

INFLUÊNCIA DO AVANÇO E RAIOS DE QUINA DO INSERTO NO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE NO TORNEAMENTO COM ALTA VELOCIDADE DE CORTE DO AÇO 4340

Laurence Colares Magalhães

laurence_magalhaes@ufam.edu.br

Universidade Federal do Amazonas. Av. General Rodrigo Otávio Jordão Ramos, 1200, Coroado I, Manaus – AM.

Luigi Santos de Siqueira

luigi_santos13@hotmail.com

Universidade Federal do Amazonas.

Wilson Sérgio Nobre da Silva Júnior

wilsonsergio786@gmail.com

Universidade Federal do Amazonas.

Aristides Rivera Torres

artorres@uea.edu.br

Universidade do Estado do Amazonas. Av. Darcy Vargas, 1200, Parque dez, Manaus-AM.

Resumo. O torneamento é um dos processos de remoção de material com ferramentas de geometria definida mais utilizados na indústria, sendo aplicado na fabricação dos mais diversos tipos de superfícies de revolução. A integridade da superfície, notadamente a rugosidade, implica em um dos fatores preponderantes neste processo, uma vez que, via de regra, é um dos requisitos de projeto de maior exigência para determinados componentes mecânicos. Neste trabalho, a qualidade da superfície foi avaliada em função da variação do avanço e do raio de quina da ferramenta no torneamento do aço AISI 4340, usando alta velocidade de corte, para uma operação de acabamento. Dentro dos parâmetros estabelecidos no trabalho, os resultados não seguiram o determinado por definições teóricas e a rugosidade não foi prejudicada com o aumento do avanço. Como esperado, com o emprego do maior raio de quina a rugosidade foi melhorada. Quando a melhor configuração de avanço e raio de quina foram empregados, para a velocidade de corte adotada, valores de rugosidade na ordem de $R_a 0,3 \mu m$ foram alcançados.

Palavras chave: Torneamento. Rugosidade. Alta velocidade de corte.

1. Introdução

O acabamento da superfície é um dos fatores mais importantes para a engenharia de fabricação, pois influencia em diversos componentes mecânicos, como eixos, rolamentos, engrenagens, cames, entre outros, que possuem movimentos relativos entre si (Davim 2001). Em muitos casos, o aumento da velocidade de corte e a redução na taxa de avanço melhoram a rugosidade da superfície, uma vez que o aumento de temperatura na zona de corte provoca um amolecimento do material, facilitando o cisalhamento do cavaco (Suresh et. al., 2012).

Segundo Sahoo & Sahoo (2012), os fatores que mais influenciam a rugosidade de uma superfície usinada são o avanço (f), o raio de quina da ferramenta (R_e), e a velocidade de corte (V_c), respectivamente. A Fig. 1 mostra a formação da rugosidade teórica em função de f e R_e no processo de torneamento, que pode ser descrita pela equação 1.

$$h = \frac{f^2}{8R_e} \quad (1)$$

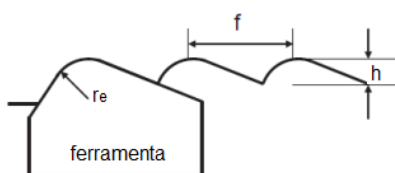


Figura 1. Perfil teórico de superfícies usinadas por torneamento (Adaptado de Machado, 2009)

Vale ressaltar que esta formulação teórica não leva em consideração fatores inerentes ao processo como a velocidade de corte, vibrações, dureza do material, bem como sua variação ao longo da superfície usinada, rigidez da máquina, fixação da peça, dentre outros aspectos. Portanto, é necessário que experimentos sejam realizados, quando possível, para se buscar compreender melhor a influência de importantes parâmetros de processo na rugosidade da peça usinada.

Neste sentido, Kumar et al. (2018) estudaram o impacto da velocidade de corte, profundidade de corte e avanço no acabamento da superfície e desgaste da ferramenta no torneamento duro (~50 HRC) do aço 4340 utilizando ferramentas de metal duro revestidas. Neste caso, os resultados mostraram que o avanço é o parâmetro que mais influencia o acabamento da superfície e a profundidade de corte o desgaste da ferramenta. A rugosidade é fortemente prejudicada quando do torneamento a seco. No estudo os parâmetros que levaram a um melhor acabamento da superfície foram velocidade de corte de 350 m/min, avanço de 0,04 mm/rev e profundidade de corte de 0,2 mm.

Chincharikar & Choudhury (2013) realizaram experimentos no aço AISI 4340 usando durezas distintas (35, 45 e 55 HRC), utilizando ferramentas de metal duro revestidas. Foi observado que o avanço e profundidade de corte aumentam substancialmente as forças de usinagem, o que ocasiona um aumento de vibrações na máquina, prejudicando o acabamento da superfície. Por outro lado, o aumento da velocidade de corte leva a uma melhora na rugosidade.

Srithar et al. (2014), tornearam o aço AISI D2 com 66 HRC com ferramentas de metal duro variando velocidades de corte, avanços e profundidades de corte, sendo também observado que o aumento da velocidade de corte melhora a rugosidade da superfície, já o aumento do avanço e da profundidade de corte acarretam uma queda na qualidade final do acabamento.

Ginting et al. (2018) estudaram o efeito do tipo do revestimento do inserto torneamento do aço 4340 endurecido a 48 HRC, no acabamento da superfície e na vida da ferramenta. Os melhores acabamentos da superfície foram obtidos com ferramentas CVD multicamadas (R_a 0,8 – 1,6 μ m) sendo uma maior vida da ferramenta alcançada para insertos PVD monocamada em condições leves. Em condições mais severas o revestimento CVD multicamadas apresentou melhor desempenho. Atenta-se para este estudo que as faixas de velocidades de corte estabelecidas foram na ordem de 65 a 75 m/min e profundidades de corte entre 1 e 2 mm.

Agrawal et al. (2015) empregaram um conjunto de 39 diferentes configurações de experimentos para estudar o efeito da velocidade de corte, avanço e profundidade de corte na rugosidade do aço 4340, endurecido a 69 HRC, utilizando insertos de CBN. Foi verificado que o avanço tem maior impacto neste quesito. O melhor resultado (R_a 0,502 μ m) foi alcançado para um avanço de 0,08 mm/rev., 0,1 mm na profundidade de corte e rotação do fuso de 1608 rpm.

Kumar et al. (2012), investigaram os efeitos que a rotação do fuso e o avanço teriam na rugosidade dos aços SAE 8620, EN8, EN19, EN24 e EN47, utilizando uma ferramenta de metal duro. Foi observado que o aumento da taxa de avanço ocasionou um aumento da rugosidade, porém, o aumento da rotação do fuso proporcionou uma diminuição do valor da rugosidade, independente do material estudado. Chou & Song (2004) verificaram que as forças de corte aumentam com o aumento do raio de quina do inserto quando da usinagem do aço AISI 52100 endurecido (60-62 HRC) usando CERMETS, tendo este parâmetro forte influência na rugosidade da superfície.

Neste trabalho a qualidade da superfície foi avaliada em função da variação do avanço e do raio de quina da ferramenta no torneamento do aço AISI 4340, usando alta velocidade de corte na operação de acabamento, com o objetivo de comparar os resultados obtidos aos estimados teoricamente além de indicar as melhores alternativas para o processo em questão.

2. Materiais e Métodos

Foram estabelecidos três valores diferentes de avanço e dois raios de quina do inserto. A Tab. 1 mostra os valores destes parâmetros usados nas seis configurações diferentes para os ensaios. Foi estabelecida uma velocidade de corte de 400m/min (4937 rpm) e profundidade de corte de 0,15 mm. Foi usinado um corpo de prova para cada configuração estabelecida.

Tabela 1. Valores dos parâmetros utilizados no experimento

Configuração	f (mm/rot)	Re (mm)	h (rug. Teórica) (μ m)
C1	0,02	0,4	0,125
C2	0,05	0,4	0,781
C3	0,1	0,4	3,125
C4	0,02	0,8	0,062
C5	0,05	0,8	0,391
C6	0,1	0,8	1,562

Foram utilizados insertos negativos de metal duro, classe P10, revestidos com nano texturas de TiCN e Al_2O_3 (CVD), ISO DNMG150604 e ISO DNMG150608 (Mitsubishi UE 6105), indicados para o torneamento leve de aços em altas velocidades de corte. O suporte ISO PDJNR2525M15 foi utilizado. Para cada corpo de prova um gume novo foi utilizado.

Os raios de quina dos inserts foram medidos utilizando-se um sistema ótico de medição modelo OLM 3020 do fabricante Hexagon, com incerteza de medição de $0,3 \pm L/150 \mu\text{m}$. Foram tomadas cinco medidas e os valores médios dos raios encontrados foram de 0,41 mm e 0,82 mm, respectivamente (Fig. 2). Este equipamento também foi utilizado para avaliação do desgaste do flanco dos inserts ao final do torneamento de cada corpo de prova (comprimento usinado de 100 mm).

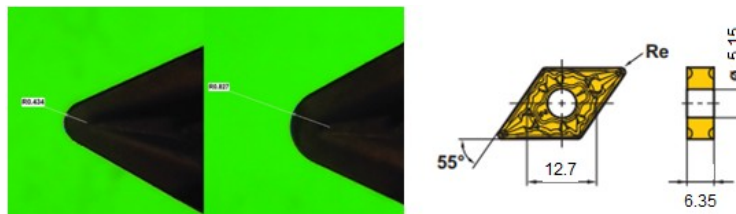


Figura 2. Detalhe da medição dos raios de quina e geometria dos inserts (dimensões em mm)

Os tarugos de aço AISI 4340 foram utilizados em seu estado de fornecimento (96,15 HRB), com 150 mm de comprimento e diâmetro ajustado em 25,8 mm. Os ensaios foram conduzidos em um torno CNC de barramento inclinado, do fabricante ROMI, modelo Galaxy 10, que apresenta rotação máxima de 6000 rpm e 10 kW de potência instalada no fuso da máquina.

Foi realizado um passe de ajuste em cada corpo de prova a fim de homogeneizar a superfície para o ensaio, que foi realizado com um comprimento de corte 100 mm. Para a verificação do acabamento da superfície foi utilizado um rugosímetro da marca Mitutoyo, modelo Surftest SV 4000, com apalpador esférico de raio $2 \mu\text{m}$. O valor de *cut-off* foi definido em 0,8 mm e o comprimento de avaliação em 4 mm, baseados na norma ISO 4288:1996. A Fig. 3 mostra o arranjo máquina – peça – ferramenta utilizado nos ensaios, bem como detalhe da avaliação da rugosidade.

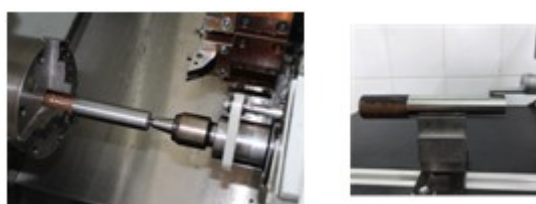


Figura 3. Esquema de fixação peça-ferramenta para os ensaios e medição da rugosidade

3. Resultados e discussões

A Tab. 2 mostra os resultados de rugosidade encontrados para cada configuração de ensaio nos parâmetros de desvio aritmético médio (R_a), rugosidade média (R_z) e a profundidade total da rugosidade (R_t). A Fig. 4 mostra o desvio aritmético médio dos perfis avaliados (R_a) para cada raio de quina em função do avanço, comparando com o esperado pela relação teórica. No processo de torneamento onde os sulcos de usinagem são bem orientados os parâmetros R_a e R_z são bastante indicados para a avaliação da superfície. O parâmetro R_t indica a maior diferença entre o pico mais alto e o vale mais profundo dentro do comprimento total de avaliação.

Tabela 2. Medições de rugosidade, R_a , R_z e R_t

Configuração	$R_a (\mu\text{m})$	$R_z (\mu\text{m})$	$R_t (\mu\text{m})$
C1	1,14	5,53	8,27
C2	0,40	1,9	2,3
C3	0,47	2,1	2,97
C4	0,55	2,2	3,03
C5	0,36	1,8	2,3
C6	0,42	2,0	2,73

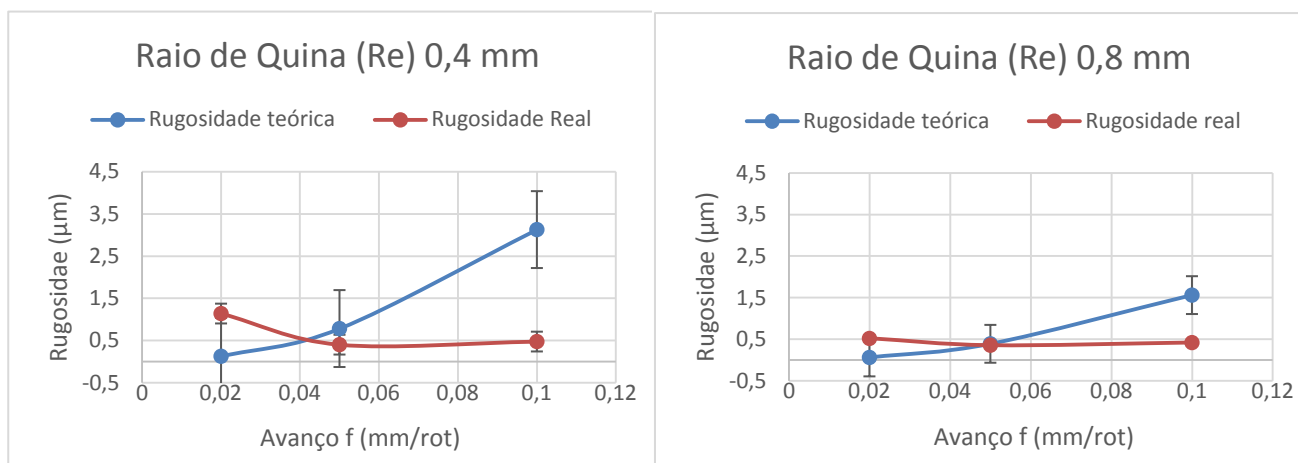


Figura 4. Gráfico dos resultados de rugosidade obtidos com a variação dos valores de avanços para a ferramenta 1 e 2

Como apresentado pelos gráficos da Fig. 4, os valores de rugosidade obtidos não seguiram o esperado segundo a relação para a rugosidade teórica, em termos de avanço. Observa-se que com o aumento do avanço a rugosidade não é prejudicada, para ambos os insertos utilizados. Estes resultados não vão ao encontro dos resultados obtidos por Chinchani & Choudhury (2013), Srithar et al. (2014), Agrawal et al. (2015), Kumar et al. (2012) e Kumar et al. (2018) que mostram que o aumento do avanço é sempre preponderante para a degradação da qualidade da superfície usinada. Certamente a condição do material usinado e a faixa de avanço utilizada foi preponderante para estes resultados.

Com efeito, a rugosidade final nem sempre segue a relação teórica em função da própria cinemática do processo, sendo influenciada pela condição do material usinado, esforços de corte e vibrações, rigidez da máquina ferramenta e ainda material e revestimento da ferramenta de corte (Nakayama et al, 1966; Shouckry, 1982). Não obstante, os menores valores de rugosidade foram alcançados com maior raio de quina do inserto, como esperado, pela definição de rugosidade teórica.

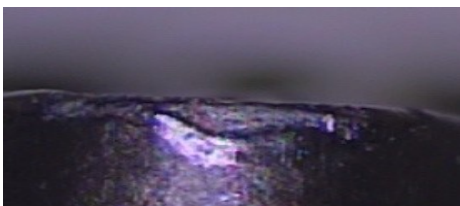
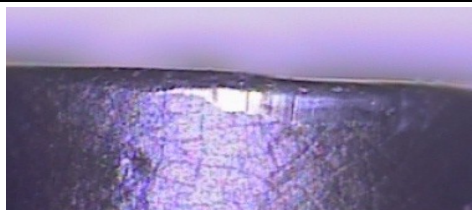
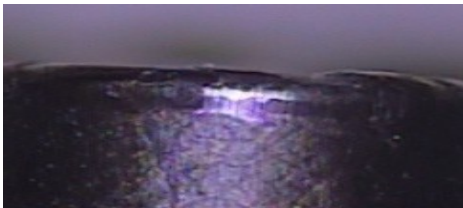
3.1. Análise dos desgastes de flanco

O desgaste da ferramenta é um processo contínuo e influencia a dinâmica da usinagem. O aumento da largura da região de desgaste na face do flanco provoca o crescimento intensivo das forças de atrito, o que resulta no aumento da força de corte (Tönshoff et. al., 2000). A intensidade do desgaste da ferramenta, além de sua influência na vida útil da mesma, também influencia as microcristas e a microdureza da superfície usinada (Krolczyk et. al., 2015).

Em função dos baixos valores de comprimento usinado, os valores de desgaste de flanco médio V_b não ultrapassaram os 73 μm, sendo o maior desgaste encontrado para o inserto com menor raio de quina empregando-se o menor avanço, notadamente o tempo de corte foi decisivo neste resultado uma vez que para este avanço o tempo de corte (2,04 min.) foi 10 vezes superior ao tempo de corte para o avanço de 0.1 mm/rot (0,2 min). Leves deformações foram também observadas em função de sua menor resistência e que evidenciam elevadas taxas de calor sendo transferidas ao gume do inserto.

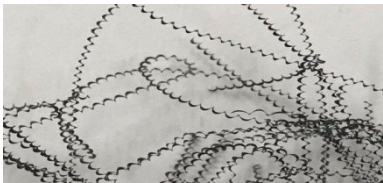
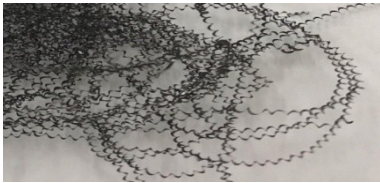
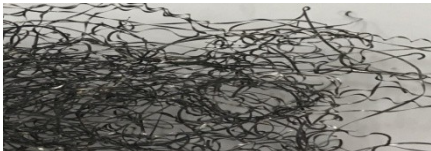
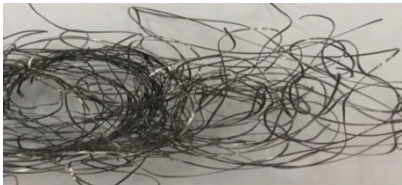
Vale frisar que esta configuração de menor raio de quina com menor avanço foi a que mostrou o pior acabamento da superfície usinada. A marca de desgaste de flanco médio V_b não ultrapassou os 10 μm para os insertos com maior raio de quina, certamente denotando a relação direta com os menores valores de rugosidade obtidos com estes insertos.

Tabela 3. Marcas do desgaste de flanco (Ampliação 30 X)

		R ϵ (mm)	
		0,4	0,8
f (mm/rot)	0,01		
	0,05		
	0,1		

3.2. Análise simplificada dos Cavacos

Tabela 4. Formas dos cavacos obtidos

		R ϵ (mm)	
		0,4	0,8
f (mm/rot)	0,01		
	0,05		
	0,1		

A morfologia e os mecanismos de formação de cavacos refletem as características das cargas mecânicas e térmicas, que posteriormente terão grandes efeitos sobre os mecanismos de falha de ferramenta (Wang CY et. al., 2014).

Em função dos relativamente baixos valores de avanço e ainda da baixa profundidade de corte empregada, todos os cavacos formados foram contínuos, de pequena espessura. Dentro da faixa de avanços analisados não foi verificado o cavaco segmentado. Para o menor valor de avanço formou-se um cavaco helicoidal em forma de arruela e emaranhado. Com maior valor de avanço formou-se um cavaco em fita longo emaranhado. A coloração metálica dos cavacos evidencia que taxas excessivas de calor não foram dissipadas com os mesmos.

4. Conclusões

Este trabalho teve o objetivo de avaliar a rugosidade final, em uma operação de acabamento, no torneamento do aço 4340, em função da variação do avanço e do raio de quina da ferramenta. Os experimentos foram realizados usando-se alta velocidade de corte (400 m/min). Verificou-se que, para os parâmetros selecionados neste trabalho, o aumento do avanço não prejudicou a rugosidade da superfície usinada, contrariando assim o que se esperava em teoria e em algumas literaturas (Chinchanihar & Choudhury, 2013; Srithar et al. 2014; Agrawal et al. 2015, Kumar et al. 2012, Kumar et al. 2018). O maior raio de quina do inserto leva a um melhor acabamento da superfície, como esperado. O menor raio de quina apresentou maior desgaste de flanco para o comprimento de corte usinado, no entanto, o desgaste foi de pequenas magnitudes para todas as configurações avaliadas. A configuração de menor raio de quina com menor avanço foi a que gerou a pior rugosidade dentre todos os experimentos.

Para a grande maioria das configurações dos parâmetros utilizados o acabamento da superfície foi extremamente satisfatório variando na casa de R_a 0,35 μm a 0,55 μm . A configuração recomendada ao final dos experimentos é um avanço de 0,05 mm/rot com o inserto de 0,8 mm de raio de quina, tanto em termos de rugosidade quanto de desgaste da ferramenta. Futuros trabalhos serão conduzidos variando-se a condição do material usinado bem como velocidades e profundidades de corte.

5. Referências

- Agrawala, A., Goelb, S., Rashide, W.B. Prediction of surface roughness during hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC). *Applied Soft Computing* 30 (2015) 279–286.
- Chinchanihar, Satish, and S. K. Choudhury. 2013. “Investigations on Machinability Aspects of Hardened AISI 4340 Steel at Different Levels of Hardness Using Coated Carbide Tools.” *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 38: 124–33.
- Chou, Y. Kevin, and Hui Song. 2004. “Tool Nose Radius Effects on Finish Hard Turning.” *Journal of Materials Processing Technology* 148 (2): 259–68.
- Davim, JP. 2001. “A Note on the Determination of Optimal Cutting Conditions for Surface Finish Obtained in Turning Using Design of Experiments.” *Journal of Materials Processing Technology* 116: 305–8.
- Ginting, A., Skeina, R., Cuaca, D., Herdianto, Pietera, Masyithah, Z. The characteristics of CVD- and PVD-coated carbide tools in hard turning of AISI 4340. *Measurement* 129 (2018) 548–557.
- Krolczyk G, Nieslony P, Legutko S. “Investigation of the physical parameters of Duplex Stainless Steel (DSS) surface integrity after turning”. *Metalurgija* 2015; 54: 87–90.
- Kumar, J.P., Kishore, K.P., Kumar, R., Karthick, K.R.S., Gowtha, S.V. Experimental investigation on hard turning of AISI 4340 steel using cemented coated carbide insert. *International Conference on Advances in Metallurgy, Materials and Manufacturing. Materials Science and Engineering* 314 (2018).
- Kumar, N Satheesh, Ajay Shetty, Ashay Shetty, K Ananth, and Harsha Shetty. 2012. “Effect of Spindle Speed and Feed Rate on Surface Roughness of Carbon Steels in CNC Turning.” *Procedia Engineering* 38 (Icmoc): 691–97.
- Nakayama, K.; Shaw, M.C.; Brewer, R.C. “Relationship Between Cutting Forces, Temperature, Built-up Edge and Surface Finish”, *Annals of CIRP*, vol. 14, 1966, pp. 211–223.
- Machado, A.R., da Silva. *Teoria da Usinagem dos Metais*, Ed. Blucher, 2009.
- Shouckry, A.S. “The Effect of Cutting Conditions on Dimensional Accuracy”, *Wear*, vol. 80, 1982, pp. 197–205.
- Sahoo, Ashok Kumar, and Bidyadhar Sahoo. 2012. “Experimental Investigations on Machinability Aspects in Finish Hard Turning of AISI 4340 Steel Using Uncoated and Multilayer Coated Carbide Inserts.” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 45 (8): 2153–65.
- Srithar, A, K Pa Ianikumar, and B Durgaprasad. 2014. “Experimental Investigation and Surface Roughness Analysis on Hard Turning of AISI D2 Steel Using Coated Carbide Insert.” *Procedia Engineering* 97: 72–77.
- Suresh, R., S. Basavarajappa, and G. L. Samuel. 2012. “Some Studies on Hard Turning of AISI 4340 Steel Using Multilayer Coated Carbide Tool.” *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 45 (7): 1872–84.
- Tönshoff HK, Arendt C and Ben Amor R. “Cutting of hardened steel”. *CIRP AnnManuf Technol* 2000; 49: 547–566.
- Wang CY, Xie YX, Zheng LJ, Qin Z, Tang DW, Song YX. “Research on the chip formation mechanism during the high-speed milling of hardened steel”. *Int J Mach Tools Manuf* 2014; 79:31–48

INFLUENCE OF THE TOOL FEED AND CORNER RADIUS IN SURFACE QUALITY ON HIGH SPEED TURNING OF 4340 STEEL

Laurence Colares Magalhães

laurence_magalhaes@ufam.edu.br

Amazonas Federal University. Rodrigo Otávio Street, 1200, Coroado I, Manaus – AM.

Luigi Santos de Siqueira

luigi_santos13@hotmail.com

Amazonas Federal University.

Wilson Sérgio Nobre da Silva Júnior

wilsonsergio786@gmail.com

Amazonas Federal University.

Aristides Rivera Torres

artorres@uea.edu.br

Amazonas State University. Darcy Vargas Street, 1200, Parque dez, Manaus-AM.

Abstract. Turning is one of the most used machining processes in the industry, being applied in the manufacture of the most diverse types of revolution surfaces. The surface integrity, especially the roughness, implies one of the preponderant factors in this process, since, as a rule, it is one of the most demanding design requirements for certain mechanical components. In this work, the surface quality was evaluated as a function of the variation of the feed and the corner radius of cemented carbide inserts in AISI 4340 steel finishing turning, using a high cutting speed. Within the parameters established in the work, the results did not follow the theoretical determinations and the roughness was not impaired with the increase of the tool feed. As expected, with the use of the largest corner radius the roughness was improved. When the best relation between feed and corner radius were employed, roughness values in the order of $Ra\ 0.3\ \mu m$ were reached for the adopted cutting speed.

Keywords: Turning. Roughness. High speed turning.