

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO DIÂMETRO EXTERNO DA PEÇA NA RUGOSIDADE E CORRENTE ELÉTRICA NO TORNEAMENTO DO AÇO SAE 1045 COM ROTAÇÃO CONSTANTE

Samuel Siqueira Piauilino, samuel.siqueira-piauilino@hotmail.com¹

Júlia Veras Rocha, jujuveras3007@gmail.com¹

Ana Katarina do Amaral Nunes, anakatarina@ufpi.edu.br¹

Patrick Abreu de Oliveira, patrick.abreu@live.com¹

Marcos Guilherme Carvalho Bráulio Barbosa, marcosguilherme@ufpi.edu.br¹

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹

¹Universidade Federal do Piauí, Curso de Engenharia Mecânica, Teresina – PI, Brasil

Resumo: Nos processos de usinagem, o estudo e monitoramento dos parâmetros de entrada são fundamentais para entender de que forma eles influenciam as variáveis de saída do processo, fornecendo, dessa forma, informações a fim de otimizar as condições de corte. Entretanto, em ensaios de torneamento realizados em tornos mecânicos convencionais, analisar a influência dos parâmetros de corte se torna um desafio, tendo em vista que essas máquinas-ferramentas geralmente não permitem a seleção de qualquer rotação do eixo-árvore e avanço longitudinal. Dessa forma, para realizar diferentes ensaios nessas máquinas-ferramentas com uma mesma velocidade de corte, por exemplo, são necessários vários corpos de prova com o mesmo diâmetro, visto que qualquer variação nesta grandeza gera alterações na velocidade de corte, as quais não podem ser compensadas por variações de rotação por conta da limitação da máquina-ferramenta. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar até que ponto a variação no diâmetro da peça exerce influência em variáveis de saída no torneamento do aço SAE 1045 com mesma rotação. Duas condições de avanço também foram testadas (0,2276 mm/rev e 0,3544 mm/rev). As variáveis de saída analisadas foram rugosidade da peça e a corrente elétrica da máquina-ferramenta. Para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil e os parâmetros R_a , R_q e R_z foram analisados. A corrente elétrica da máquina-ferramenta foi medida com auxílio de um microcontrolador Arduino e sensor de Efeito Hall instalado em uma das fases do motor elétrico. Os resultados mostraram que, para as condições utilizadas neste trabalho, a influência da variação do diâmetro externo e consequente variação da velocidade de corte foram insignificantes nos resultados de rugosidade da superfície torneada. A corrente elétrica da máquina-ferramenta, por sua vez, apresentou uma tendência, embora pouco significativa, de redução com o diâmetro inicial da peça, principalmente para o maior avanço (0,3544 mm/rev).

Palavras-chave: Torneamento, Velocidade de rotação, Velocidade de corte, Rugosidade, Corrente elétrica.

1. INTRODUÇÃO

O processo de usinagem é uma indústria forte nos países mais desenvolvidos economicamente (Trent; Wright, 2000). Segundo Storterau (2004), a maior parte de todos os produtos industrializados é submetido a algum processo de usinagem, direta ou indiretamente, em alguma de suas etapas de fabricação.

Os parâmetros de entrada são as condições previamente determinadas nas quais o processo de usinagem ocorre e são fundamentais para os resultados da operação. Para o processo de torneamento em específico, destacam-se os parâmetros de corte, a saber: o avanço, a velocidade de corte e a profundidade de corte. Dessa forma, é importante estudá-los para que possa haver o entendimento da forma que eles influenciam as variáveis de saída, como a rugosidade e a corrente elétrica, haja vista que o consumo de energia elétrica está diretamente relacionado a corrente elétrica e é um fator importante no âmbito da manufatura sustentável.

Neste sentido, diversos trabalhos experimentais de torneamento são realizados a fim de avaliar diferentes variáveis de saída com base na variação dos parâmetros de entrada. Para o caso de tornos mecânicos convencionais, máquina-ferramenta comumente disponível nos laboratórios de usinagem nas instituições de ensino superior no Brasil, o controle dos parâmetros de entrada é um desafio, visto que existem opções limitadas de avanço e rotação do eixo árvore, as quais são fixas e dependem das relações de transmissão das engrenagens acopladas na máquina-ferramenta. Dessa forma, para realizar ensaios sob uma mesma velocidade de corte, por exemplo, faz-se necessário a utilização de vários corpos de prova com mesmo diâmetro, ou um corpo de prova com comprimento muito grande, uma vez que a redução de diâmetro

no corpo de prova após a realização de um passe não pode ser compensada ajustando a rotação do eixo-árvore, estratégia normalmente utilizada em tornos CNC.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar a influência da variação de diâmetro externo da peça em variáveis de saída no torneamento do aço SAE 1045 com mesma rotação e ferramenta de metal duro, em diferentes condições de avanço. A rugosidade da peça e a corrente elétrica da máquina-ferramenta foram as variáveis de saída analisadas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Máquina-ferramenta, material da ferramenta e material da peça

A máquina-ferramenta utilizada nos ensaios de torneamento foi o torno mecânico horizontal Veker, TVK – 1660ECO, que possui a potência nominal de 3,36 kW. A ferramenta utilizada nos ensaios foi o inserto de metal duro revestido com designação ISO CCMT 09T306 Vp15tf, da fabricante Mitsubich.

Para os corpos de prova, foram utilizados tarugos de aço SAE 1045 normalizado, com uma dureza média entre 180 e 220 HB, composição química conforme especificado na Tab. 1 (Gerda, 2003) e geometria cilíndrica conforme mostrado na Fig. 1.

Tabela 1. Composição química do aço SAE 1045 (% massa) (Gerda, 2003).

Fe	C	Mn	Si	S	P	Outros
98,467	0,471	0,717	0,222	0,008	<0,001	~ 0,114

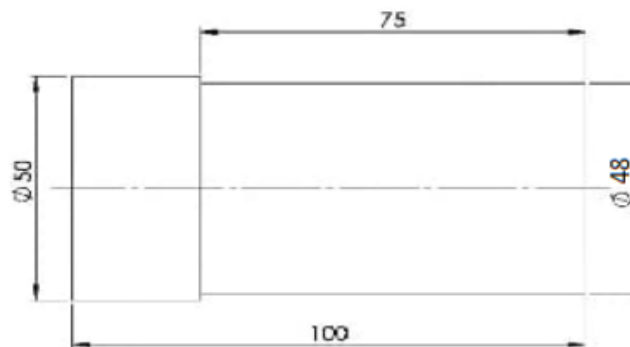


Figura 1. Geometria do corpo de prova utilizado nos ensaios de torneamento.

2.2. Parâmetros de entrada e estratégias para os ensaios de torneamento

Neste trabalho, dois tarugos foram utilizados para os ensaios. Para cada um deles, realizou-se 5 ensaios com a rotação da peça e profundidade de corte (a_p) constantes: 1170 rpm e 0,50 mm. Como ocorreram sucessivos ensaios em cada corpo de prova, houve uma diminuição de 1 mm no seu diâmetro e, conseqüentemente, na velocidade de corte. Dessa forma, cinco diferentes diâmetros iniciais da peça foram avaliados: 48-44 mm. Para cada diâmetro inicial, duas condições de avanço foram avaliadas (0,2276 mm/rev e 0,3544 mm/rev), totalizando, portanto, 10 ensaios de torneamento. Uma ferramenta de corte nova foi utilizada para cada avanço. Cada ensaio consistiu na remoção de 75 mm na direção de avanço. Na Tab. 2 é mostrado o planejamento experimental utilizado neste trabalho. Na Fig. 2(a) é mostrado a montagem da máquina-ferramenta para os ensaios.

Tabela 2. Parâmetros de entrada utilizados nos ensaios de torneamento.

Ensaio	Diâmetro inicial D_0 (mm)	Diâmetro final D_f (mm)	f (mm/rev)	v_c (m/min)	a_p (mm)	Tarugo
E ₁	48,00	47,00	0,2276	176,4318	0,50	1
E ₂	47,00	46,00		172,7562		
E ₃	46,00	45,00		169,0805		
E ₄	45,00	44,00		165,4049		
E ₅	44,00	43,00		161,7292		
E ₆	48,00	47,00	0,3544	176,4318	0,50	2
E ₇	47,00	46,00		172,7562		
E ₈	46,00	45,00		169,0805		
E ₉	45,00	44,00		165,4049		
E ₁₀	44,00	43,00		161,7292		

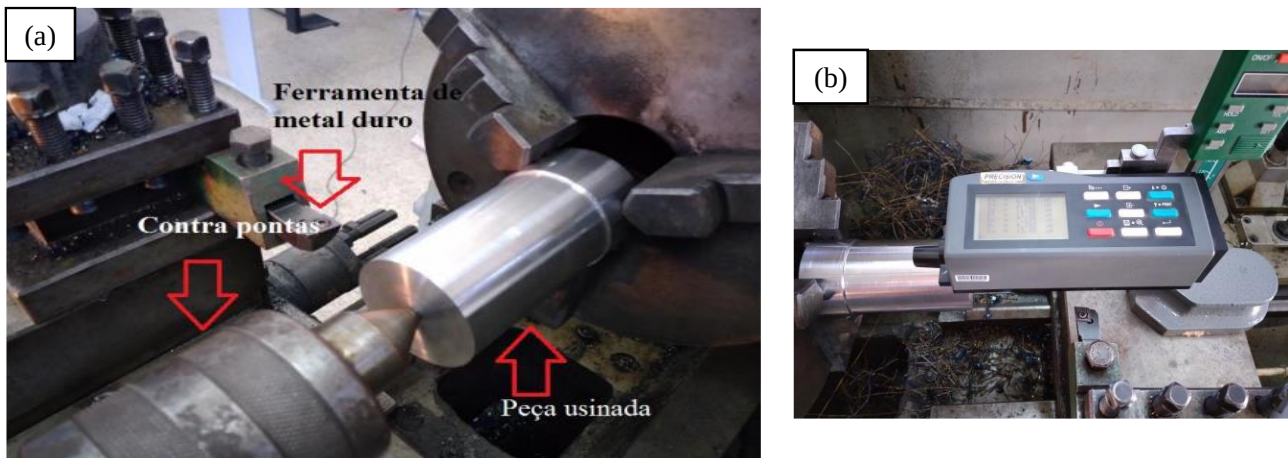


Figura 2. (a) Detalhe da montagem da máquina-ferramenta para os ensaios de torneamento cilíndrico externo. (b) Montagem para realização das medições de rugosidade.

2.3. Variáveis de saída

As variáveis de saída analisadas foram a rugosidade da superfície torneada e a corrente elétrica da máquina-ferramenta durante o corte do material. A rugosidade foi medida com um rugosímetro portátil da fabricante Precision, mostrado na Fig. 2(b). Foi utilizado cut-off de 2,5 mm e 5 comprimentos de amostragem, conforme norma ISO 4288 (2008). Os parâmetros de rugosidade considerados para análise foram Ra, Rq e Rz.

A corrente elétrica da máquina-ferramenta foi monitorada em cada ensaio por meio de um dispositivo de baixo custo constituído por sensor de Efeito Hall, conforme utilizado por Silva et. al. (2021). Os sinais de corrente eficaz (valor RMS) obtidos pelo sensor foram registrados pelo microcontrolador e exportados a um computador para uma planilha no Excel a uma taxa de aquisição de 1 Hz. A partir dos valores de corrente no período de corte (com remoção de material), foram calculadas médias e desvio padrão para as diferentes condições de corte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise da rugosidade da superfície

Na Fig. 3 são mostrados os valores de rugosidade média (parâmetro Ra) em função do diâmetro inicial da peça, para cada um dos avanços utilizados neste trabalho.

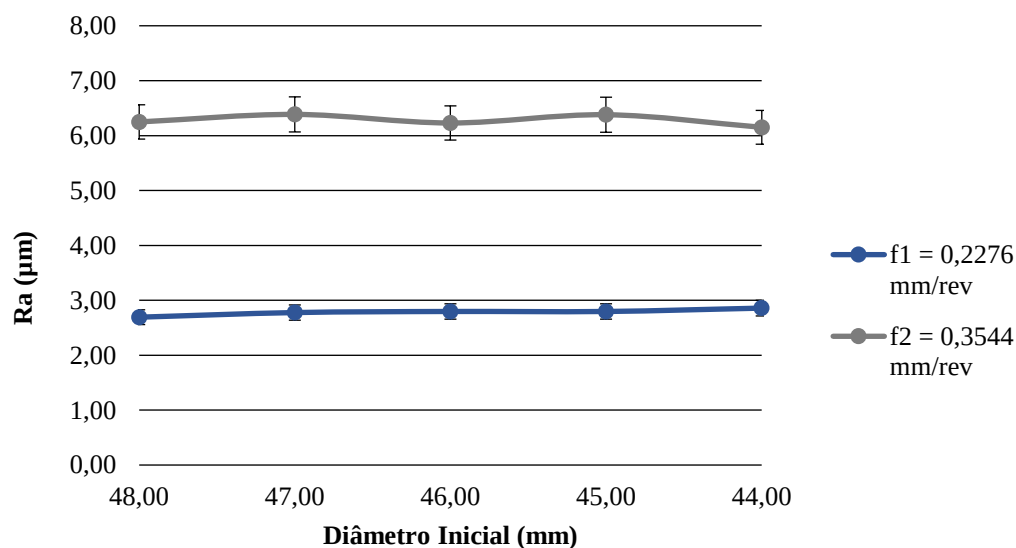


Figura 3. Curvas de rugosidade (Ra) em função do diâmetro inicial da peça.

Em relação ao efeito do diâmetro inicial da peça, pode-se observar na Fig. 3 que a rugosidade Ra se manteve praticamente constante ao longo dos 5 ensaios, independentemente do avanço utilizado. Este resultado indica que, para as condições de usinagem utilizada neste trabalho, a diminuição do diâmetro da peça e consequente redução de velocidade

de corte foi insignificante para o acabamento da peça em termos de Ra. Logo, pode-se utilizar um mesmo corpo de prova para realizar diferentes ensaios em que o parâmetro de saída analisado é a rugosidade, desde que a variação de diâmetro seja, ao menos, inferior que 4 mm.

Ainda da Fig. 3, pode-se observar que os ensaios com o maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev) resultaram em valores de Ra, em geral, 56% maiores em comparação ao torneamento com o menor avanço ($f_1 = 0,2276$ mm/rev). Este resultado está de acordo com o reportado pela literatura em relação ao efeito do avanço no acabamento da superfície torneada. Segundo, Diniz, Marcondes e Coppini (1999), o acabamento da superfície é diretamente proporcional ao quadrado do avanço. Comportamento semelhante de aumento na rugosidade Ra com o avanço foi observado por Marques e Castagnel (2018). Ao analisarem a influência do avanço da ferramenta e do uso de fluido de corte na rugosidade em usinagem de torneamento cilíndrico externo de alumínio, os autores concluíram que quanto maior o avanço da ferramenta, maior é a rugosidade média da peça resultante, tanto na presença quanto na ausência de fluido de corte, uma vez que o avanço contribui, no perfil de rugosidade, para o aumento da distância entre picos, aumentando o valor da amplitude desta.

Para as rugosidades Rq e Rz, mostradas nas Fig. 4(a) e Fig. 4(b), pode-se observar que tais parâmetros apresentaram a mesma tendência de comportamento de Ra em relação ao diâmetro inicial da peça. Em relação ao aumento do avanço, de 0,2276 mm/rev para 0,3544 mm/rev, observa-se um aumento de 54% e 48% nos valores de rugosidade Rq e Rz, respectivamente.

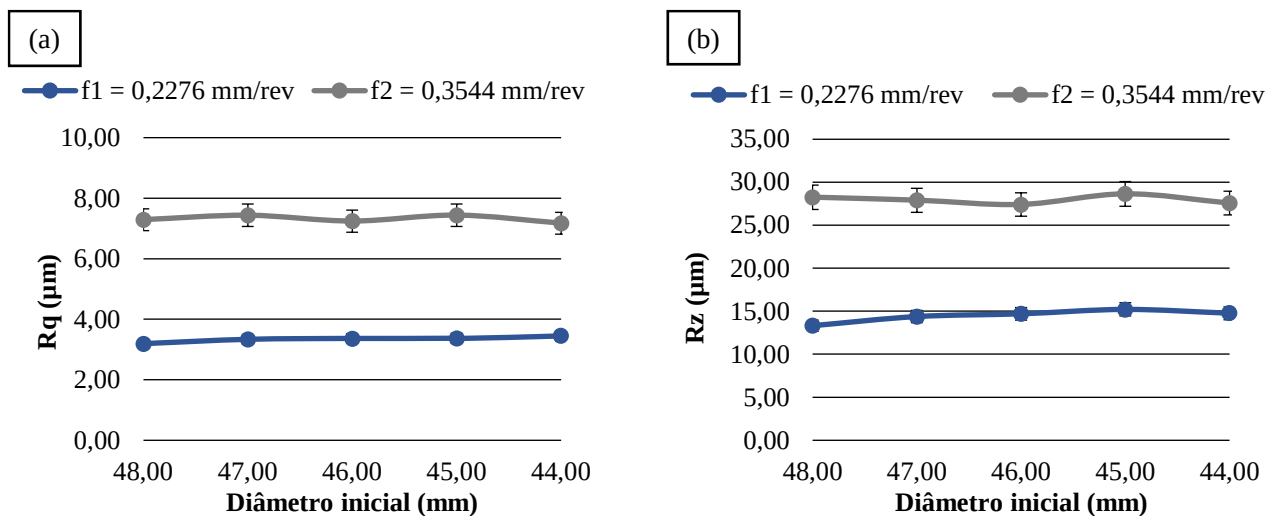


Figura 4. Curvas de rugosidade Rq (a) e Rz (b) em função do diâmetro inicial da peça.

3.2. Análise da corrente elétrica

Na Fig. 5 são mostrados os valores médios de corrente elétrica (valor RMS) em função do diâmetro inicial para as duas condições de avanço avaliadas neste trabalho.

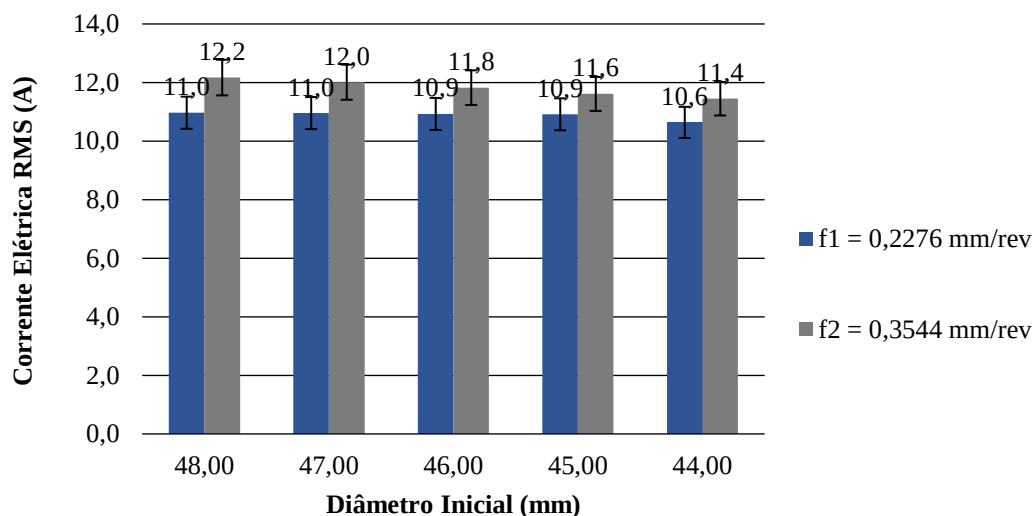


Figura 5. Corrente Elétrica (valor RMS) em função do diâmetro inicial da peça.

Da Fig. 5 observa-se que, para a condição de maior avanço ($f_2 = 0,3544$ mm/rev), a corrente elétrica da máquina-ferramenta foi maior em comparação à condição de menor avanço ($f_1 = 0,2276$ mm/rev), independentemente do diâmetro inicial da peça. Este resultado está de acordo com o esperado, uma vez que, segundo Machado et al. (2009), à medida que o avanço aumenta os esforços de corte também crescem, aumentando assim a potência mecânica envolvida no processo. Dessa forma, uma maior potência mecânica eleva a potência elétrica requerida e, consequentemente, aumenta a corrente elétrica do motor elétrico da máquina-ferramenta. De maneira geral, para as condições utilizadas neste trabalho, o aumento no avanço de 0,2276 mm/rev para 0,3544 mm/rev aumentou em 11% os valores da corrente elétrica da máquina-ferramenta.

Ainda da Fig. 5, pode-se observar que a variação do diâmetro da peça não influenciou significativamente a corrente elétrica medida durante o processo, principalmente para o menor avanço (0,2276 mm/rev). No entanto, é possível observar uma tendência de maiores valores de corrente elétrica para maiores valores de diâmetro inicial. Este comportamento está associado com os maiores valores de velocidade de corte para maiores diâmetros iniciais, o que acarreta o aumento da potência mecânica envolvida no processo e, consequentemente, eleva a potência elétrica requerida. Assim, opondo a rugosidade, os resultados de corrente elétrica obtidos neste trabalho indicam que a variação do diâmetro na peça, embora exerça influência pouco significativa considerando o desvio padrão dos valores médios, tende a causar variação na corrente elétrica: quanto maior o diâmetro da peça, maior será a corrente elétrica requerida pela máquina-ferramenta, principalmente para a condição mais severa ($f_2 = 0,3544$ mm/rev).

4. CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios de torneamento com variação de diâmetro inicial da peça para uma mesma rotação e diferentes condições de avanço, conclui-se que:

- Nas condições em que os ensaios foram realizados para este trabalho, a variação do diâmetro inicial e, consequentemente, da velocidade de corte, não exerceu influência para os resultados da rugosidade R_a , R_q e R_z .
- Diferente do observado para a rugosidade da peça, a variação de diâmetro externo exerceu certa influência nos resultados de corrente elétrica, embora pouco significativa. A corrente elétrica da máquina-ferramenta tende a apresentar maiores valores, em média, para maiores valores de diâmetro inicial.
- O parâmetro que exerceu maior influência em todas as variáveis de saída foi o avanço, haja vista que, para as condições de maior avanço, a rugosidade da superfície e a corrente elétrica da máquina-ferramenta foram maiores.
- Para as condições utilizadas neste trabalho, é possível utilizar um mesmo corpo de prova para realizar diferentes ensaios sob mesma rotação em que o parâmetro de saída analisado é a rugosidade da peça torneada, desde que a variação de diâmetro da peça seja inferior a 4 mm.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologia e ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Piauí por todo apoio à realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Diniz, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., 2000. "Tecnologia da usinagem dos materiais". 1 ed. Ed. MM editora, São Paulo, Brazil.
- Gerdau, Aços Finos Paratini, 2003. "Manual de aços". São Paulo, Brazil, 105 p.
- Machado, A. R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Silva, M. B., 2009. "Teoria da usinagem dos materiais". 1 ed. Ed. Blucher, São Paulo, Brazil.
- Marques, C. R. M., Castagnel, P. H., 2018. "Influência do avanço da ferramenta e do uso de fluido de corte na rugosidade em usinagem de torneamento cilíndrico externo de alumínio". Rev. Cien. Exatas Tecnol., Londrina, Brazil.
- Silva, T. F. T. S., Oliveira, P. A., Barbosa, M. G. C. B., Paiva, R. L., 2021. "Influência dos parâmetros de corte na corrente elétrica da máquina-ferramenta no torneamento cilíndrico externo do aço ABNT 1045". COBEF, Curitiba, Brazil.
- Stoeterau, R. L., 2004. "Introdução ao projeto de máquina-ferramentas modernas". Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brazil, 114 p.
- Trent, E., Wright, P., 2000. "Metal cutting". 4 ed. Ed. BH, Boston, USA.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

INFLUENCE OF THE VARIATION OF THE EXTERNAL DIAMETER OF THE PART ON THE ROUGHNESS AND ELECTRIC CURRENT IN THE TURNING OF SAE 1045 STEEL WITH CONSTANT ROTATION

Samuel Siqueira Piauilino, samuel.siqueira-piauilino@hotmail.com¹

Júlia Veras Rocha, jujuveras3007@gmail.com¹

Ana Katarina do Amaral Nunes, anakatarina@ufpi.edu.br¹

Patrick Abreu de Oliveira, patrick.abreu@live.com¹

Marcos Guilherme Carvalho Bráulio Barbosa, marcosguilherme@ufpi.edu.br¹

Raphael Lima de Paiva, raphaellimap@ufpi.edu.br¹

¹Federal University of Piauí, School of Mechanical Engineering, Teresina – PI, Brazil

Abstract. *In machining processes, studying and monitoring input parameters is essential to understand their influence on output variables of the process, since it provides information in order to optimize the cutting conditions. However, in turning tests performed in conventional lathes, analyzing the influence of cutting parameters is a challenge, given that these machine tools generally do not allow the selection of specific values of spindle rotation and feed rate. Thus, to perform different tests on these machine tools with the same cutting speed, for example, several specimens with the same diameter are needed, since any variation in diameter generates changes in the cutting speed, which cannot be compensated by variations in spindle speed due to machine tool limitation. In this sense, this work aims to analyze the influence of initial external diameter of workpiece in output variables in the turning of SAE 1045 steel with the same spindle speed. Two different cutting conditions in terms of feed rate were also evaluated (0.2276 mm/rev and 0.3544 mm/rev). The output variables analyzed were workpiece's roughness and the electric current of the machine tool. A portable roughness meter was used to measure the roughness and the parameters Ra, Rq and Rz were analyzed. The electrical current of the machine tool was measured with the aid of an Arduino microcontroller and Hall Effect sensor installed in one of the phases of the spindle motor. The results showed that, for the conditions used in this work, the variation of the initial external diameter and consequent cutting speed variation was not significant for roughness results. The electric current of the machine tool, on the other hand, showed a tendency reduction, although slightly significant, with the decrease in initial diameter of the workpiece, especially for the higher feed rate (0.3544 mm/rev).*

Keywords: *Turning, Rotation speed, Cutting speed, Roughness, Electric current.*