



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

ANÁLISE DA RUGOSIDADE EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DE AVANÇO EM OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO

Marcos Sávio de Souza, msavio.ufla@hotmail.com
Carlos Henrique Lauro, caiquelauro@gmail.com
Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufs.br

Universidade Federal de São João del Rei - Praça Frei Orlando, 170 - Centro

Resumo: *A qualidade de produtos usinados está diretamente ligado a rugosidade. Dependendo da aplicação de determinados componentes e suas características de montagem será necessário a aplicação de processos de acabamento posteriores como retificação e polimento. No processo de torneamento a rugosidade é diretamente influenciada pelo avanço da máquina e pelo raio de ponta da ferramenta. Baseado nesse conceito, esse trabalho apresenta uma correlação entre a rugosidade e a velocidade de avanço durante um processo de torneamento de acabamento. Foi utilizado como parâmetro de associação a medição da rugosidade Ra em relação ao desgaste de flanco VB da ferramenta na superfície de folga. Todas as variáveis foram mantidas constantes, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, exceto a rotação do eixo árvore da máquina que variou em função do diâmetro da peça, dessa forma, possibilitou-se a variação da velocidade de avanço. Conclui-se neste trabalho que existe uma tendência ao aumento da rugosidade com relação ao desgaste da ferramenta e pode ser considerado que a rugosidade é um parâmetro quantitativo na avaliação do desempenho da ferramenta.*

Palavras-chave: *Velocidade de avanço, Desgaste de Ferramentas, Rugosidade Ra, Acabamento Superficial.*

1. INTRODUÇÃO

Embora o corte dos metais seja estudado desde os meados do século 19, a história relata que as primeiras pesquisas nesta área começam a partir do final de segunda Grande Guerra mundial. Os estudos começaram a ser realizados em grande escala, neste período, devido à evolução no tratamento térmico dos metais, o surgimento de novos materiais, o desenvolvimento de novas máquinas ferramenta e a produção de componentes em uma escala superior da que era utilizada nas décadas anteriores (Shaw, 2004).

Nos últimos 80 anos, os mais diversos tipos de pesquisa foram conduzidos na área da usinagem dos metais. A grande maioria dos trabalhos que foram e são atualmente desenvolvidos, estão relacionados com os fenômenos da usinagem ligados à produtividade do processo, tais como: esforços de corte, vida de ferramentas, acabamento superficial, formação do cavaco, redução de refugos, monitoramento de processos, entre outras.

A evolução das ferramentas de corte principalmente após o aparecimento do Carbetto de Tungstênio, nos meados do século passado e das ferramentas cerâmicas décadas após, tornou possível a usinagem de quase todos os materiais desenvolvidos no mercado, melhorando dessa forma, não só a qualidade das peças produzidas como também as ferramentas de corte (Mills & Redford, 1993; Machado et al., 2009).

A rugosidade tem um objetivo importante sobre a vida dos diversos componentes utilizados na Engenharia Mecânica. Peças com baixa rugosidade irão melhorar a vida útil dos componentes minimizando a fadiga devido à redução do atrito de fricção e as taxas de desgaste, além de melhorar a resistência à corrosão e os aspectos estéticos (Agostinho, 1977). Além disso, sistemas de vedação hidráulicos, por exemplo, serão mais eficientes quanto menos rugosas forem as superfícies nas quais serão montados.

Nos dias atuais, os produtos manufaturados por usinagem são cada vez mais exigidos com relação a uma alta qualidade e a um baixo custo, essa qualidade está principalmente ligada às tolerâncias e a rugosidade. O monitoramento e o controle das variáveis de usinagem, principalmente os relacionados com a rugosidade de peças usinadas, aliado a um processo cada vez mais eficiente em relação às máquinas e aos dispositivos de auxílio do processo produtivo aumentarão a qualidade dos componentes industriais. O controle da rugosidade é fundamental para unir qualidade, monitoramento do processo de usinagem e produtividade.

1.1. Rugosidade – Estado da arte

Segundo Ferraresi (1977) os erros geométricos nas superfícies da peças, provenientes da usinagem, podem ser classificadas da seguinte forma: desvios macro-geométricos como as ondulações e os desvios micro-geométricos como a rugosidade. Os desvios macro-geométricos da forma ideal (erros de forma) se estendem por toda a superfície a ser testada, e são geralmente admitidos dentro das tolerâncias de usinagem, especificadas pelos projetistas, já os erros micro-geométricos estão diretamente ligados à qualidade da peça. As ondulações referem-se às séries de desvios regularmente repetidos em uma forma aproximadamente senoidal e com o comprimento e onda aproximadamente constante.

Os desvios micro-geométricos, ou as micro-irregularidades constituem a rugosidade. São caracterizados pela razão entre o passo “L3” e sua altura “h3” Fig. (1). Esses desvios são os de maior importância, uma vez que a rugosidade é avaliada pela altura e por certas características das micro-irregularidades. São originadas pelo próprio processo de formação, aresta postiça de corte, marcas do avanço da ferramenta nas operações de acabamento, etc.

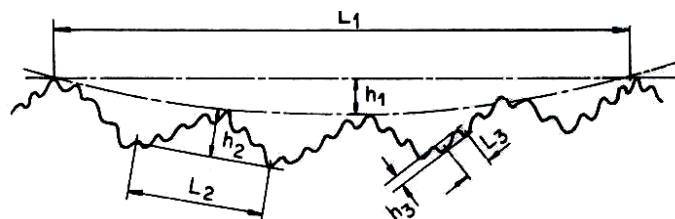


Figura 1. Representação esquemática dos erros geométricos no perfil da superfície de uma peça usinada (Ferraresi, 1977).

Segundo Gillibrand et. al. (1996), as operações de torneamento de acabamento são normalmente realizadas em condições que resultam na geração de uma superfície através de uma geometria combinada entre aresta principal de corte, secundária e o raio de ponta, fazendo surgir uma superfície que apresenta uma configuração em função do raio de ponta conforme pode ser observado na Fig. (2).

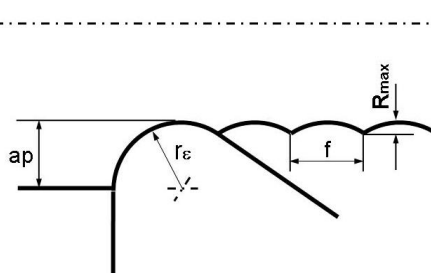


Figura 2. Esquema da Rugosidade máxima teórica R_{MAX} para o torneamento (Gillibrand et. al., 1996).

A distância entre as duas cristas sucessivas deste formato corresponde ao avanço da ferramenta, onde em condições ideais a altura entre o pico e um vale desta superfície corresponde a Rugosidade Máxima R_{MAX} , conforme a Eq. (1).

$$R_{MAX} = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (1)$$

Onde:

f = avanço da ferramenta em milímetros por rotação, [mm/rot];

r_ϵ = raio de ponta da ferramenta em milímetros, [mm];

R_{MAX} = Rugosidade Máxima Teórica, [mm].

Entretanto, devido à utilização em escala mundial do padrão de medição da Rugosidade ser função de “Ra”, que representa a média das áreas acima e abaixo de uma linha imaginária do perfil medido, pode-se ter uma relação teórica da Rugosidade “Ra” (μm) de acordo com a Eq. (2) (Muñoz-Escalona & Cassier, 1998).

$$Ra = 0,0321 \frac{f^2}{r_\epsilon} \quad (2)$$

O aumento do raio de ponta proporciona uma ferramenta mais resistente, auxilia no melhoramento do acabamento, mas também influi na vibração da peça devido ao aumento da região de atrito causando assim uma maior área de contato entre a ferramenta e a peça. Segundo Carlsson (2001), o acabamento da peça depende muito da relação entre o avanço e o raio de ponta da ferramenta, esse par “ f/r_g ” (avanço/raio de ponta) tem uma grande contribuição geométrica à rugosidade da peça, conforme Eq. (2).

O torneamento de acabamento é uma operação de finalização do produto e em muitos casos, a única operação que poderá realmente definir a qualidade da peça usinada, pois processos posteriores passam a agregar apenas custos no valor final do produto. O acabamento utiliza apenas uma pequena parte da aresta de corte de uma ferramenta, no caso de uma pastilha intercambiável, basicamente apenas o raio de ponta e uma pequena parcela da aresta secundária de corte são utilizados, e esse raio de ponta tem um papel fundamental no acabamento da peça.

As exigências feitas sobre uma aresta de corte para o acabamento, durante a usinagem, são diferentes em alguns aspectos sobre aquelas feitas sobre uma aresta para torneamento de desbaste. A tenacidade da ferramenta, do material usinado e a taxa de remoção são os fatores principais do desgaste, ao passo que para o torneamento de acabamento, a precisão da peça usinada e a resistência ao desgaste é que se tornam importantes (Ezugwu, 1997).

Quando se trata de operações de acabamento, a economia na produção precisa ser observada de outro ponto de vista, pois o semi-acabamento até certo ponto, por exemplo, têm taxas de remoção de metal e tempo de máquina como um dos principais fatores de economia. Porém, no acabamento a principal preocupação é com a qualidade do produto, ao se calcular a economia de usinagem baseada na vida útil da ferramenta e na taxa de remoção de material, os principais critérios de acabamento não refletem o atual desenvolvimento de fabricação do componente (SANDVIK, 1996; Matsumoto & Diniz, 1999).

Melhorar a economia da usinagem de uma operação de desbaste significa uma taxa maior de remoção de material em combinação com uma velocidade de corte maior. No acabamento, a precisão exigida na operação limita a faixa de avanço. Geralmente, existe uma relação característica entre o acabamento superficial e a velocidade de corte para uma determinada aplicação, levando à otimização no que se refere ao acabamento superficial e a vida útil da ferramenta (Sharman et al., 2001. Tay et al. 2002).

2. METODOLOGIA

2.1. Ensaios de Torneamento

Os ensaios de torneamento foram realizados com as ferramentas TCMT 110208 – S1P e ferramenta SPGN 090308 – P30 com e sem cobertura, respectivamente. O equipamento utilizado foi um torno CNC NARDINI modelo LOGIC 175 com 7,5 CV de potência. O esquema dos corpos-de-prova foi de acordo com a Fig. (3). Para realizar os ensaios mantendo-se constante a velocidade de corte e os valores da Tab. (1), ensaios intermediários foram realizados com a pastilha SPGN 09 03 08 - P30 com o objetivo de preparar novamente os corpos de prova, e assim, coletar também os dados com as variáveis da Tab. (2). A medição do desgaste de flanco foi realizada em um projetor de perfil Carl Zeiss Jena modelo MP 320, sendo realizada a cada 8 corpos de prova para os ensaios com corte a seco e 16 corpos de prova com ensaio com fluido de corte, o valor para o fim de vida foi de 0,35 mm. O comprimento de balanço da peça foi de 109mm.

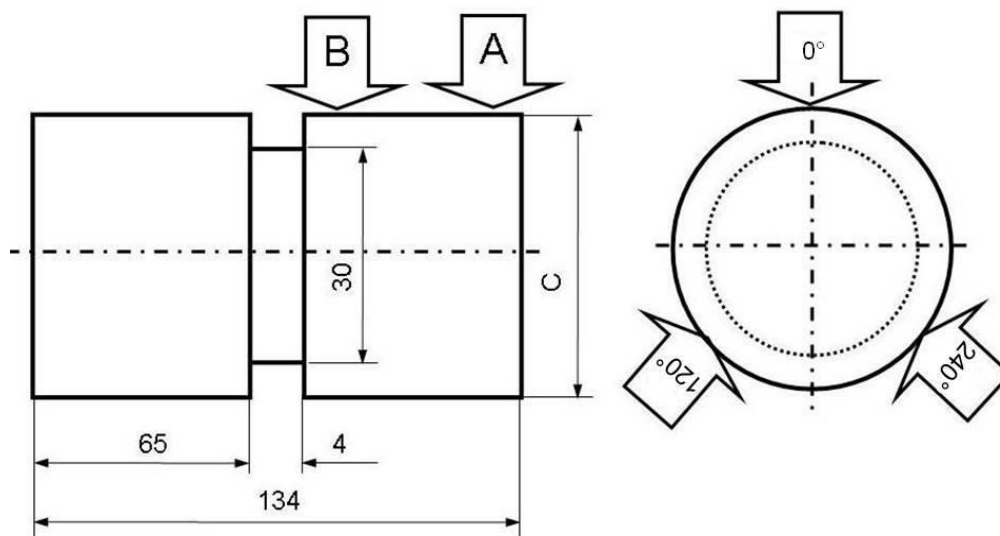


Figura 3. Corpo de prova utilizado nos ensaios. (o valor do diâmetro C é apresentado nas Tab. (1) e (2)).

Tabela 1. Variáveis utilizadas nos ensaios com a ferramenta TCMT 110208 – S1P

Experimento	ap = 0,5 mm; f = 0,15 mm/rot; Vc = 400 m/min; sem fluido de corte	
	Diâmetro “C” [mm]	Velocidade de avanço [mm/min]
S1	48	397,89
S2	44	434,06
S3	40	477,46
S4	36	530,52
S5	32	596,83

Tabela 2. Variáveis utilizadas nos ensaios com a ferramenta SPGN 090308 – P30

Experimento	ap = 1,5 mm; f = 0,2 mm/rot; Vc = 150 m/min; com fluido de corte	
	Diâmetro “C” [mm]	Velocidade de avanço [mm/min]
F1	45	212
F2	41	233
F3	37	258
F4	33	289

2.2. Medição da Rugosidade

A rugosidade foi medida em função da evolução do desgaste das ferramentas. Para isto utilizou-se uma rugosímetro modelo SurfTest 201 da MitutoyoTM, com valores de 0,25 a 2,5 mm de cut-off, sendo escolhido como parâmetro a Rugosidade “Ra” e convertidos posteriormente os valores para R_{MAX} para uma comparação com a Rugosidade Máxima Teórica, conforme a Eq. (2). Os locais de medição da rugosidade foram localizados nos pontos “A” e “B” com três pontos de localização situados a 120 graus em relação ao diâmetro, A_0 , A_{120} , A_{240} , B_0 , B_{120} e B_{240} , retirando-se no final uma média dos valores encontrados.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As Figuras (4) e (5) mostram o resultado dos ensaios realizados com a ferramenta TCMT 110208 – S1P e as Fig. (6) e (7) o resultado dos ensaios com a ferramenta SPGN 090308 – P30, onde é apresentado o comportamento e a evolução da Rugosidade em função do desgaste de flanco da ferramenta. Observa-se que de acordo com a Eq. (2), esperava-se um valor de rugosidade da ordem de 0,90 μm , entretanto, pode-se observar que os valores encontrados ficaram acima dos valores esperados com média de 2,15 μm .

Nos ensaios realizados sem o fluido de corte, nota-se na média, uma diminuição da Rugosidade do ponto “A” para o ponto “B”, o mesmo fenômeno pode ser observado nos ensaios realizados com o fluido de corte, pois a variação da rugosidade nos pontos “A” e “B” para esse ensaio comportou-se da mesma forma.

Os valores de rugosidade encontrados nos dois ensaios, apesar de alguns casos se apresentarem de forma aleatória, demonstram que realmente existe um aumento da rugosidade em relação ao desgaste progressivo da ferramenta, independentemente da velocidade de corte que foi utilizada.

Não se esperava grandes variações do desgaste de flanco da ferramenta, uma vez que foi mantida constante a velocidade de corte, o avanço e a profundidade de corte, porém o desgaste se comportou apresentando acréscimos de forma progressiva.

Rugosidade Ra x Desgaste de flanco VB

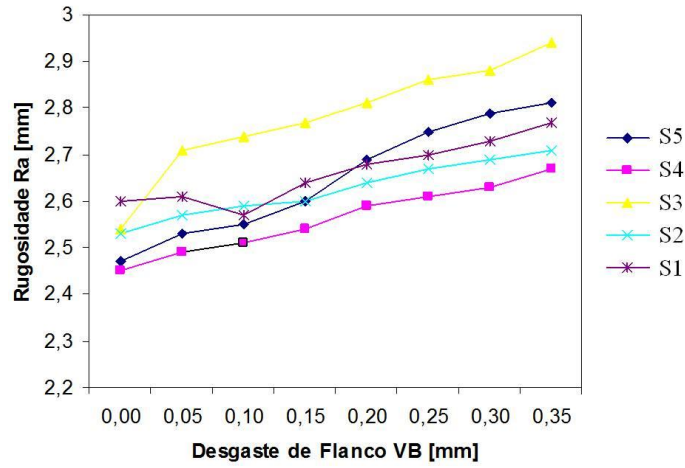


Figura 4. Rugosidade medida no ponto “A” ferramenta TCMT 110208 – S1P

Rugosidade Ra x Desgaste de flanco VB

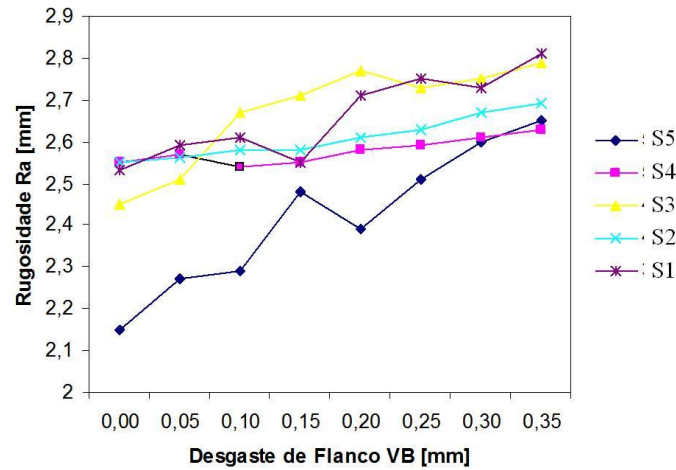


Figura 5. Rugosidade medida no ponto “B” ferramenta TCMT 110208 – S1P

Rugosidade Ra x Desgaste de flanco VB

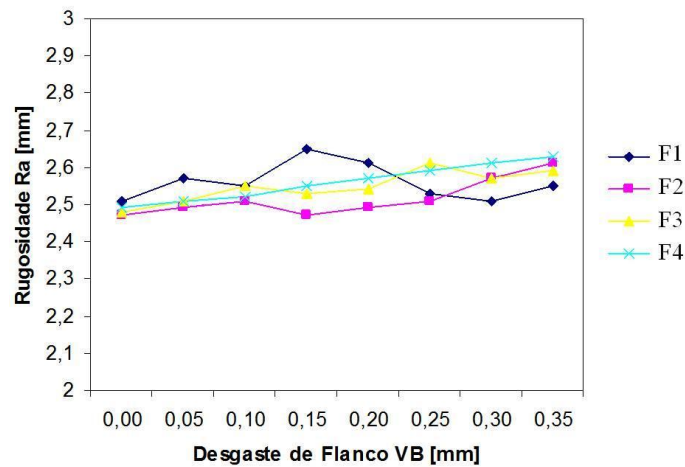


Figura 6. Rugosidade medida no ponto “A” ferramenta SPGN 090308 – P30

Rugosidade Ra x Desgaste de flanco VB

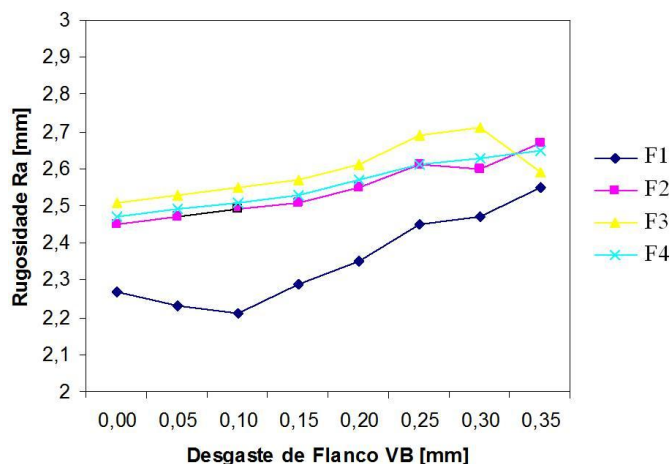


Figura 7. Rugosidade medida no ponto “B” ferramenta SPGN 090308 – P30

4. CONCLUSÕES

Em relação aos valores teóricos e práticos observa-se uma variação da ordem de 2,3 vezes maior do que o valor teórico para o valor medido, demonstrando que fazer estimativas do valor de rugosidade em função de modelos teóricos pode levar a uma avaliação errônea dos valores previstos mínimos de rugosidade para componentes usinados.

Quanto ao monitoramento dos valores da rugosidade da peça, os dados nos mostraram uma forte tendência ao crescimento dessa em relação ao aumento do desgaste.

Observa-se que não ocorreram grandes variações da rugosidade Ra com a evolução do desgaste, sendo que a faixa de variação ficou entre 2,5 a 2,9 μm , isto significa que ocorreu um aumento de apenas 20% (16%).

Entretanto, deve-se salientar que, pelo fato de ser a usinagem um mecanismo dinâmico e as ferramentas não terem sido solicitadas até seu extremo, esses valores podem cair dentro de uma outra faixa de condição para os valores de vida, melhorando o acabamento superficial da peça usinada. Dessa forma, aconselha-se considerar a rugosidade, como um parâmetro qualitativo e não quantitativo.

5. REFERÊNCIAS

- Agostinho, O.L.; Rodrigues, A.C.S.; Lirani, J. 1977, “Princípios de Engenharia de Fabricação Mecânica - Tolerâncias desvios e análises de dimensões”, Ed. Edgard Blücher 5ªed.
- Carlsson, T.; Stjernstoft, T. 2001, “A model for calculation of the geometrical shape of the cutting tool workpiece interface”, CIRP Annals – Manufacturing Technology, v. 50, n. 1, pp. 41-44.
- Ezugwu, E. O. 1997, “Tool wear in finish turning of medium carbon steel with coated carbide tools”, *lubrication Engineering*, v. 53, n. 11, 1997, pp. 25-31.
- Ferraresi, D. 1977, “Fundamentos da usinagem dos metais”, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
- Gillibrand, D.S.; Pierce, C.T. 1996, “The economic benefit of finish turning with coated carbide”, *Surface and Coating Technology*, v. 86-87, pp. 809-813.
- Machado, A.R.; Abrão, A.M.; Coelho, R.T.; Silva, M.B. 2009, “Teoria de Usinagem dos materiais”, Editora Edgard Blücher, 1º Ed., 371 pag.
- Matsumoto, H.K.; Diniz A.E. 1999, “Evaluation the quality of turned hardened steel workpiece”, *Revista Brasileira de Ciências Mecânicas, Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences*, v. 21, n.2, pp. 343-354.
- Mills, A.; Redford, H. 1983, “Machinability of Engineering Materials”, Applied Science Publishers
- Muñoz-Escalona, P.; Cassier, Z. 1998 “Influence of the critical cutting speed on the surface finish of turned steel”, *Wear*, v 218., pp.103-109.
- SANDVIK 1996, “Torneamento de acabamento: guia e aplicação”, SANDVIK, São Paulo, 78 p.
- Sharman, A.R.C.; Aspinwall, R.C.; Bowen, P. 2001, “Workpiece surface integrity considerations when finish turning gamma titanium aluminide”. *Wear*, v.249, pp. 473-481.
- Shaw, M.C. 2004, “Metal Cutting Principles”, Oxford Science Publications, 2nd Ed. 643 pp.
- Tay, F.E.H. Sikdar, S.K. Mannan, M.A. 2002, “Topography of the flank wear surface”, *Journal of Materials Processing Technology*, v. 120, p. 243-248.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

EVALUATION OF THE SURFACE ROUGHNESS BASED ON THE FEED RATE IN TURNING OPERATION

Marcos Sávio de Souza, msavio.ufla@hotmail.com

Carlos Henrique Lauro, caiquelauro@gmail.com

Lincoln Cardoso Brandão, lincoln@ufsj.edu.br

Federal University of São João del Rei - Praça Frei Orlando, 170 - Centro

Abstract. *The quality of machined products has a directly relation with surface roughness. Depending on the use of specific components and their assemblies characteristics will be necessary the application of finishing machining process as well grinding and polishing. Surface roughness in the turning is affected by the feed and tool tip radius. Based on this concept, this work shows a relation between surface roughness and feed during the finishing turning. It was used as parameter for measuring the association roughness R_a in relation to the flank wear VB . All variables were kept constant, cutting speed, feed, depth of cut, except the spindle speed that used tree speed depending on the specimen diameter. It can be concluded in this study that there is a tendency to increase the roughness with respect to tool wear and can be seen that the surface roughness parameter is a qualitative rather than quantitative on tool performance evaluation.*

Keywords: *Feed Speed; Flank Wear; Roughness R_a , Surface Finishing.*