

ANÁLISE DO EFEITO DAS CONDIÇÕES DE CORTE NO PERFIL E NOS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES USINADAS POR TORNEAMENTO

Toni Mansur

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 10 - Uberlândia/MG CEP: 38400-902

tmansur@mecanica.ufu.br; antoine@pop.com.br

Prof. Dr. Márcio Bacci da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 10 - Uberlândia/MG CEP: 38400-902

mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo: Nos anos recentes, o perfil da superfície é considerado um parâmetro decisivo para a análise da performance e das propriedades mecânicas das peças fabricadas. Isso é devido à maior necessidade de segurança e confiabilidade. O perfil é o fator mais importante de todas as análises de uma superfície usinada, pois ele descreve sua qualidade. Vários parâmetros são utilizados para a medição da rugosidade de uma superfície, alguns podem indicar melhor o efeito de alguma variável. Recentes pesquisas têm mostrado que o parâmetro R_a não é satisfatório para caracterizar e identificar o perfil. O objetivo deste trabalho é verificar e discutir como as diferentes condições de corte influenciam o perfil real da superfície de uma peça no processo de usinagem por torneamento. O trabalho visa também verificar o comportamento e a influência sobre o perfil dos principais parâmetros utilizados para expressar a rugosidade (R_a , R_z , R_{RMS} , R_q , R_{SK} , R_{KU} ,...). Esta proposta de dissertação de mestrado foi elaborada visando desenvolver um trabalho para analisar e entender melhor a rugosidade de uma superfície usinada. São usinadas barras de aço ABNT 1045 em operação de torneamento cilíndrico externo com insertos de metal duro. Os parâmetros variados são o raio de ponta da ferramenta, velocidade de corte, avanço da ferramenta, profundidade de corte e forma de aplicação de fluido de corte. Para cada condição de corte são obtidos vários parâmetros de rugosidade, o perfil da superfície e as forças de usinagem. Outros ensaios ainda serão realizados para análise do sinal de vibração durante a usinagem e a correlação com a rugosidade.

Palavras-chave: Perfil da Superfície, Rugosidade, Fluido de Corte, Torneamento.

1. INTRODUÇÃO

Recentes pesquisas no LEPU — Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem tem utilizado o parâmetro R_a para monitoramento de um processo de usinagem. Trabalho realizado por Reis (2000), estudou o efeito do ângulo de posição secundário no acabamento de superfícies no torneamento e também o efeito de um pequeno volume de fluido aplicado em uma região remota à interface cavaco ferramenta. Importantes resultados foram obtidos, o que motivou outros trabalhos sobre rugosidade.

O parâmetro R_a , no entanto, não é satisfatório para identificar variações na geometria da superfície usinada, ou seja, no perfil de rugosidade. Em trabalho realizado por Santos (2001), aplica-se redes neurais para monitorar o processo de fresamento, relacionando o sinal de vibração em pontos estratégicos na máquina-ferramenta, rugosidade (medida pelo parâmetro R_a) e desgaste

de ferramenta. Uma ferramenta excepcional para monitoramento dos processos de usinagem. Os resultados indicam, no entanto que o parâmetro R_a também não é um parâmetro indicado quando é necessária a realização de cálculos estatísticos, o caso de redes neurais.

A superfície gerada pelo torneamento depende de várias condições de usinagem, tal como a velocidade de corte, o avanço, a profundidade de corte, ângulo de posição, raio de ponta da ferramenta, fluido de corte, entre outros. O fluido de corte, por exemplo, pode melhorar a rugosidade, pois lubrifica a aresta secundária de corte na qual ocorre um fluxo lateral de material, segundo mecanismo proposto por Da Silva (1998). Por isso é de suma importância mostrar e discutir o efeito dessas condições de corte na formação da superfície e no seu perfil.

Vários parâmetros são utilizados para a medição da rugosidade de uma superfície, alguns podem indicar melhor o efeito de alguma variável. Assim este trabalho pretende também mostrar e estudar como a variação de cada parâmetro de rugosidade se manifesta no perfil da superfície usinada. Esta proposta de dissertação de mestrado foi elaborada visando desenvolver um trabalho para analisar e entender melhor a rugosidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Perfil da Superfície Usinada

O perfil é o fator mais importante de todas as análises da superfície usinada, pois ele descreve a qualidade dessa superfície (Bernardos, 2003). Nos anos recentes, o perfil da superfície é considerado um parâmetro decisivo para a análise da performance e das propriedades mecânicas das peças fabricadas. Isso é devido à maior necessidade de segurança e confiabilidade.

O perfil de uma superfície usinada representa o efeito combinado da rugosidade (devido ao processo), ondulação (devido à deflexão e vibração da peça, etc.), marcas de avanço e forma (devido à falta de rigidez na máquina) (Machado and Da Silva, 2000). Porém a rugosidade é o parâmetro mais importante para ser analisado.

O valor teórico do perfil é o negativo da ferramenta. Segundo Ferraresi (1981), este valor leva em consideração somente a influência geométrica do avanço e do raio de ponta da ferramenta. A microestrutura e composição química de material da peça, a existência de atrito, vibração, aresta postiça de corte, deformação plástica e recuperação elástica do material e da ferramenta, desgaste da ferramenta, entre outros, contribui para que o perfil de uma superfície usinada seja bem diferente do valor teórico. A forma do perfil real pode ser então considerada como sendo a somatória do perfil teórico e o efeito combinado dos parâmetros listado a anteriormente.

2.2. Integridade Superficial

Em usinagem convencional, o termo Integridade Superficial é utilizado para designar as condições de uma superfície usinada, para descrever a qualidade da superfície e também de alterações sub-superficiais. A integridade superficial em usinagem é, portanto o resultado da combinação de vários processos de deformação plástica e propagação de trincas que ocorrem durante a usinagem. Ela afeta as condições de funcionamento e a confiabilidade de componentes mecânicos. O controle da integridade superficial, portanto, deve ser efetuado principalmente quando vidas humanas estão em jogo (Trent, 1991).

A integridade superficial de uma superfície é, portanto medida através de parâmetros que indicam o acabamento superficial e alterações sub-superficiais. O acabamento superficial, ou a rugosidade, é determinado pela medição de parâmetros de Amplitude, parâmetros de Espaço ou Híbridos. Destes fatores citados acima, a Rugosidade Superficial é o parâmetro mais utilizado para representar o acabamento da superfície (perfil).

2.3. Efeitos dos Parâmetros de Usinagem no Acabamento Superficial

O acabamento superficial sofre influência de vários parâmetros de usinagem, incluindo: a geometria da ferramenta de corte, geometria da peça, rigidez da máquina ferramenta, material da peça, condições de corte e material da ferramenta (Nakayama and Shaw and Brewer, 1966).

Em geral a rugosidade é menor (ou o acabamento é melhor) quando:

- deflexões geradas por esforços de usinagem ou vibrações são pequenas.
- a ponta da ferramenta não é aguda.
- a ferramenta e a peça estão corretamente posicionadas e centradas (evitar desvios).
- o material da peça é inerentemente puro, livre de *defeitos*.
- a aresta de corte sem quebras.
- corte sem aresta postiça de corte (APC).

2.3.1. Geometria da Ferramenta

O ângulo de folga deve ser suficiente para prevenir o atrito entre a ferramenta e superfície usinada. O atrito gera forças adicionais que causam as deflexões. Em relação ao ângulo de saída, quanto maior esse ângulo as forças de usinagem serão menores e, portanto, as alturas das ondulações e deflexões são menores.

O raio de ponta da ferramenta deve ser suficientemente grande para diminuir o efeito dos dentes de serra das marcas de avanço. Entretanto um raio de ponta excessivo pode gerar vibrações prejudicando assim o acabamento.

O efeito dos ângulos de posição é pequeno, mas uma redução no ângulo de posição diminui as marcas de avanço e melhora o escoamento do cavaco e acabamento (Shaw, 1984).

2.3.2. Geometria da Peça e Suporte

Devem ser dimensionados de tal forma que as ondulações e as deflexões sejam mínimas e devem ter rigidez adequada para evitar vibrações durante a usinagem.

2.3.3. Rigidez e Precisão da Máquina Ferramenta

A máquina operatriz deve ter uma potência suficiente para manter a velocidade e o avanço requerido, uma adequada resiliência para evitar deflexões, uma boa rigidez contra vibrações, uma base (fundação) adequada para minimizar vibrações e transmissão para outras máquinas e uma precisão na fabricação para reduzir ao mínimo o desalinhamento.

2.3.4. Material da Peça

O acabamento superficial é melhorado com uma composição química que desfavorece o aparecimento da APC, uma alta dureza e baixa ductilidade, uma granulação fina e alta dureza dos microconstituintes e uma alta consistência nas propriedades (ao longo de toda seção transversal). Normalmente materiais mais dúcteis favorecem o fluxo lateral de material que ocorre na aresta secundária de corte e prejudica o acabamento (“side-flow”) (Reis, 2000 e Da Silva, 1998).

2.3.5. Material da Ferramenta de Corte

Materiais mais resistentes suportam maiores velocidades, permitindo a eliminação da APC. Assim, metais-duros e cerâmicos são melhores que aço rápido e aço carbono. Em aplicações onde a tenacidade é primordial para manter a aresta de corte livre de falhas, o aço rápido torna-se mais adequado. Quanto menor o atrito entre a peça e a ferramenta, melhor o acabamento superficial. Neste ponto, os metais duros e as cerâmicas são superiores ao aço rápido.

2.3.6. Fluido de Corte

O fluido de corte atuando como lubrificante diminui o atrito entre a ferramenta e a peça ou cavaco melhorando o acabamento superficial. Enquanto agindo como refrigerante, ele diminui o desgaste e melhora o acabamento superficial, mas, entretanto ele pode aumentar a força de usinagem e aumentar a rugosidade da peça.

2.3.7. Condições de Corte

O aumento da velocidade de corte, em geral, tende a melhorar o acabamento superficial. Em baixas velocidades as forças são maiores e pode aparecer APC. A velocidades de corte mais elevadas, o acabamento superficial torna-se insensível à velocidade de corte.

O avanço e a profundidade de corte são muito mais influentes no acabamento superficial. Dos dois, o avanço é mais influente. A altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço são proporcionais ao quadrado do avanço. A profundidade de corte aumenta as forças e as deflexões. As alturas das ondulações também são aumentadas com a profundidade de corte. Os efeitos destes fatores bem como do fluido de corte serão investigadas durante os experimentos a serem realizados.

2.4. Expressões para o acabamento superficial

O parâmetro mais importante para expressar o acabamento superficial é a Rugosidade média R_a , que pertence ao grupo dos parâmetros de amplitude. Ele é obtido medindo-se os desvios dos picos e vales em relação a uma linha média (média aritmética) (Whitehouse, 1999).

Outros parâmetros podem ser utilizados dependendo da necessidade que são :

- Distância máxima pico-vale: R_y ou R_{max}
- Distância média pico –vale: R_z
- Distância máxima pico-vale: R_t
- Valor médio de R_{max} em 5 comprimentos de amostra consecutivos: R_{TM}
- Valor médio eficaz da rugosidade: R_{RMS}
- Valor do pico mais alto da linha de centro: R_p
- Valor médio de R_p em 5 comprimentos de amostra consecutivos: R_{pm}
- Simetria do perfil em relação à linha central: R_{sk} (skewness)
- Aspereza do perfil da superfície: R_{ku}
- Entre outros.

3. METODOLOGIA

O trabalho consiste em avaliar o comportamento de diversos parâmetros de rugosidade obtidos de uma superfície usinada sob várias condições de corte. Nos ensaios de usinagem foram usinadas barras de aço ABNT 1045 em operação de torneamento cilíndrico externo, conforme mostrado na Figura 1(a), com insertos de metal duro com especificação ISO SNMG12040X-MF (neste caso o valor de X depende do raio de arredondamento do inserto). Foram variados, a geometria da ferramenta através de raio de ponta e ângulo de posição secundário, a velocidade de corte, o avanço da ferramenta, a profundidade de corte e a aplicação de fluido de corte. Neste último caso, foram realizados testes a seco, com aplicação de fluido de corte através de método tradicional com fluido em abundância sobre cabeça, através de sistema de aplicação de mínimo volume de fluido e também através de um sistema de gotejamento do fluido e com lubrificante sólido a base de grafite. O fluido utilizado foi o Acculub 2000 um fluido sintético com características de lubrificação e com aditivos EP. Para cada condição de corte foi obtido o perfil da superfície usinada através dos

rugosímetros Taylor-Robson Surtronic 3+ e Mitutoyo Sj-201, que possibilitam a obtenção de vários parâmetros de rugosidade e também a obtenção do perfil da superfície. Foram também medidas durante os ensaios as forças de corte e de avanço com o sistema de aquisição composto por um dinamômetro Kistler, um amplificador de sinal e um osciloscópio, mostrados nas Figuras 1 (a) e 1(b). Para cada tipo de aplicação de fluido de corte, os parâmetros de corte são variados conforme a Tab. (1). Futuramente serão realizados ensaios para a obtenção da vibração dando continuação aos estudos realizados por Meola e Duarte (2002), bem como ensaios de emissão acústica durante a usinagem.

Os resultados obtidos na etapa anterior serão analisados e discutidos com base na literatura pesquisada. O perfil da peça, para cada condição de corte, será analisado sob os diversos parâmetros utilizados. Nesta etapa será discutido o efeito das condições de corte na superfície, dando ênfase a efeito de lubrificação, bem como o efeito e a importância de cada um dos parâmetros de rugosidade no perfil.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Processo de torneamento usando o dinamômetro Kistler; (b) Sistema de medição das forças de Corte composto por um amplificador de sinal e um osciloscópio.

Tabela 1: Condições de corte para cada tipo de aplicação de fluido de corte.

	Vc [m/min]	f [mm/volta]	Ap [mm]	r _{ponta} [mm]
1	110	0,408	2,5	0,4
2	110	0,408	2,0	0,4
3	110	0,408	1,5	0,4
4	110	0,408	1,0	0,4
5	110	0,408	0,5	0,4
6	110	0,138	1,5	0,4
7	110	0,242	1,5	0,4
8	110	0,646	1,5	0,4
9	110	0,969	1,5	0,4
10	70	0,408	1,5	0,4
11	87	0,408	1,5	0,4
12	140	0,408	1,5	0,4
13	174	0,408	1,5	0,4
14	110	0,408	1,5	0,4
15	110	0,408	1,5	0,8
16	110	0,408	1,5	1,2
17	110	0,408	1,5	1,6

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

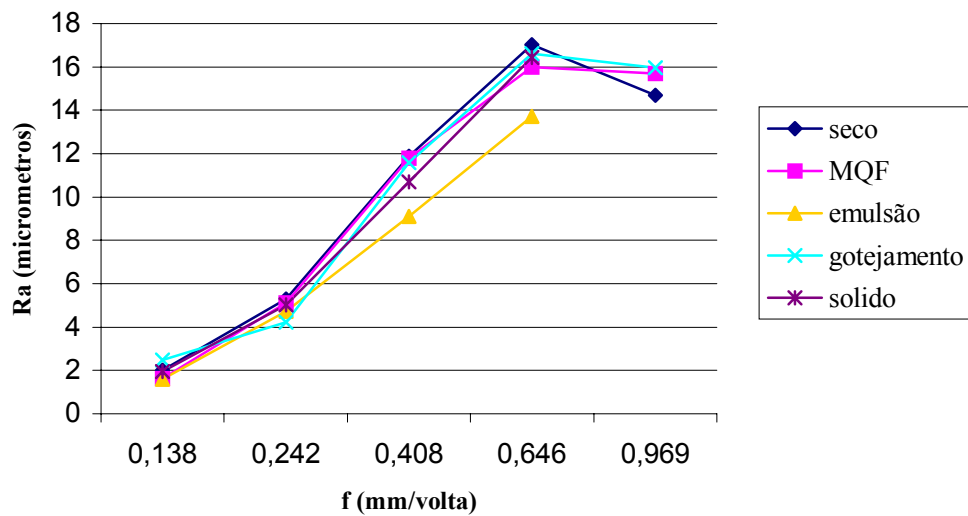


Figura 2: Efeito do avanço de corte em Ra para várias condições de lubrificação.

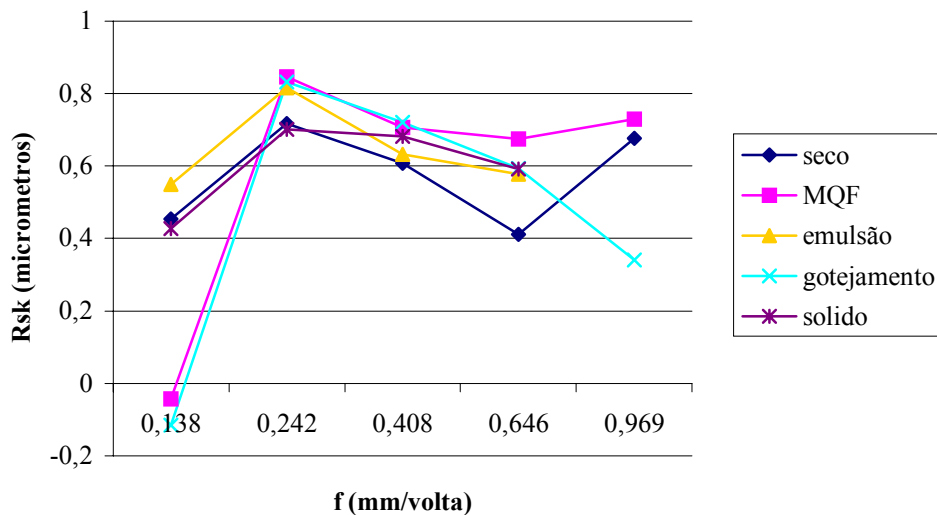


Figura 3: Efeito do avanço de corte em Rsk para várias condições de lubrificação.

As Figuras (2) e (3) mostram alguns dos resultados obtidos nos ensaios os quais estão ainda em fase de análise e interpretação. Para estes testes foi mantida velocidade de corte (V_c) de 110 m/min, profundidade de corte (a_p) de 1,5 mm e raio de ponta da ferramenta de 0,4mm. O Gráfico (1) representa o efeito do avanço de corte no parâmetro de rugosidade Ra para vários tipos de aplicação de fluido de corte. Pode-se constatar que o aumento do avanço proporciona um aumento de Ra, o que é esperado, pois a altura dos picos e a profundidade dos vales das marcas de avanço são proporcionais ao quadrado do avanço (Machado and Da Silva, 2000).

Mas para um avanço grande de 0,969 mm/volta o valor de Ra no caso de usinagem a seco, com MQF e com gotejamento tende a estabilizar. Isto pode ser explicado pelo grande espaço entre as marcas de avanço com material não deformado.

Nos casos de uso de lubrificante sólido e com emulsão, para um avanço de 0,969 mm/volta, houve colapso da ferramenta e o travamento do torno mecânico, indicando a presença de altas forças de usinagem e a necessidade de um torno mecânico de maior potência. No caso do uso de fluido em abundância (emulsão) a temperatura da peça é menor, o que gera altas forças de usinagem já que a peça mantém sua resistência mecânica, provocando a quebra da ferramenta.

Para um avanço de 0,138 mm/volta, o valor de R_a é praticamente o mesmo para todas as condições de aplicação de fluido. Entretanto o valor da R_{sk} (Skewness), que indica a simetria do perfil em relação à linha central, é diferente para os casos de MQF e gotejamento. Neste caso, mesmo quando duas condições diferentes têm valores de R_a próximos, os valores de R_{sk} têm valores positivos e negativos indicando características diferentes da superfície usinada. Isso deixa claro que somente o valor de R_a não é suficiente para descrever o perfil da superfície usinada. Quanto mais negativo o valor de R_{sk} significa que o perfil de rugosidade tem menos picos, como mostra a fig. (4).

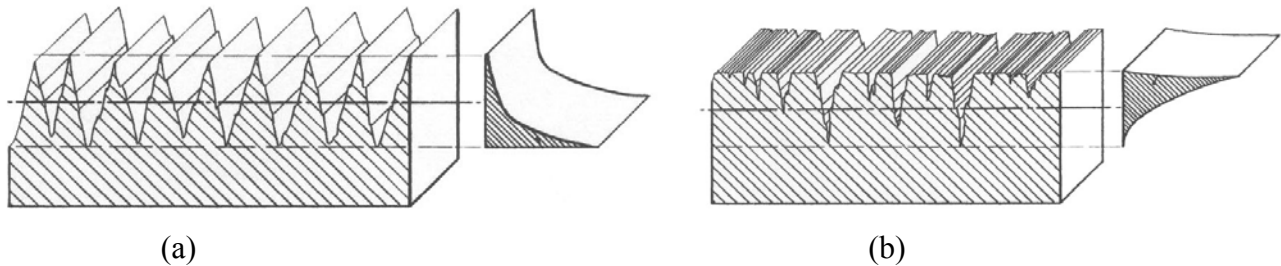


Figura 4 – Efeito do perfil no valor de R_{sk} : (a) R_{sk} positivo; (b) R_{sk} negativo (Smith, 2002).

A figura (5) mostra o perfil de rugosidade para os testes com avanço de 0,138mm/volta para lubrificação com emulsão e com MQF, cujos resultados estão nos gráficos das fig. (2) e (3).

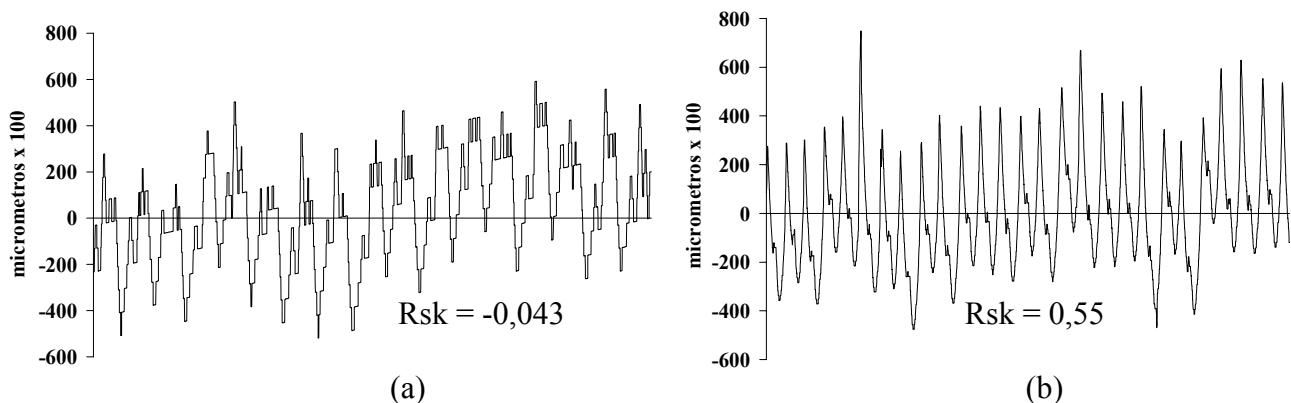


Figura 5 – Perfil de rugosidade, a) MQF, b) emulsão. ($V_c=110$ m/min, $f=0,138$ mm/volta, $a_p=1,5$ mm).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a: CAPES pela bolsa de mestrado auxílio financeiro a pesquisa, CNPq Pelo projeto 474558/2003-7, Fapemig pelos equipamentos adquiridos através do projeto TEC-851/99, o IFM – Instituto Fábrica do Milênio e a FEMEC pelos recursos humanos e materiais disponíveis.

6. REFERÊNCIAS

- Benardos P.G., G.C. V., 2003, “Predicting surface roughness in machining: a review”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43, pp. 833–844.
- Da Silva, M.B., 1998, “Lubrication in Metal Cutting under Built-up Edge Conditions”, Tese de Doutorado, Warwick University, Coventry, Inglaterra.
- Ferraresi, D., 1981, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, Ed. Edgard Blucher Ltda., SP, pp 751.
- Machado A.R., Da Silva M.B., 2000, “Usinagem dos Metais”, Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, Universidade Federal de Uberlândia, pp.224.

- Meola T., Duarte M. A. V., Da Silva, M. B., 2002, “Modelagem do Acabamento Superficial do Processo de Torneamento via Monitoramento de Vibrações”, CONEM, 12-16 de agosto, João Pessoa/PB.
- 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.
- Reis A. M., 2000, “Influência do Ângulo de Posição Secundário da Ferramenta, Raio de Ponta e Lubrificação na Usinagem em Presença de Aresta Postiça de Corte”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 90 pp.
- Santos, A.L.B., 2001 - Metodologia Via Redes Neurais para a Estimativa da Rugosidade e do Desgaste de Ferramentas de Corte no Processo de Fresamento Frontal, Tese de Doutorado, Uberlândia, MG, Brasil.
- Shaw, M.C., 1984, “Metal Cutting Principles”, Oxford Science publication, New York, pp.594
- Smith, G.T, 2002, “Industrial Metrology: Surface and Roundness”, Springer, ISBN: 1-85233-507-6.
- Trent, E.M., 1991, “Metal Cutting”, Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 273.
- Whitehouse, D.J., 1999, “Characterizing the machined surface condition by appropriate parameters”, Proceedings of the Third Industrial Tooling Conference, Southampton Institute, Molyneux Press, pp.8–31.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ROUGHNESS PARAMETERS ANALYSES AND EFFECT OF CUTTING CONDITIONS ON THE PROFILE IN TURNING

Toni Mansur

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 10 - Uberlândia/MG CEP: 38400-902
tmansur@mecanica.ufu.br; antoine@pop.com.br

Prof. Dr. Márcio Bacci da Silva

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia - Av. João Naves de Ávila, 2160 - Campus Santa Mônica - Bloco 10 - Uberlândia/MG CEP: 38400-902
mbacci@mecanica.ufu.br

Abstract: *In the last years, the surface profile is considered a decisive parameter for the performance analysis and the mechanical properties of manufactured pieces, due to the larger need to safety and reliability. The profile is the most important factor for machined surface analyses, because it describes the quality of this surface. Several parameters are used to measure the roughness of a surface; some of them can indicate better the effect of some variable. Recent researches have been showing that the parameter Ra isn't enough to characterize and to identify the profile. The objective of this work is to verify and to argue how different cutting conditions influence the real surface profile in turning process. The paper aims also to verify the behavior and influences of parameters used to express roughness (Laugh, Rz, R_{RMS}, Rq, R_{SK}, R_{KU},...). This study was elaborated aiming an analysis to better understand roughness of a machined surface. Bars of ABNT 1045 steel were machined by turning operation with carbide inserts. The cutting variables are: insert nose radius, cutting speed, feed rate, depth of cut and the cutting fluid application. Several roughness parameters, surface profile and cutting forces are obtained for each cutting condition. Other tests will be accomplished for vibration signal analysis during turning process.*

Keywords: *Surface profile, Roughness, Cutting Fluid, Turning.*