

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE NO TORNEAMENTO DO AÇO

ABNT 1045. Cristiano Pansanato, Hidekasu Matsumoto, Diego Lucas Arruda. - Engenharia Mecânica - Departamento de Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira.

Toda e qualquer superfície, por mais lisa que aparenta ser, apresenta irregularidades intrínsecas ao processo de sua geração. Segundo Becker, Santos e Sales (2005), a análise superficial de uma peça pode ser subdividida em quatro diferentes níveis: rugosidade, ondulações, marcas de avanço e falhas. A rugosidade pode ser entendida como irregularidades finas resultantes da ação inerente ao processo de corte causado pela ferramenta. Elas geralmente são medidas em um pequeno intervalo de comprimento, denominado *cut-off* (comprimento de rugosidade da amostra), que varia de 0,25 a 2,5 mm. As ondulações são irregularidades superficiais cujos espaçamentos são maiores que o *cut-off*. Em geral, vibrações, deflexões da peça ou da ferramenta devido à força ou temperatura de corte representam as fontes causadoras e indesejáveis de ondulações.

As marcas de avanço, como o próprio nome sugere, indicam a relação de movimento relativo entre a peça e a ferramenta, durante o processo de usinagem. São marcas que denotam as direções predominantes das irregularidades superficiais. As falhas são interrupções não-intencionais, inesperadas e indesejáveis da topografia típica da superfície de uma peça. Geralmente, surgem através de defeitos no material da peça, como inclusões, vazios, bolhas ou trincas (MACHADO; SILVA, 1999).

A quantificação da rugosidade é um ponto relevante, dada sua diversidade. Existem vários parâmetros utilizados para traduzir em números o aspecto da textura superficial. Basicamente, três grupos são divididos de acordo com o perfil de rugosidade: parâmetros de amplitude, que são determinados em função da altura dos picos e profundidade dos vales, recorrendo-se a um referencial horizontal; parâmetros de espaçamento, determinados em função da distância entre as irregularidades ao longo da superfície e, finalmente, parâmetros híbridos, determinados pela combinação dos parâmetros de amplitude e espaçamento.

Dentre os parâmetros de rugosidade, o mais importante é a rugosidade média aritmética das amplitudes entre picos e vales (R_a), que pertence ao primeiro grupo (MACHADO; SILVA, 1999). Ele é determinado através das distâncias entre picos e vales em relação a uma linha de centro. Esta linha é tal que a soma das áreas representadas pelos picos acima da linha é igual à soma das áreas representadas pelos vales abaixo da linha de centro. Há outros parâmetros de rugosidade, tais como R_{max} , que é a distância entre duas linhas paralelas à linha de centro (média), que tangenciam o perfil no pico mais elevado e no vale mais profundo, e o R_z , calculado pela média das distâncias entre picos e vales de cinco comprimentos de amostragem distintos.

Componentes mecânicos que requerem alta confiabilidade durante o seu emprego, como em aeronaves e automóveis por exemplo, exigem adequado acabamento para não causar falha mecânica ou colapso por fadiga. Apesar de sua relevância notória, a rugosidade é um parâmetro altamente dependente das variáveis de usinagem, como parâmetros de corte, material da peça e geometria da ferramenta de corte. Muitas vezes não é fácil atingir na prática os valores de rugosidade especificados em projeto, justamente pela falta de conhecimento sobre as relações entre as variáveis de processo. O presente trabalho apresenta uma investigação sobre o comportamento da rugosidade no torneamento do aço ABNT 1045.

O material do corpo-de-prova empregado nos testes foi o aço ABNT 1045, com diâmetro inicial de 35,8 mm e comprimento de corte de 300 mm. A peça foi fixada em placa universal de três castanhas, com contra-ponta na outra extremidade para proporcionar maior estabilidade durante a usinagem. Os ensaios foram conduzidos a seco em um torno universal, marca NARDINI, modelo MASCOTE, de 3,5 HP de potência. Empregou-se ferramentas de metal duro losangular VBM 160408 C25 NC320, com revestimento de TiN, raio de ponta $r_e = 0,8$ mm, ângulo de posição $\kappa_r = 72,5^\circ$, ângulo de folga $\alpha = 5^\circ$, ângulo de saída $\gamma = 0^\circ$. Os parâmetros de corte utilizados foram avanço $f = 0,094$ e $0,19$ mm/rot, profundidade de usinagem $a_p = 0,5$ e $1,0$ mm e velocidade de corte $v_c = 86, 117$ e 134 m/min.

Como a medição da rugosidade costuma fornecer resultados relativamente dispersivos, um total de 9 medidas por condição de corte foi realizado utilizando o rugosímetro digital Mitutoyo, modelo

SJ-201P. Para cada passe dado no colo-teste do corpo-de-prova, três valores de rugosidade, espaçadas de 120°, foram medidos em cada uma das três seções transversais da peça, identificadas como posição 1, 2 e 3. A Figura 1 ilustra esquematicamente a amostra e os pontos de medição.

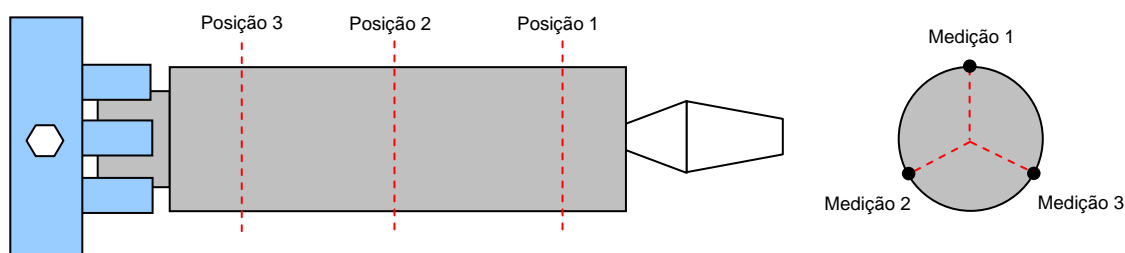


Figura 1 - Localização das medições de rugosidade no corpo-de-prova.

A seguir são apresentados todos os resultados de rugosidade em função de cada parâmetro de usinagem empregado como variável de entrada nos ensaios. Cumpre destacar que o erro experimental de 5,7% foi calculado considerando as médias e os desvios de cada condição de corte, os quais totalizaram 90 medidas. A Figura 2 traz o efeito da velocidade de corte na rugosidade. A unidade de a_p é mm e de f é mm/rot.

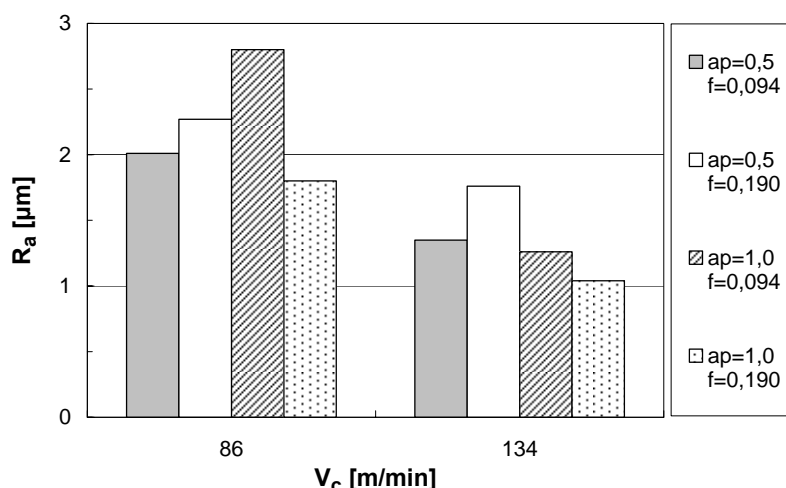


Figura 2 - Rugosidade média em função da velocidade de corte.

Analisando-se o gráfico acima, nota-se que a rugosidade da peça foi influenciada pela velocidade de corte. Para todas as combinações de profundidade de usinagem e taxa de avanço, o acabamento foi melhorado com o aumento de 56% da velocidade de corte. A combinação mais pronunciada ocorreu para profundidade de usinagem de 1,0 mm e avanço de 0,094 mm/rot, com uma redução da rugosidade em torno de 54%. De fato, segundo Ferraresi (1970), a velocidade de corte causa significativa influência no acabamento da peça, especialmente em alguns tipos de aços. Diniz, Marcondes e Coppini (2000) apresentam opinião contrária. Conforme os autores, a rugosidade não diminui com aumento da velocidade de corte, mas oscila pela resposta dinâmica do sistema máquina-peça-ferramenta. Neste ensaio, provavelmente ao elevar a velocidade de corte, a taxa de cisalhamento do material aumentou e a temperatura de corte se elevou, melhorando a usinagem do material e, conseqüentemente, o acabamento. Pelo exame da coloração dos cavacos gerados nas duas velocidades de corte, de amarelo a azul escuro, constatou-se que a temperatura de corte cresceu. A Figura 3 ilustra o efeito da profundidade de usinagem na rugosidade. A unidade de v_c é m/min e de f é mm/rot.

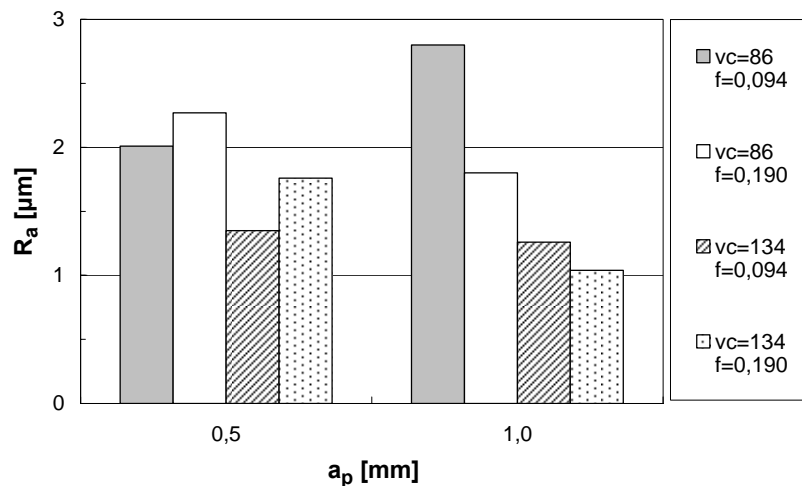


Figura 3 - Rugosidade média em função da profundidade de usinagem.

O aumento da profundidade de usinagem em 100% pareceu indicar uma tendência de queda da rugosidade, exceção feita na condição de corte com menor taxa de avanço e velocidade de corte, onde o aumento foi significativo, 87%. Para todas as demais condições, houve queda dos patamares de rugosidade. Diniz, Marcondes e Coppini (2000) comentam que a profundidade de usinagem não exerce influência marcante no acabamento da peça. Dependendo dos valores adotados para a variável de entrada, a rugosidade pode oscilar, especialmente R_{\max} , ou até diminuir, o que, de certa forma, confere com os resultados do presente estudo. Como o raio de ponta do inserto é de 0,8 mm, a rugosidade da peça pode ter diminuído com $a_p = 1,0$ mm devido à ação da aresta reta da ferramenta que concorda com o raio de ponta. A Figura 4 apresenta a relação entre taxa de avanço e rugosidade. A unidade de a_p é mm e de v_c é m/min.

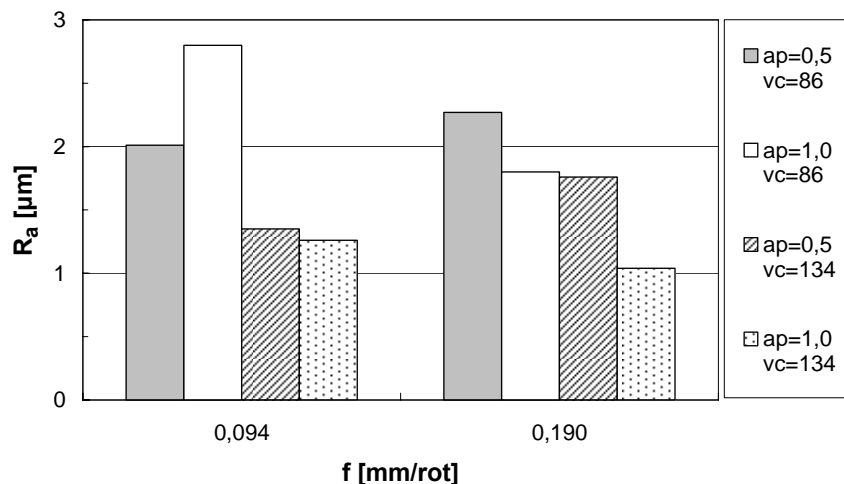


Figura 4 - Rugosidade média em função do avanço.

O gráfico acima ilustra o efeito do avanço sobre o acabamento do corpo-de-prova usinado. Há uma situação controversa nestes resultados, pois ao aumentar o avanço em 102%, houve aumento da rugosidade para a menor profundidade (entre 12 e 25%), independentemente da velocidade de corte, e queda da rugosidade para profundidade de 1,0 mm (entre 12 e 18%). A literatura, tal como apresentada por Diniz, Marcondes e Coppini (2000), afirma que a rugosidade é grandemente influenciada pelo avanço, respeitando um comportamento diretamente proporcional. Pelo exame do gráfico, os resultados sinalizam que a rugosidade, de fato, dependeu do avanço, aumentando seu valor com a elevação do avanço, mas a profundidade de usinagem de 1,0 mm pode ter exercido maior influência e sobreposto o efeito do avanço, causando diminuição da rugosidade ao invés de aumentar, mesmo com o acréscimo do avanço. A Figura 5 a seguir finaliza a matriz experimental proposta neste estudo, apresentando o efeito do avanço mais pronunciado no acabamento da peça.

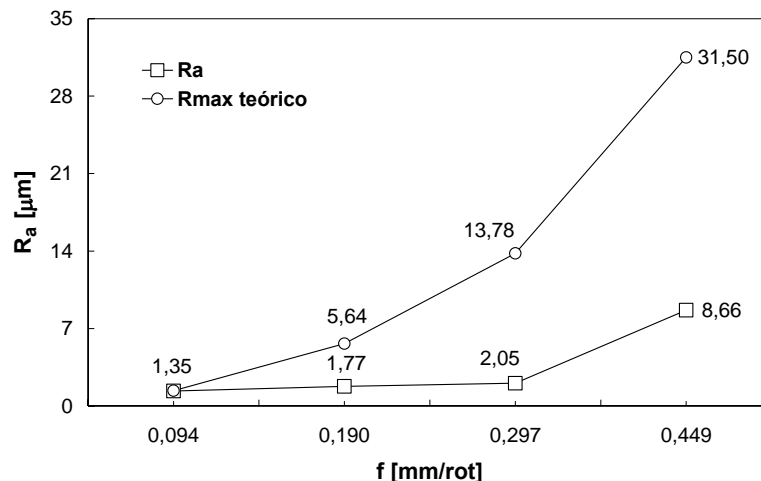


Figura 5 - Influência do avanço na rugosidade média (R_a) e na máxima teórica (R_{max}).

Finalmente, as curvas acima ilustram claramente o efeito do avanço na rugosidade da peça usinada. Para um aumento na taxa de avanço na ordem de 380%, a rugosidade cresceu cerca de 540%, atingindo níveis muito elevados para operações típicas de torneamento. Este resultado foi potencializado sobretudo pelo fato de o valor máximo de avanço adotado ser ligeiramente maior que a metade do raio de ponta do inserto. A rugosidade máxima teórica, obtida pela razão entre o avanço ao quadrado e o raio de ponta do inserto multiplicado por 8, foi sobreposta ao gráfico tão somente para comparar os comportamentos, embora sejam parâmetros de rugosidade distintos.

Este trabalho apresentou um estudo da relação entre a rugosidade de peças usinadas em torno convencional e a variação dos principais parâmetros de corte: velocidade de corte, avanço e profundidade de usinagem. Pode-se concluir que todos os três parâmetros influíram diretamente no acabamento da peça. O aumento da velocidade de corte e da profundidade de usinagem favoreceu a rugosidade. Já o aumento do avanço causou piora no acabamento da peça. Um resultado relevante apontado por este estudo diz respeito à ação conjunta entre o avanço e a profundidade de usinagem sobre a rugosidade. Dependendo da combinação dessas variáveis, o efeito de uma delas pode sobrepor o da outra. Dessa forma, a análise dos resultados não pode ser feita isoladamente.

Referências Bibliográficas

BECKER, M.; SANTOS, S. C.; SALES, W. F. Integridade Superficial em Usinagem. In: COELHO, R. T. (Org.). **Tecnologias Avançadas de Manufatura**. Jaboticabal-SP: Cubo Multimídia, 2005. p. 105-123.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2000. 244 p.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1970. 754 p.

MACHADO, Á. R.; SILVA, M. B. da. **Usinagem dos Metais**. 4. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1999. 224 p.