O calor na zona primária de cisalhamento provém do trabalho de cisalhamento interno do material, enquanto nas outras duas zonas o calor vem do atrito e do cisalhamento interno provocados pela aderência entre as superfícies. O calor no plano de

cisalhamento pode até ser benéfico para a usinagem, pois aumenta a temperatura nas zonas primária e secundária e diminui a resistência mecânica do material da peça para dar continuidade à deformação plástica (efeito de amolecimento). Entretanto, em algumas situações o aquecimento da peça pode causar problemas dimensionais ou promover transformações de fase nas regiões próximas à superfície e, com isso, modificar as suas propriedades. A porção de calor transmitida à ferramenta é mais problemática. A elevação da temperatura da ferramenta tem como consequência a redução da resistência à deformação plástica do material da ferramenta e a criação de condições favoráveis para os mecanismos de desgaste termicamente ativados (SANTOS; SALES, 2005; MACHADO *et al.*, 2009).

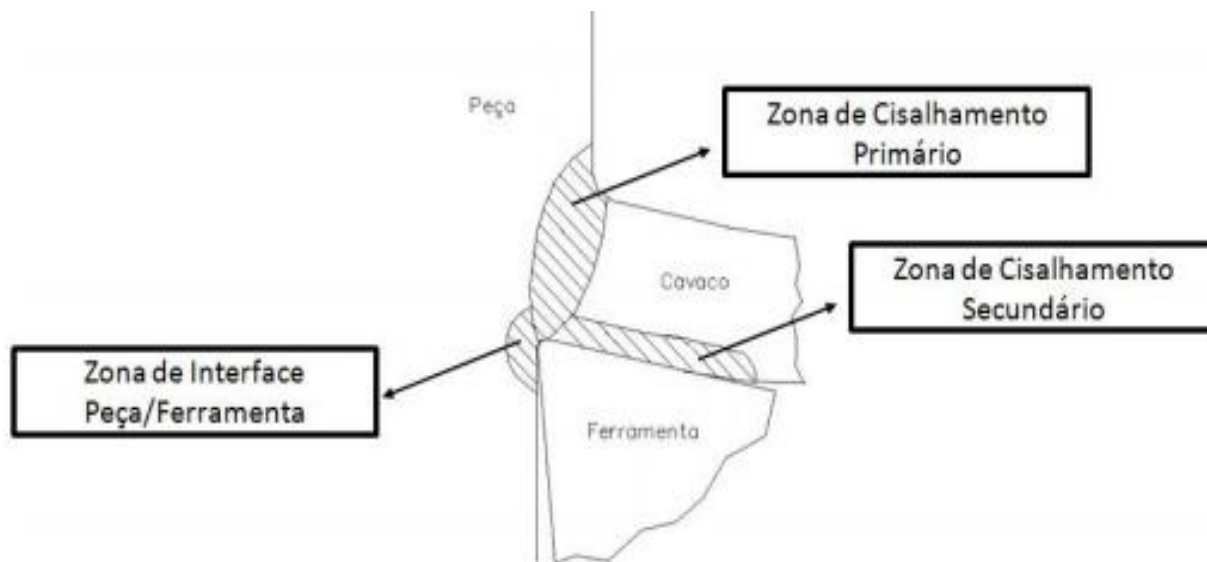


Figura 1. Zonas de geração de calor, adaptada de Sousa J. e Sousa M. (2010).

De um modo geral, pode-se entender usinabilidade como o grau de dificuldade de se usinar um determinado material. As propriedades de usinagem de um material expressam seu efeito sobre grandezas mensuráveis inerentes ao processo de usinagem, tais como a vida da ferramenta, o acabamento superficial da peça e os esforços de corte. Nos aços, o carbono é o principal elemento, capaz de afetar o desempenho desse material durante a sua usinagem. Aços-baixo carbono ($< 0,55\%$), em geral de baixa dureza (< 200 HB), são suscetíveis a formar APC, resultando em vida curta da ferramenta e em pobre acabamento superficial. No corte de ferro, aços e outras ligas de alto ponto de fusão que o problema da usinabilidade torna-se de grande importância para economia na engenharia da produção. Com estes metais de ponto de fusão mais elevados, o calor gerado no corte torna-se um fator de controle. Isto impõe restrições sobre a taxa de remoção de metal e o desempenho da ferramenta e, portanto, sobre custos de usinagem (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2008; TRENT; WRIGHT, 2000; MACHADO *et al.*, 2009).

Como as ferramentas de aço-carbono e de aço-liga devem ser usadas a baixas temperaturas, é essencial que se use uma refrigeração adequada. Os aços rápidos também requerem uma refrigeração eficiente, e na usinagem de materiais tenazes, aditivos anti-solda devem ser usados. Sendo assim, os fluidos de corte são partes integrantes dos processos de fabricação de peças cujas funções são refrigerar, lubrificar, melhorar o acabamento de superfície, reduzir o desgaste das ferramentas, remover os cavacos da área de corte entre outros. A seleção e o uso correto do fluido de corte influenciam diretamente sobre a qualidade de acabamento das peças, a produtividade, o custo operacional, a saúde do trabalhador e meio ambiente (VIEIRA *et al.*, 2012; MACHADO *et al.*, 2009).

No entanto, as vantagens causadas pelos fluidos de corte líquidos foram questionadas ultimamente devido aos vários efeitos negativos que causam. Quando manipulados de forma inadequada, podem danificar o solo e os recursos hídricos, causando sérias perdas para o meio ambiente. Na indústria mecânica aparecem como um dos principais agentes poluidores nos processos de usinagem, o que requer cuidados especiais para o seu gerenciamento ambiental. Entre os gases, o ar é o fluido gasoso mais comum. Alguns gases são utilizados, em alguns casos, para prevenir a oxidação da peça e dos cavacos. Contudo, pesquisas vêm sendo realizadas visando adequar a possibilidade da real da utilização de gases em larga escala como o argônio, hélio, nitrogênio e CO_2 segundo os requisitos de qualidade e produtividade para as peças usinadas (DHAR; KAMRUZZAMAN; AHMED, 2006; VIEIRA *et al.*, 2012; DA SILVA; BIANCHI; DE OLIVEIRA, 1999).

Sendo assim, diante das influências da temperatura e as consequências negativas do uso do fluido de corte líquido, o presente trabalho teve por objetivo a construção e validação de um sistema de refrigeração por ar comprimido no torneamento de uma liga de aço-carbono ABNT 1020. Todos os parâmetros de cortes foram mantidos constantes com o objetivo de avaliar sua influência na temperatura de usinagem. O sistema de medição de temperatura utilizado foi capaz de mostrar seu comportamento ao longo de todo o comprimento de usinagem. Além disso, foi possível analisar visualmente o desgaste das ferramentas utilizadas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do estudo estabeleceu-se como padrão três repetições para cada condição enunciada (Tab. 1), resultando no total de seis ensaios. Com o intuito de avaliar somente as influências da refrigeração na temperatura, todos os parâmetros de cortes foram mantidos constantes, sendo os corpos de prova usinados em apenas um passe. Utilizou-se uma ferramenta para cada condição.

Tabela 1. Grupos de testes.

Usinagem a seco	Usinagem com refrigeração a ar
Corpo de prova 1	Corpo de prova 4
Corpo de prova 2	Corpo de prova 5
Corpo de prova 3	Corpo de prova 6

2.1. Máquina-ferramenta, instrumentos de medição e ferramenta de corte utilizada no estudo

A máquina-ferramenta utilizada no estudo foi o torno mecânico profissional de bancada Mr-334 Manrod, 1,0kW de potência, velocidades de 150 – 300 – 500 – 600 – 1000 – 2000 rpm e avanços/rotação de 0,07 – 0,10 – 0,14 – 0,20 – 0,28 – 0,40 mm/volta.

A medição de temperatura foi realizada através da sonda de aço inoxidável, termopar tipo K, sensor de alta temperatura com faixa de medição de -100 a 1250 C° (Fig. 2).



Figura 2. Sonda termopar tipo K.

Para as ferramentas de corte, foram adquiridos bits da Tool Master de seção transversal quadrada de 1/2" x 4", fabricados conforme norma DIN 4964. Com o objetivo de mensurar a temperatura o mais próximo possível da região de corte, efetuou-se um furo de 5 mm de diâmetro e 8 mm de profundidade, inclinado a 45° no centro da face lateral das ferramentas a 12,7 mm da extremidade. Devido a natureza de funcionamento do termopar, foi necessário revestir as ferramentas com um material isolante. A Figura 3 ilustra uma das ferramentas de corte do estudo.



Figura 3. Ferramenta de corte utilizada no torneamento.

2.2. Montagem do sistema de refrigeração e medição de temperatura

A Tabela 2 mostra os componentes do sistema de refrigeração proposto.

Tabela 2. Componentes do sistema de refrigeração.

Item	Quantidade
Compressor de Ar Pressure ATG2 15/175 V-3HP com deslocamento de ar de 15 pés ³ /min e reservatório de 175 litros	01
Microcontrolador placa Arduino Mega 2560	01
Módulo MAX6675	01
Kit flexível com válvula 1/4"	01
Bucha redução galvanizada 1/2"x1/4"	01
Registro esfera 1/2"	01
Fita veda rosca (m)	05
Suporte	01
Mangueira para ar comprimido (m)	15
Espigão	02
Abraçadeira	02

O registro foi utilizado como base para o sistema montado, já que ele era o maior dos componentes. A partir do registro foram acrescentados um espigão, de modo que a mangueira utilizada como rede de ar pudesse ser conectada ao sistema, e uma bucha de redução, que permitiu a conexão de kit flexível utilizado para conseguir um melhor direcionamento do fluxo de ar para a ferramenta. A Figura 4 abaixo mostra o sistema descrito. Para os testes utilizou-se o sistema em sua vazão máxima.



Figura 4. Componentes para aplicação do ar comprimido.

Com objetivo de monitorar a temperatura ao longo do comprimento de usinagem e posteriormente gerar um gráfico com tais parâmetros, utilizou-se o microcontrolador Arduino e o módulo MAX6675. A Figura 5 indica as conexões realizadas entre o termopar e os demais componentes citados.

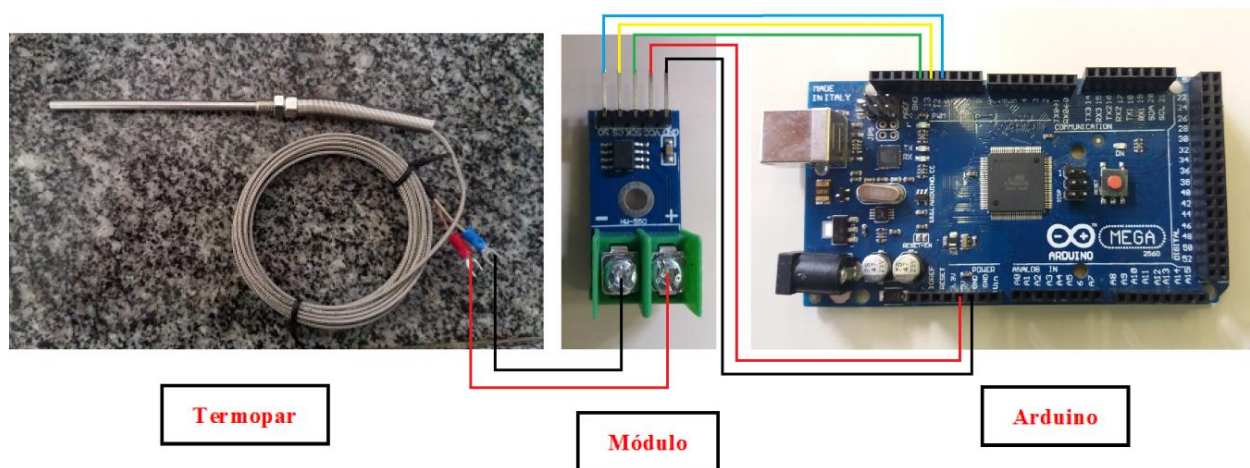


Figura 5. Conexão dos componentes eletrônicos para medição e monitoramento da temperatura.

Posteriormente a placa foi ligada a um notebook para a programação, monitoramento, controle e alimentação do sistema durante os testes. A partir de um comando, via entrada pelo teclado, o sistema iniciava as medições de temperatura em sincronização ao tempo de usinagem (contador interno), permitindo assim a construção dos gráficos de temperatura em função do tempo.

2.3. Preparação dos corpos de prova e parâmetros de usinagem

O material usinado foram tarugos padronizados de aço ABNT 1020 de 25,4 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento. Eles foram preparados com um desbaste de limpeza resultado em um diâmetro de 25 mm. Um canal foi usinado para servir de referência ao limite de comprimento de usinagem. E devido ao comprimento dos corpos e a ocorrência de vibração, fez-se necessário a usinagem de furos de centro. A Figura 6 ilustra um dos corpos de prova preparado.



Figura 6. Tarugos padronizados de aço 1020.

Baseado nas especificações da ferramenta, dimensões dos corpos de prova e as características da máquina-ferramenta foram definidos os seguintes parâmetros de usinagem, conforme a Tab. 3.

Tabela 3. Parâmetros de corte estabelecidos.

Avanço	0,14mm/ver
Profundidade de corte	1mm
Rotação disponível	300 RPM
Velocidade de corte calculada	23,56m/min
Tempo de usinagem	2,38min ou 143s

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação da temperatura

A Figura 7 mostra os resultados obtidos na usinagem a seco. Como esperado, a temperatura da ferramenta, que antes se encontrava em equilíbrio com o ambiente, eleva-se gradativamente conforme mais energia térmica era disponibilizada, e como o termopar se encontrava a certa distância das zonas de cisalhamento, as temperaturas máximas atingidas foram de mais de 55°C. E, dentre estas curvas, percebe-se ainda que a correspondente ao Corpo 2 não está completa, isso deve-se ao fato de que o sistema falhou e não pôde completar todas as medições programadas. Depois do término da usinagem, no tempo de 102 segundos, percebeu-se leve aumento da temperatura, isso indica que apesar da parada da geração de calor a energia não estava perfeitamente distribuída dentro da ferramenta. Com o tempo extra para que a temperatura pudesse ser normalizada em toda a ferramenta, as temperaturas máximas puderam ser atingidas. Cessada a geração de calor, a ferramenta abaixou sua temperatura perdendo calor para o ambiente.

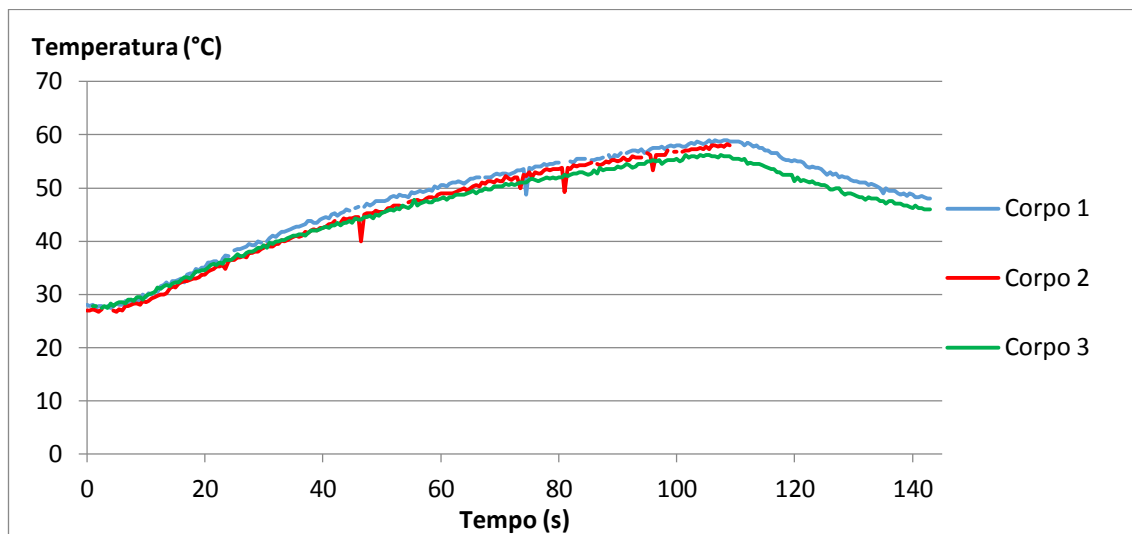


Figura 7. Temperaturas atingidas sem o sistema de resfriamento.

A Figura 8 mostra os resultados obtidos na usinagem com o sistema de refrigeração, no qual o ar comprimido foi direcionado para as zonas de cisalhamento durante todo o comprimento de usinagem. Nota-se a concordância entre os valores medidos, visto que as três curvas estão praticamente sobrepostas. Assim como nos ensaios anteriores o tempo de usinagem foi de aproximadamente 102 segundos, e pode-se notar que os valores máximos de temperatura estão próximos a esse ponto, entretanto, com o uso do sistema de resfriamento, as temperaturas máximas foram de aproximadamente 30°C.

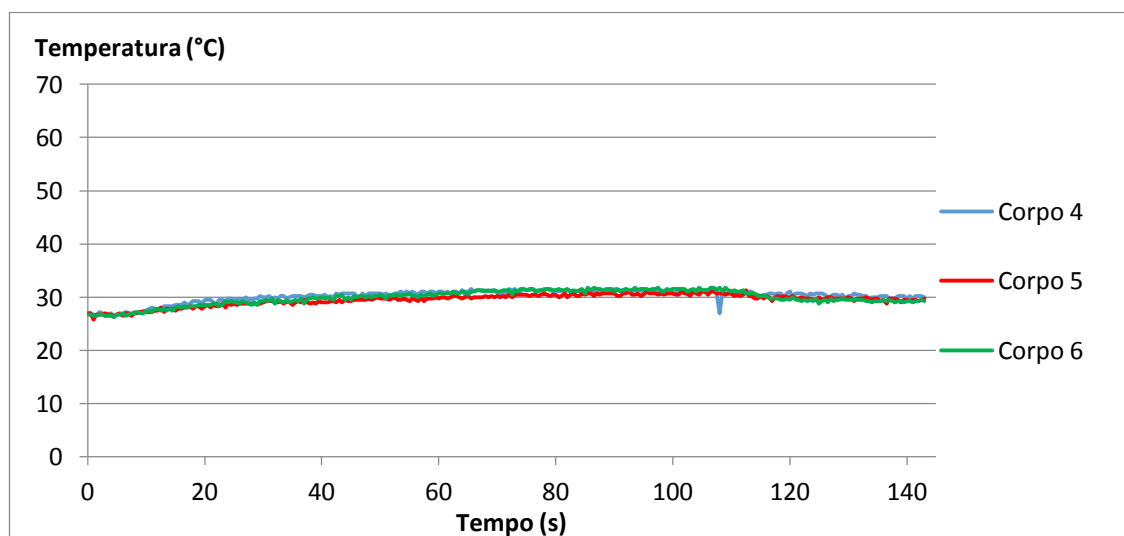


Figura 8. Temperaturas atingidas com o sistema de resfriamento.

Para uma melhor visualização e comparação dos resultados, as temperaturas obtidas nos dois grupos de ensaios foram plotadas em um único gráfico (Fig. 9) no qual as duas linhas apresentadas correspondem às médias dos três ensaios para cada condição proposta. É visível a diferença de temperaturas atingidas, onde a temperatura máxima que estava em torno de 57,75°C foi reduzida a 31,33°C, comprovando a eficácia do sistema de refrigeração.

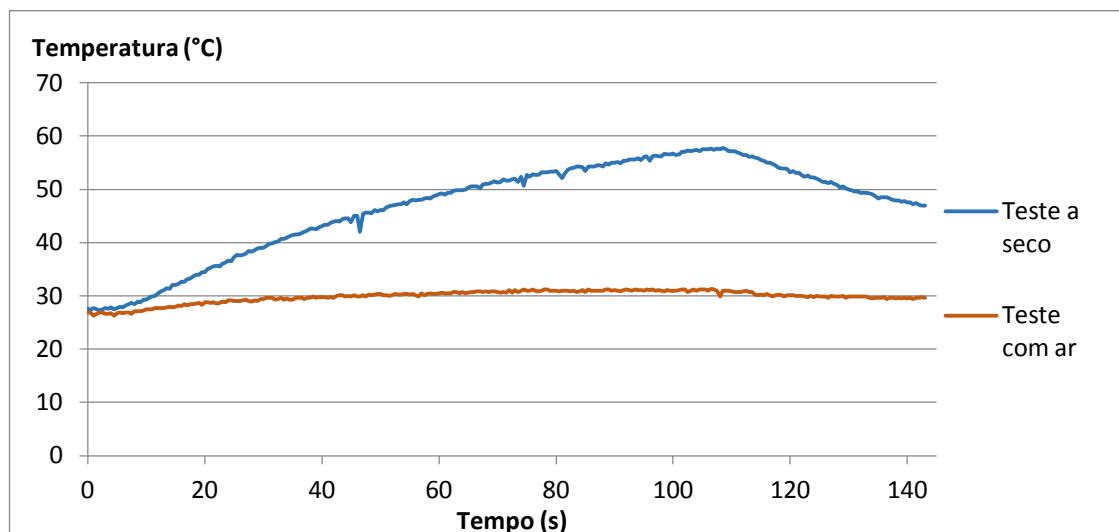


Figura 9. Comparativo entre as temperaturas médias atingidas.

3.2. Análise de desgaste das ferramentas de corte

Outro comparativo entre os dois grupos de testes são os estados finais das ferramentas utilizadas, essa análise pode ser feita a partir da observação da Fig. 10, onde são apresentadas ambas as ferramentas. Observa-se a maior ocorrência de formação de APC e região termicamente afetada na ferramenta utilizada na usinagem a seco. Santos e Sales (2005) dizem que a formação da Aresta Postiça de Corte, APC, ocorre durante a usinagem a baixas velocidades de corte, a partir de uma porção de material encruado que se posiciona entre a superfície de saída da ferramenta e o cavaco em formação.

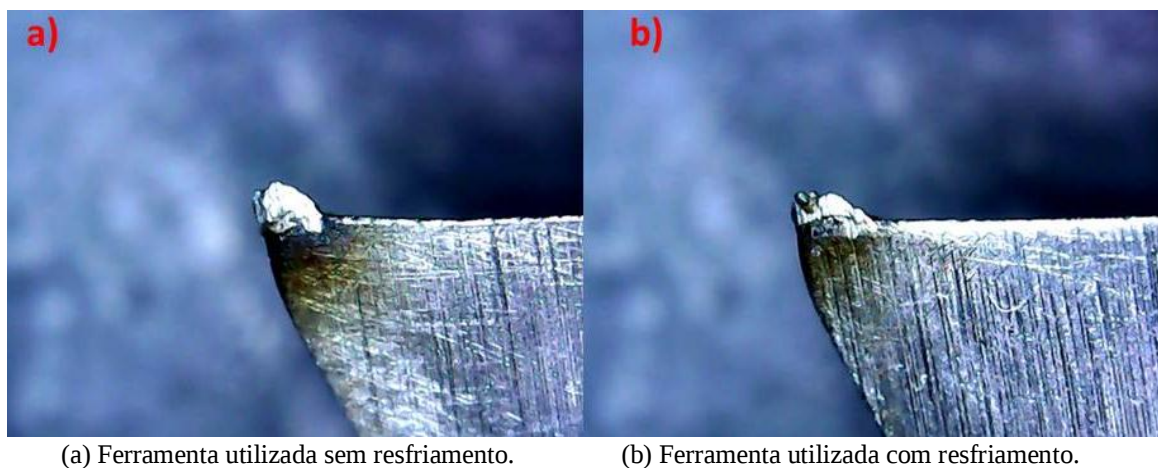


Figura 10. Ferramentas após realização dos testes.

O fenômeno da formação da APC ocorre na interface cavaco-ferramenta, onde a primeira camada do material da peça que se une à ferramenta por meio de ligações atômicas é endurecida a frio, aumentando, assim, seu limite de escoamento e, por conseguinte, a tensão de cisalhamento torna-se insuficiente para romper tais ligações. As deformações, então, continuam nas camadas superiores adjacentes, mais afastadas da interface, até que estas estejam também encruadas o suficiente, e, pela repetição desse processo em uma sucessão de camadas, a APC é formada. O tamanho da APC não pode aumentar indefinidamente. Quando o seu tamanho atinge um valor no qual a tensão de cisalhamento é suficiente para mudar a zona de cisalhamento primária, que até então estava acima da APC, para dentro do corpo desta, parte de sua estrutura é cisalhada e arrastada entre a superfície da peça e a superfície de folga da

ferramenta. Essa ruptura e arrastamento também podem ocorrer entre a superfície inferior do cavaco e a superfície de saída da ferramenta (MACHADO *et al.*, 2009; SANTOS; SALES, 2005).

Por sua vez, Trent e Wright (2000) dizem que muito mais informações sobre a distribuição da temperatura perto da ponta das ferramentas podem ser obtidas usando a própria ferramenta para monitorar a temperatura, tendo isso em mente, por meio da observação, nota-se que uma maior coloração térmica na ferramenta sem resfriamento, o que corrobora os resultados observados através do termopar.

4. CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, percebe-se que este trabalho cumpriu com os objetivos propostos de construção e validação de um sistema de resfriamento a partir do uso de ar comprimido. Foi provada a funcionalidade do sistema de refrigeração, observando a variação de temperatura entre os experimentos no qual houve uma redução percentual de 45,75% da temperatura com a utilização do sistema. Faz-se notar que apesar das dificuldades apresentadas para o domínio da medição de temperatura a partir da condição proposta (medições constantes durante todo o comprimento de usinagem), as ferramentas utilizadas cumpriram bem seu papel, permitindo que a relação tempo/temperatura pudesse ser feita. Como o sistema foi testado em sua capacidade máxima de fluxo de ar, faz-se necessária agora a sua avaliação em diferentes condições de vazão, de modo a se ter um melhor quadro de funcionamento.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Centro Universitário UNA por ceder seus laboratórios, equipamentos e ferramentas, necessários a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Carvalho, D. S.; Abrão, A. M.; Rubio, J. C. C. “Monitoramento da temperatura de usinagem”. In: XI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, 2004, Nova Friburgo. Anais do XI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, 2004.
- Da Silva, E. J.; Bianchi, E. C.; De Oliveira, J. F. G. “Estudo para a determinação de procedimentos-padrão para seleção, aplicação, manutenção e descarte de diferentes tipos de fluidos de corte utilizados em retificação”. XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, São Paulo, 1999.
- Dhar, N. R.; Kamruzzaman, M; Ahmed, M. “Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel”. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 172, 2006.
- Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L. “Tecnologia da usinagem dos materiais”. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2008.
- Machado, A.R.; Da Silva, M. B.; Coelho, R. T; Abrão, A. M.- “Teoria da Usinagem dos Materiais”. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 2009.
- Ribeiro, L. O.; Silva, R. B.; Machado, A. R. “A temperatura na interface cavaco-ferramenta sob diferentes condições de refrigeração/lubrificação”. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Minas Gerais, 2003. 12p.
- Santos, S. C. e Sales, W.F. “Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais”. Editora Artliber, 2005.
- Sousa, José A. G.; Sousa, Marcelo N. “Análise da temperatura de usinagem no corte ortogonal de alumínio”. Simpósio do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, 20, 2010. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2010. 10p.
- Trent, E.M.; Wright, P.K., “Metal Cutting”. 4ª ed. Boston: Butterworth – Heinemann, 2000. 464p.
- Vieira, C.; Pasqualini, A.; Alexandrini, Fábio; Alexandrini, Carla F. D.; Hasse, C. R. “Reaproveitamento de Óleo de Corte em Centros de Usinagem no Setor de Suportes na Metalúrgica Riosulense S.a”. Gestão, inovação e tecnologia para a sustentabilidade. IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2012.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF THE TEMPERATURE IN THE TOOL-CHIP INTERFACE IN THE TURNING PROCESS ON A STEEL ALLOY 1020 USING AIR COOLING

Gean Flávio Soares de Melo Nogueira, geanflavio@gmail.com¹

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba460@hotmail.com¹

Bruno Júnio Quaresma Rezende, brunojunio.rezende@gmail.com¹

Maira Daniel Batista, mairabatistadaniel@gmail.com¹

Matheus Philippe Martins da Cruz, matheus-philippe2009@hotmail.com¹

Wellington Teixeira dos Santos, wts2006@yahoo.com.br¹

Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com²

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br²

¹UNA University Center, Mechanical Engineering, Aimorés Street, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais - Brazil.

²Pontifical Catholic University of Minas Gerais, Mechanical Engineering, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brazil.

Abstract. *In order for society's needs to be met, there is a need to transform raw materials into products, and for this to be possible, there are manufacturing processes. Among these processes, the one that has more recognition is the machining, which is characterized by the transformation of the raw material into product by the removal of material in chip form. Due to the need for productivity increases, in order to produce faster, better quality or lower cost, technological development has become necessary in this field. Several factors directly affect the working conditions between the tool and the workpiece, the temperature of the tool being a limiting factor for productivity, since the elevation of the tool temperature results in a reduction in the resistance to plastic deformation of its material, creating favorable conditions for wear mechanisms, damaging the productivity of these operations. Cutting fluids are widely used to reduce the temperatures in the chip-tool interface, however, due to some of its characteristics, it is interesting to use other methods for this cooling. The present work is a study on the use of compressed air to reduce the machining temperature, obtaining, through experiments, data that prove its effectiveness.*

Keywords: *machining, turning, temperature, cooling, compressed air.*