

ANÁLISE DA TEMPERATURA NA INTERFACE FERRAMENTA-PEÇA NO TORNEAMENTO DO AÇO 1020 SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE CORTE, A SECO E COM FLUIDO

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

Maira Daniel Batista, mairabatistadaniel@gmail.com¹

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

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

Lucas Phillip Zólio Gonzaga de Moraes, lucaszolio@hotmail.com¹

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: No processo de usinagem dos metais, a maior parte da potência consumida é convertida em calor próximo à aresta cortante da ferramenta, e um dos fatores que influencia diretamente as condições de trabalho é a temperatura entre a ferramenta e a peça. O aquecimento na aresta de corte da ferramenta causa direta ou indiretamente problemas técnicos como a redução da dureza ou resistência ao cisalhamento do material, limita o processo de corte dos metais, afeta o desempenho da ferramenta e compromete sua vida útil. O aumento da temperatura influencia no controle dimensional, no acabamento superficial da peça e colabora para a redução das forças e da potência de usinagem. Os fluidos de corte são uma solução para diminuir a temperatura de usinagem, aplicados na ferramenta e no material que está sendo usinado, a fim de facilitar a operação de corte, refrigerar, lubrificar as áreas em atrito e retirar o cavaco. Visando analisar a temperatura no processo de usinagem, este trabalho apresenta a análise do torneamento do aço SAE 1020, com o objetivo de estudar a influência de diferentes parâmetros de corte e a utilização de um fluido de corte no processo, verificar a temperatura na interface ferramenta/peça e também sua influência na rugosidade da superfície usinada, utilizando uma câmera termográfica e um rugosímetro, respectivamente, para a coleta de dados. Os resultados obtidos foram satisfatórios e condizentes com a literatura, contudo houve valores de medições de temperatura e rugosidade inesperadas durante o experimento.

Palavras-chave: usinagem, torneamento, parâmetros de corte, rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

No processo de usinagem dos metais, um dos fatores que influencia diretamente nas condições de trabalho é a temperatura entre a ferramenta e a peça. Grande parte da potência consumida no processo de usinagem é transformada em calor. O aquecimento na aresta de corte da ferramenta causa direta ou indiretamente problemas técnicos e econômicos, pois reduz a dureza ou resistência ao cisalhamento do material, reduz o limite de escoamento das ferramentas, limita o processo de corte dos metais, e afeta o desempenho e a vida útil da ferramenta. A vida útil da ferramenta depende mais da temperatura da área de interação ferramenta/cavaco do que do calor total liberado na operação (CARVALHO, 2004; MACHADO, 2011).

Durante o processo de usinagem, a geometria da ferramenta de corte, a velocidade de corte, o avanço e as propriedades térmicas da ferramenta e do material da peça a ser usinada influenciam na quantidade de calor que flui para a ferramenta. Uma boa solução para diminuir a temperatura da ferramenta e da peça são os fluidos de corte. Eles também auxiliam no transporte de cavacos e agem como lubrificantes, auxiliando na redução do atrito e na área de contato ferramenta/peça, deixando a superfície da peça com um melhor acabamento e com uma rugosidade característica. Os fluidos de corte líquidos são os mais comuns e são agrupados nas categorias de: óleos, emulsões e soluções. Para que o fluido proporcione benefícios é preciso ser escolhido e aplicado apropriadamente para que chegue o mais próximo da interface ferramenta/peça para certificar que suas funções sejam realizadas (CARVALHO, 2004; ALMEIDA, 2006; RIBEIRO, 2003).

Existem vários métodos de medição de temperatura, porém há alguma incerteza quanto à exatidão da temperatura na interface ferramenta/peça. Mesmo com essa dificuldade de divulgar os valores exatos, o uso da câmera termográfica pode ser implantado nos processos de usinagem para medição da temperatura da ferramenta, cavaco e da peça. A câmera termográfica permite a mensuração da temperatura em superfícies expostas durante a usinagem e uma das vantagens desse método é não precisar ter contato com a superfície que está sendo medida (MACHADO, 2011).

Algumas indagações vêm à tona quando se trata de usinar uma peça de metal, com aplicação de um fluido, com o objetivo de medir a temperatura no contato entre a ferramenta e a peça. Seria possível fazer tal medição utilizando a câmera, com a influência do fluido de corte? Se tratando de usinabilidade, é preciso determinar um conceito baseado em diferentes parâmetros, interações entre a ferramenta de corte, a peça, a máquina ferramenta e a utilização ou não do fluido de corte, podendo assim analisar a performance global do processo através de considerações pertinentes. Baseado nisso e no que já foi dito anteriormente, como a temperatura afeta extremamente o desempenho das ferramentas de corte, e os fluidos podem contribuir com a solução dos problemas desencadeados pela elevação da temperatura, uma análise experimental do uso do fluido, em situações diferentes de usinabilidade, pode provar seus benefícios e sua influência no resultado final do processo (AMORIM, 2002).

Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a temperatura na interface ferramenta/peça no torneamento do aço SAE 1020, sob a influência de diferentes parâmetros de corte, a seco e com um fluido de corte. O torneamento desse material em parâmetros diferentes, utilizando fluido de corte, permite a análise da temperatura e da rugosidade em tais situações, possibilitando um resultado mais claro sobre quais benefícios foram obtidos com a aplicação do fluido no processo.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Metodologia do estudo

Cada peça de aço foi usinada com uma determinada velocidade de corte, ou seja, o experimento contém 12 velocidades de corte correspondentes a cada peça usinada a seco e com fluido de corte. Foram empregadas todas as seis rotações disponíveis no torno, logo, para cada corpo de prova, uma rotação foi aplicada. A temperatura da interface ferramenta/peça foi coletada através da câmera termográfica. As 6 peças de aço 1020 foram usinadas primeiramente a seco com diâmetro de 25mm. Cada peça recebeu 1 passe de 0,5mm de profundidade e foram coletadas 4 temperaturas durante o processo. Após a medição das temperaturas, com as peças usinadas já em equilíbrio térmico, mediu-se a rugosidade média (R_a) em 4 pontos defasados a 90° ao longo do diâmetro. As peças foram novamente torneadas, mas com diâmetro de 24,5 mm e desta vez com a aplicação do fluido de corte e com passe de 0,5mm de profundidade. Foram coletadas novamente 4 temperaturas durante o processo. A rugosidade foi mais uma vez medida após a usinagem das peças com a aplicação do fluido de corte. Após as medições, foram calculadas as médias e os desvios padrões das temperaturas, bem como a rugosidade de cada peça, a seco e com influência do fluido.

Os parâmetros de usinagem descritos nas Tab. 1 e Tab. 2 foram os utilizados durante o experimento, e para tal foram tomadas 6 peças de aço SAE 1020 de 25,4mm in x 200mm cada. Durante sua usinagem a profundidade de corte (a_p), avanço (f) e o comprimento de usinagem (l) foram mantidos fixos, variando somente a velocidade de corte (V_c), diâmetro da peça ($\varnothing$) e a rotação da peça (rpm).

Tabela 1. Parâmetros do torneamento do aço SAE 1020 a seco.

Peça	V_c (m/min)	$\varnothing$ (mm)	Número de rotações (rpm)	a_p (mm)	l (mm)	f (mm/rev)
1	11,78	25	150	0,5	30	0,28
2	23,56	25	300	0,5	30	0,28
3	39,27	25	500	0,5	30	0,28
4	47,12	25	600	0,5	30	0,28
5	78,54	25	1000	0,5	30	0,28
6	157,08	25	2000	0,5	30	0,28

Tabela 2. Parâmetros do torneamento do aço SAE 1020 com fluido de corte.

Peça	V_c (m/min)	$\varnothing$ (mm)	Número de rotações (rpm)	a_p (mm)	l (mm)	f (mm/rev)
1	11,31	24	150	0,5	30	0,28
2	22,62	24	300	0,5	30	0,28
3	37,70	24	500	0,5	30	0,28
4	45,24	24	600	0,5	30	0,28
5	75,40	24	1000	0,5	30	0,28
6	150,80	24	2000	0,5	30	0,28

As velocidades de corte variaram nas duas condições em decorrência da diferença nos diâmetros, mesmo quando aplicados avanços e rotações iguais.

2.2. Insumos utilizados no estudo

Para o experimento foram preparados 6 tarugos de aço SAE 1020 de 25,4mm x 200mm. Os corpos de prova foram usinados em 120mm sendo dividido em 4 partes de 30mm cada, como pode ser visto na Fig. 1. As seções A, B, C, e D foram separadas por um canal de 3,5 mm de comprimento e profundidade de 2 mm, e nelas foram realizadas as medições de rugosidade e temperatura.

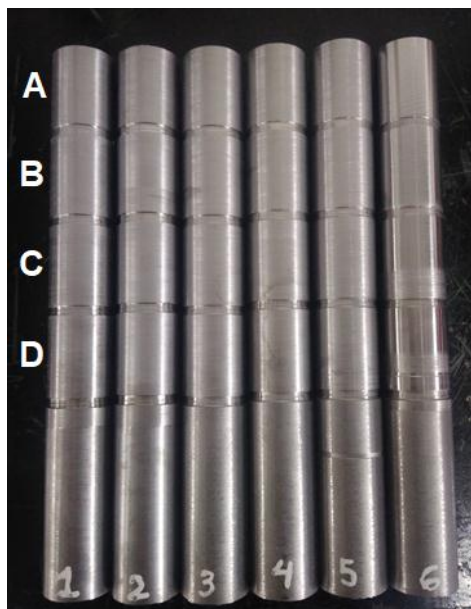


Figura 1. Peças de aço 1020 torneadas.

Para o processo de torneamento realizado neste trabalho foi utilizado um torno mecânico de bancada profissional – 850W / 220V / 60Hz /1HP da marca MANROD, modelo MR-334 (Fig. 2).



Figura 2. Torno mecânico Manrod, modelo MR-334.

As ferramentas de corte usadas no torneamento foram 2 insertos de metal duro WCMT 040204. Os insertos possuem cobertura de ALCRONA PRO a base de AlCrN. Segundo Caputo (2016), ferramentas de metal duro são usadas com sucesso em operações de usinagem tais como torneamento, fresamento, mandrilamento e em alguns casos de furação, aplainamento e serramento. Elas podem usinar qualquer tipo de material, desde que sua dureza não ultrapasse 45 HRC.

O fluido de corte utilizado no torneamento nas peças foi uma emulsão de 10% de óleo Ecocool MH 6000 e 90% de água potável. O Ecocool MH 6000 é um óleo solúvel sintético concentrado, utilizado em usinagem de metais ferrosos, isento de óleo mineral e com aditivos especiais que lhe confere ação de lubricidade, além de excelente ação

anticorrosiva. Para sua aplicação utilizou-se uma pisseta, um tubo flexível e uma agulha. A agulha foi posicionada em direção à ponta de corte do inserto. Foram gastos 50ml de fluido no torneamento de 30mm da peça em 108 segundos, resultando em uma vazão de aproximadamente $4,6 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$.

As medições de temperatura realizaram-se através da câmera termográfica modelo FLIR C2 (Fig. 3), resolução de 4800 pixels, tela de 3 polegadas, iluminação LED integrada que pode ser utilizada como flash, imagens completas que permite medir a temperatura em qualquer ponto da imagem para análise posterior entre -10°C e 150°C , distância mínima de foco de 0.15m, faixa espectral 7.5 - 14 μm e frequência de imagem de 9 Hz. Durante a usinagem, o operador capturou as imagens nas posições A, B, C e D das peças a uma distância de 20cm do foco (Fig. 3). Após a ferramenta de corte alcançar os canais dos corpos de prova, foi necessária uma pausa de 3 segundos no avanço devido ao tempo de processamento da imagem capturada. Posteriormente, todas as imagens foram analisadas no software FLIR Tools, que é fornecido junto à câmera.



Figura 3. Medição da temperatura com a câmera FLIR C2 a seco.

Para a medição da rugosidade média (R_a) foi utilizado o rugosímetro portátil SJ-210 da marca Mitutoyo. Adotou-se um intervalo de tempo de 20min para o resfriamento ao ar livre dos corpos usinados antes dessa mensuração. Para plotagem dos resultados utilizou-se o valor médio de R_a e o desvio padrão referente aos pontos mensurados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise das temperaturas na interface ferramenta/peça

A Figura 4 pode ser analisada através da comparação das médias das temperaturas das peças no torneamento a seco e com fluido de corte. As temperaturas no torneamento com fluido foram bem menores, como esperado, aproximadamente 26,02% menores, devido à ação refrigerante do fluido de corte, indo de encontro ao que foi observado na literatura. Somente na última peça, com rotação 2000 rpm com aplicação do fluido, a média das temperaturas foi maior. No torneamento, na medida que a rotação da peça foi aumentando, a velocidade de corte também aumentou e consequentemente a temperatura durante a usinagem também.

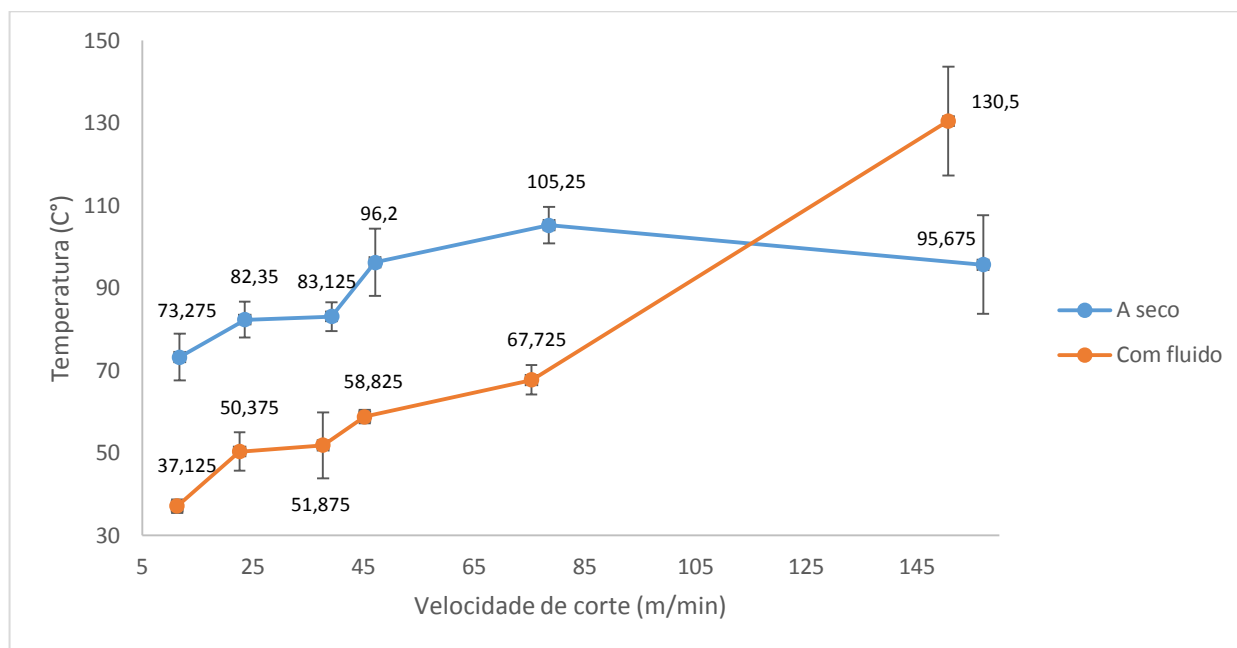


Figura 4. Temperatura x Velocidade de corte.

Segundo Rodrigues (2007), caso o fluido apresente uma ação refrigerante mais pronunciada do que sua ação lubrificante, haverá uma redução na temperatura de usinagem, tendo como consequência um aumento de resistência ao cisalhamento do material nas zonas de cisalhamento, necessitando para isso, mais energia e força de usinagem mais alta, para promover o cisalhamento do material.

Durante a usinagem da peça 6 de rotação 2000rpm e velocidade de corte de 153,9 m/min e com fluido de corte, o torno perdeu a força sutilmente no início do torneamento e ao longo da peça a rotação caiu gradativamente até sua parada total. Com o aumento da rotação da peça e da velocidade de corte, a temperatura também aumentou, porém com a aplicação do fluido de corte, esperava-se que a temperatura diminuísse, assim como aconteceu nas outras peças, porém isso não ocorreu, resultando na possibilidade de a ação refrigerante do fluido não ter sido eficiente na peça 6.

Além disso, a parada do torno pode ser explicada através da dureza da peça e da ferramenta de corte na máxima rotação disponível no torno. Com o aumento da temperatura, o material da peça e ferramenta de corte ficam mais dúcteis, facilitando a retirada de material. Porém com a aplicação do fluido de corte, a dureza dos materiais se mantiveram exigindo assim uma maior força do torno para o cisalhamento da peça, força essa que ele não conseguiu fornecer, resultando na sua parada.

Segundo Ribeiro (2003), o fluido de corte é capaz de prolongar a vida da ferramenta, evitar alterações na peça causada por elevadas temperaturas de usinagem, reduzir das forças de usinagem e reduzir o risco de distorção da peça. O fluido deveria, além de refrigerar a peça/ferramenta, reduzir as forças de usinagem. No entanto, não foi o que ocorreu.

3.2. Análise da rugosidade

A Figura 5 pode ser analisada através da comparação entre as médias das rugosidades das peças no torneamento a seco e com fluido de corte. Analisando a média dos valores obtidos de cada peça, no torneamento com fluido de corte os valores foram menores do que no torneamento a seco, aproximadamente 16,22% menores, exceto nas peças 4 e 5. Uma das principais funções do fluido de corte, além do resfriamento, é a lubrificação, a qual reduz o atrito e a área de contato ferramenta/peça, dando à superfície um acabamento melhor e isso pôde ser observado experimentalmente. As peças que apresentaram uma rugosidade maior podem ser explicadas pelo possível aparecimento e desaparecimento de aresta postiça de corte (APC), devido às baixas velocidades de corte utilizadas no torno.

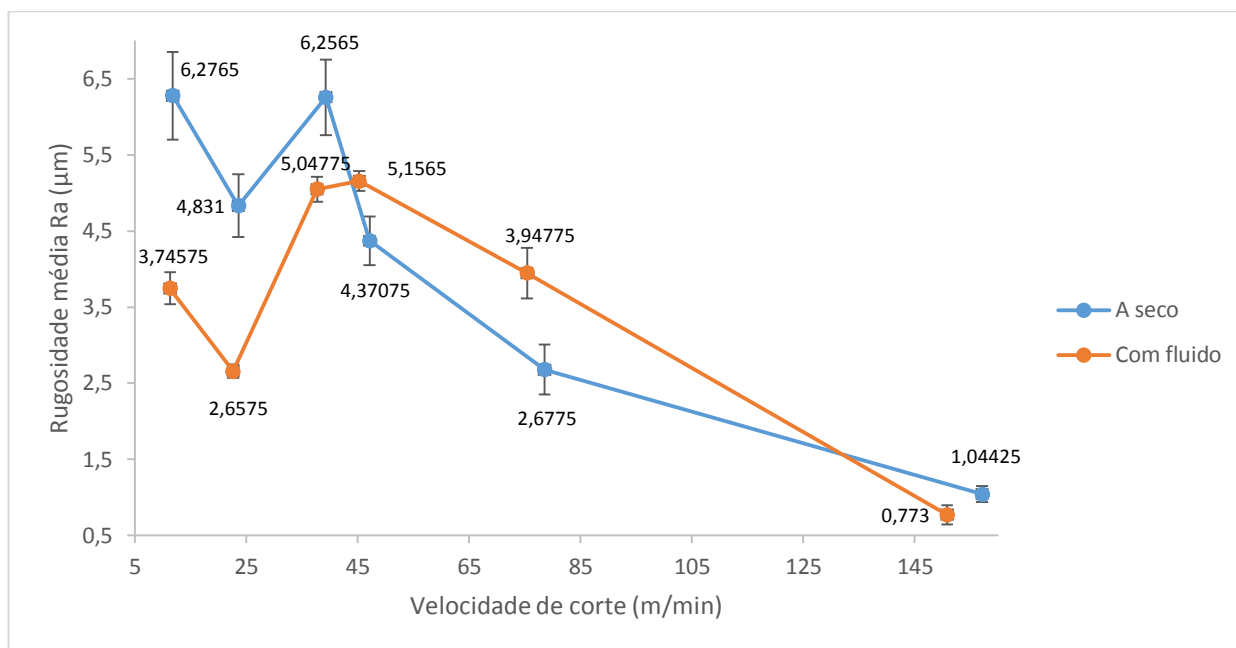


Figura 5. Rugosidade média Ra x Velocidade de corte.

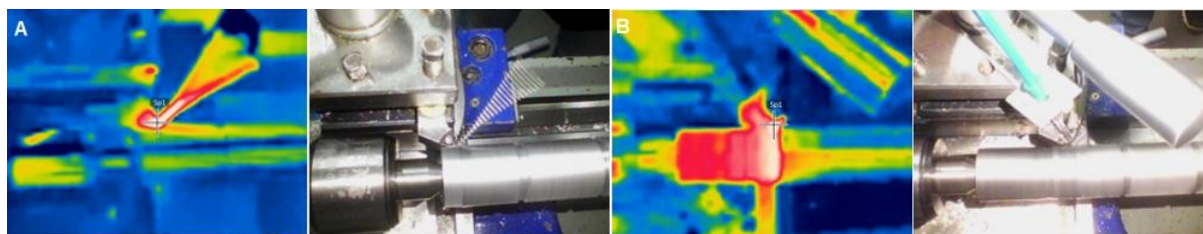
Segundo Manera (2008) o fenômeno da APC é uma condição da interface cavaco-ferramenta na qual o cavaco adere à superfície de saída da ferramenta, modificando o comportamento desta em relação a: força de corte, acabamento superficial da peça e desgaste da ferramenta. Uma vez que foi empregado um baixo valor de velocidade de corte, ocorre a presença de APC.

Segundo Cunha (2003), existe uma menor probabilidade de aparecimento de APC com o aumento da velocidade de corte devido ao aumento da temperatura na região de corte. Em geral, a rugosidade tende a diminuir com o aumento da velocidade de corte. Por isso em baixas velocidades o crescimento de metal soldado (APC) na aresta da ferramenta causa um aumento na rugosidade. Nos resultados experimentais, foi observado que, com a presença de fluido de corte, a temperatura na interface ferramenta/peça diminuiu consideravelmente, mesmo com o aumento da velocidade de corte.

3.3. Análise das imagens termográficas

Segundo Caputo (2016), o uso da radiação térmica (fotografia infravermelha) possui ampla aplicação na obtenção de temperaturas nas superfícies da peça, do cavaco ou da ferramenta. Os raios infravermelhos estão associados ao calor dos corpos. No entanto esse método depende da exposição da superfície durante a medição da temperatura. A maior vantagem consiste em não necessitar do contato com a superfície em que se está medindo a temperatura, diminuindo as interferências e perturbações nas temperaturas coletadas.

As fotos registradas no momento da usinagem não permitiram a visualização precisa da temperatura da interface ferramenta/peça. Somente através do software FLIR Tools foi possível obtê-la, pois o programa permite analisar a temperatura em qualquer ponto da imagem (Fig. 6).



A - Corpo de prova 1, a seco: $V_c=11,78$ m/min; $n=150$ rpm; $f=0,28$ mm/rev; $a_p=0,5$ mm
 B - Corpo de prova 1, com fluido: $V_c=11,54$ m/min; $n=150$ rpm; $f=0,28$ mm/rev; $a_p=0,5$ mm

Figura 6. Medição da temperatura com a câmera FLIR C2 a seco.

Antes da realização dos ensaios, não havia certeza de que a região da interface ferramenta/peça seria captada pela câmera, principalmente por este método não ser comum a este tipo de aplicação. As limitações do ensaio foram capazes de comprometer os resultados obtidos, de modo que não foi possível obter condições similares de controle de fatores externos (temperatura e atmosfera).

4. CONCLUSÃO

Após o estudo bibliográfico e o levantamento dos dados obtidos através da análise experimental foi possível observar que alguns resultados experimentais condizem com a literatura. Verificou-se que o aumento da velocidade de corte e da rotação da peça causou o aumento da temperatura. No torneamento a seco foi observada uma temperatura média na interface ferramenta/peça aproximadamente 26,02% maior, na maioria das peças, em relação ao torneamento com fluido, comprovando a ação refrigerante do fluido de corte. Com isso, há a possibilidade de se estabelecer relações e tendências do comportamento da temperatura durante o processo de usinagem e os parâmetros de corte, com base nos resultados obtidos.

Através dos valores coletados da rugosidade das peças após o torneamento do aço SAE 1020 a seco e com fluido, notou-se que os valores foram menores nas peças usinadas com maior velocidade de corte e temperatura, comprovando que, quanto maior a temperatura e a velocidade de corte, menor será a rugosidade superficial. O fluido de corte também resultou em valores de rugosidade aproximadamente 16% menores, se comparado ao torneamento a seco, pois diminuiu o contato da ferramenta de corte com a peça através da sua ação lubrificante.

Algumas peças apresentaram uma rugosidade maior do que o esperado devido ao possível surgimento da aresta postiça de corte (APC). Esse aparecimento é mais frequente quando se trabalha em baixas velocidades de corte, e, em geral, elas foram baixas no experimento, resultando no possível aparecimento e desaparecimento da APC nas peças que tiveram a rugosidade maior, não resultando nos valores esperados.

O uso da câmera termográfica na usinagem tem pouca aplicabilidade, pois é mais usada para manutenção preditiva e inspeção predial, porém apresentou resultados satisfatórios na medição das temperaturas no experimento. Através das imagens e do uso do software da câmera foi possível medir a temperatura do ponto exato da interface.

5. AGRADECIMENTOS

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

6. REFERÊNCIAS

- Almeida, D. O.; Naves, V. T. G.; Machado, A. R.; Silva, M. B. “Influência da direção de aplicação do fluido de corte na temperatura da interface cavaco-ferramenta”. Uberlândia, MG. 2006.
- Amorim, H. J. “Estudo da relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro”. UFRS. Porto Alegre. 2002.
- Caputo, P. C. “Estudo comparativo entre a temperatura no torneamento convencional a seco por imagem termográfica e o modelo analítico de Trigger e Chao”. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais. 2016.
- Carvalho, S. R., [et al.]. “Determinação da temperatura na interface cavaco-ferramenta a partir da modelagem 3D do conjunto ferramenta e porta ferramenta”. UFU. Uberlândia, MG. 2004.
- Cunha, E. A.; Ribeiro, M. V. “Influência da velocidade de corte na rugosidade em usinagem de ligas de alumínio”. FEMEC - UFU. Lorena, São Paulo. 2003.
- FLIR. Nova FLIR C2. Disponível em: < <http://www.flir.com.br/instruments/content/?id=66732>>. Acesso em: 26/10/2017.
- GERDAU, AÇOS FINOS PARATINI. “Manual de aços”. Porto Alegre, RS. 2003.
- Machado, A. R. [et al.]. “Teoria da usinagem dos materiais”. 2ª edição. São Paulo. 2011.
- Manera, R. S. [et al.]. “Influência da ferramenta e dos parâmetros de torneamento na produtividade de peças para a indústria automobilística (estudo de casos)”. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp). São Paulo. 2008.
- Ribeiro, L. O.; Silva, R. B.; Machado, A. R. “A temperatura na interface cavaco-ferramenta sob diferentes condições de refrigeração/lubrificação”. Uberlândia, MG. 2003.
- Rodrigues, J. R. P. [et al.]. “Componentes da força de usinagem no torneamento de ligas não ferrosas e aços abnt 1020 e 1045”. Faculdade de Engenharia mecânica – UNICAMP. Campinas, São Paulo. 2007.
- WALTER. “Catálogo Geral. Competência concentrada em usinagem”. Sorocaba, São Paulo. 2012.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF TEMPERATURE ON WORKPIECE-TOOL INTERFACE IN TURNING OF 1020 STEEL UNDER DIFFERENT CUTTING CONDITIONS, DRY AND WITH FLUID

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

Maira Daniel Batista, mairabatistadaniel@gmail.com¹

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

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

Lucas Phillip Zólio Gonzaga de Moraes, lucaszolio@hotmail.com¹

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 the process of metal machining, most of the power consumed is converted to heat near the cutting edge of the tool, and one of the factors that directly influences the working conditions is the temperature between the tool and the workpiece. Heating at the cutting edge of the tool directly or indirectly causes technical problems such as reduction of hardness or shear strength of the material, limits the cutting process of metals, affects tool performance and compromises tool life. The increase in temperature influences the dimensional control, the surface finish of the part and contributes to the reduction of the forces and the machining power. The cutting fluids are a solution to decrease the machining temperature applied to the tool and the material being machined in order to facilitate cutting, cooling, lubricating the areas in friction and removing the chip. In order to analyze the temperature in the machining process, this work presents the SAE 1020 steel turning analysis, with the objective of studying the influence of different cutting parameters and the use of a cutting fluid in the process, checking the temperature in the workpiece-tool interface and also their influence on the roughness of the machined surface, using a thermographic camera and a rugosimeter for data collection. The results obtained were satisfactory and consistent with the literature, however, there were unexpected temperature and roughness measurements during the experiment.*

Keywords: *machining, turning, cutting parameters, roughness.*