

Efeitos dos parâmetros de corte na qualidade de peças usinadas pelo processo de torneamento

The effects of cutting parameters on the quality of machined parts by the process of whirling

Francisco Elicivaldo Lima
franciscolima@unifor.br
Universidade de Fortaleza

Fellipe Rafael Rolim
felliperr@hotmail.com
Universidade de Fortaleza

Resumo

Uma das principais preocupações para aqueles que trabalham no setor metal-mecânico, em particular com os processos de fabricação mecânica por usinagem, é com a qualidade, produtividade e custo. Sabe-se, porém, que tais variáveis são dependentes dos parâmetros de corte (rotação, avanço e profundidade de corte). A proposta deste trabalho é averiguar a influência dos parâmetros de corte na qualidade de peças usinadas pelo processo de torneamento. Para a análise de qualidade das peças, optou-se pelo levantamento do parâmetro de rugosidade média Ra e dos erros de forma (circularidade e cilindridade). Como material da peça, trabalhou-se com a liga de alumínio 6351-T6, por ser um tipo de liga amplamente empregado no setor metal-mecânico. A operação de usinagem foi o torneamento externo longitudinal com e sem o emprego de fluido de corte. O parâmetro de corte analisado foi avanço e, indiretamente, a grandeza profundidade de corte, uma vez que tal parâmetro influencia diretamente no valor dessa grandeza e esta, por sua vez, na força de usinagem e vibração do sistema: máquina-peça-ferramenta. Os resultados obtidos sugerem que o aumento do avanço implica no aumento da rugosidade média Ra e, conseqüentemente, na menor qualidade superficial da peça usinada. Os resultados também induzem ao entendimento de que o uso de fluido de corte durante a usinagem tende a gerar peças com melhor qualidade superficial, além de manter os valores de rugosidade mais estáveis. Por fim, constatou-se que os desvios de circularidade e cilindridade apresentados pelas peças usinadas tendem a ser menores ao se usar com o emprego de fluido de corte.

Palavras-chave: Torneamento. Qualidade. Parâmetros de corte.

Abstract

A major concern for those working in the metal-mechanic sector, particularly manufacturing processes for mechanical machining, is the quality, productivity and cost. Know, however, that these variables are dependent on the cutting parameters (speed, feed and depth of cut). The purpose of this study is to investigate the influence of cutting parameters on the quality of the machined by turning process. For the analysis of quality of parts we chose to survey the parameter average roughness Ra and roundness errors of form and roundness. As part material worked with the aluminum alloy 6351-T6 to be a type of alloy widely used in the metal mechanic. The machining operation is the external longitudinal turning with and without the use of cutting fluid. The cutoff parameter analyzed was advancing, and indirectly greatness depth of cut, as this parameter directly influences the value of this magnitude and this, in turn, strength and vibration machining system: machine-piece tool. The results suggest that increasing the advancement involves increasing the roughness average Ra and hence the lower the surface quality of the machined part. The results also induce the understanding that the use of cutting fluid during machining tends to generate parts with better surface quality, while maintaining the values of roughness more stable. Finally, contacts that deviations from circularity and cylindricity presented by machined parts tend to be lower when machining with the use of cutting fluid.

Keywords: Turning. Quality. Cutting parameters.

1 Introdução

O processo de torneamento

Os movimentos entre a ferramenta e a peça durante o processo de usinagem são responsáveis por causar o cisalhamento de parte da peça, e com isso tem-se a usinagem (DINIZ, 2001).

O torneamento é uma das operações de maior importância dentre os chamados “processos de fabricação por usinagem”. Tal processo emprega como máquina-ferramenta os tornos convencionais ou centros de torneamento acionados por comando numérico. Com esse processo, é possível a obtenção de superfícies de revolução com ajuda de uma ou mais ferramentas. Para tanto, é preciso que a peça gire a determinada frequência, o que se consegue por meio do parâmetro rotação (em rotação por minuto), e que a ferramenta de corte avance contra a ferramenta, levando ao chamado “movimento de avanço”. Esse movimento é possível pela especificação do parâmetro avanço (em mm/revolução) (FERRARESI, 1985).

O alumínio

Segundo Diniz (2001), o alumínio em geral pode ser facilmente usinado, pois a energia consumida por unidade de volume do metal removido é muito baixa. Segundo o autor, essa característica é apontada como uma das vantagens de se utilizar o alumínio, e as propriedades térmicas e mecânicas desse material são fatores determinantes na operação de usinagem de suas ligas.

O coeficiente de dilatação térmica que o alumínio apresenta é citado como uma das suas desvantagens, por causar dificuldades para fixação e medições das dimensões das peças. Quanto ao coeficiente de atrito, é considerado alto quando comparado ao aço. Como consequência, tem-se o aumento da energia consumida no processo, bem como maior deformação do material para que ocorra o cisalhamento e, conseqüentemente, a formação do cavaco (Figura 1).

Figura 1 - Influência do coeficiente de atrito na usinagem.



Fonte: Weingaertner e Schroeter, 1990.

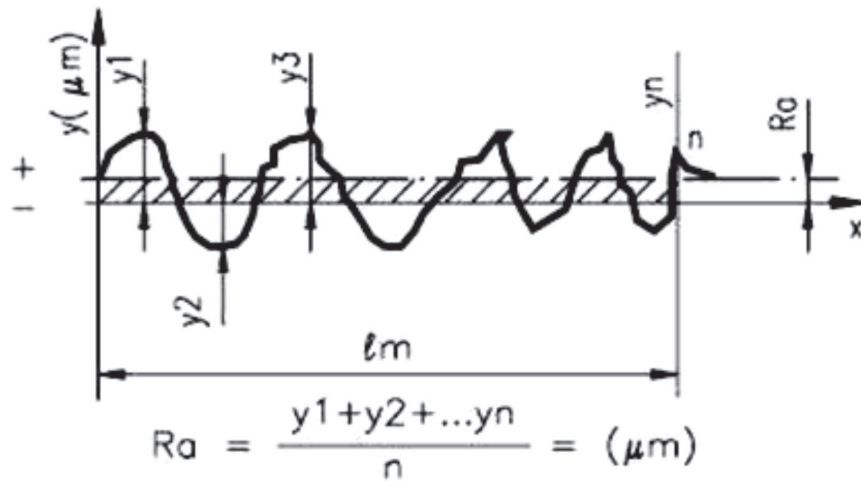
Qualidade superficial

A qualidade superficial e de forma geométrica de peças usinadas são dependentes dos parâmetros de corte rotação, avanço e profundidade de corte. Assim, vejamos um pouco acerca dessas qualidades.

Rugosidade

Segundo Ferraresi (1985), a rugosidade superficial obtida por meio do processo de torneamento de uma peça depende, além do avanço e do raio de curvatura da ferramenta, de um conjunto de fatores ligados ao material da peça utilizada, à ferramenta, à fixação, fluido de corte etc. (Figura 2). O raio de ponta da ferramenta, assim como a velocidade de corte e a velocidade de avanço também são apontados por alguns autores como determinantes da rugosidade apresentada por uma peça obtida por usinagem (WEINGAERTNER; SCHROETER, 1990).

Figura 2 - Rugosidade média Ra.



Fonte: Brenac apud Ferraresi, 1985.

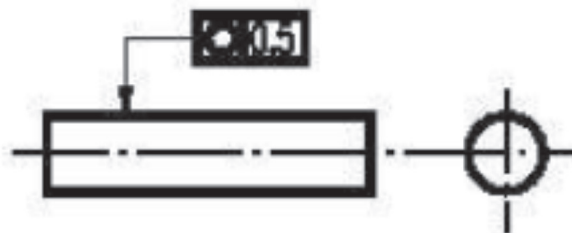
Qualidade dimensional

Quando se fala em qualidade de peças obtidas por processos de usinagem, deve-se ter em mente tanto a qualidade superficial (rugosidade) quanto a qualidade de forma (circularidade e cilindricidade). Assim, vejamos:

Circularidade

Segundo Pizzolato, essa tolerância geométrica é condicionada. Qualquer círculo deve estar dentro de uma faixa definida por outros dois círculos concêntricos, com distâncias no valor da tolerância especificada. (Figura 3).

Figura 3 - Representação da tolerância geométrica de forma de circularidade.

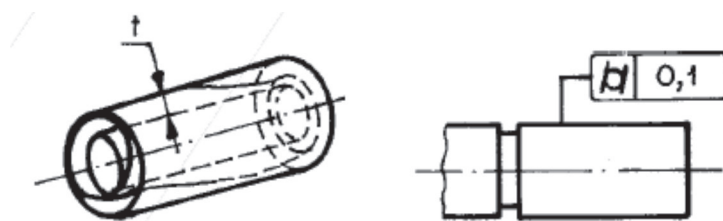


Fonte: Pizzolato, 2013.

Cilindricidade

Conforme a NBR 6409 (1997), a tolerância de cilindricidade corresponde ao campo de tolerância, o qual é limitado por dois cilindros coaxiais, afastados a uma distância "t". (Figura 4).

Figura 4 - Representação da tolerância geométrica de forma de cilindricidade.



Fonte: Pizzolato, 2013.

Segundo Pizzolato, para se medir a tolerância de cilíndricidade, utiliza-se um dispositivo de modo que a peça será medida nos diversos planos de medida e em todo o comprimento. A diferença encontrada entre as indicações máxima e mínima não deverá ultrapassar, em nenhum ponto medido do cilindro, a tolerância especificada.

Assim, cuida este trabalho de usinar peças de alumínio pelo processo de torneamento, com variação do parâmetro de corte avanço, mantendo constantes os parâmetros rotação e profundidade de corte. A usinagem de tais peças será com e sem o emprego de fluido de corte. Para entender a influência do parâmetro de corte avanço na qualidade superficial das peças usinadas, serão levantados os valores da rugosidade média Ra. Este trabalho também se propõe a caracterizar, para as mesmas condições, os desvios de circularidade e cilíndricidade, representativos dos erros de forma e que também influenciam na qualidade das peças usinadas.

2 Metodologia

A etapa de usinagem das peças ocorreu no laboratório de usinagem do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Fortaleza, empregando um total de 10 corpos de prova. As peças foram usinadas pelo processo de torneamento externo, com e sem o emprego de fluido de corte, nas condições mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de corte definidos para a usinagem dos corpos de prova.

Corpos de prova	velocidade de cort Vc (m/min)	Profundidade de corte ap (mm)	Avanço f (mm/rot)
1° corpo	250	0.5	0.05
2° corpo			0.10
3° corpo			0.10
4° corpo			0.20
5° corpo			0.25
com e sem fluido de corte			

A usinagem foi realizada em um torno da marca Romi, modelo Centur 30D. A ferramenta de corte empregada foi um inserto de metal duro de geometria CNMG 120404, fabricado pela Sandvik (Figura 5).

Figura 5 - Sistema máquina-peça-ferramenta.



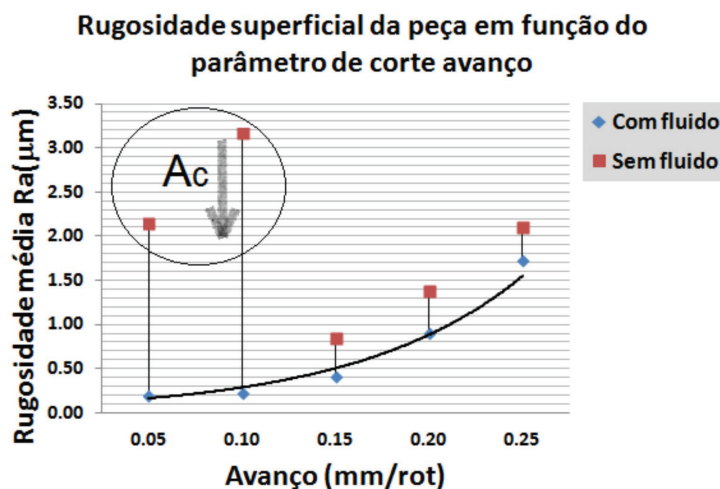
Instrumentos para medição da rugosidade (a), circularidade e cilíndricidade (b).

Para a obtenção do parâmetro de rugosidade média R_a , fez-se uso de um rugosímetro da Mahr, modelo PGK 120. Para o levantamento dos desvios de forma circularidade e cilindricidade, empregou-se o equipamento modelo MarForm MMQ 400, também da fabricante Mahr (Figuras 5a e 5b).

3 Resultados e discussão

Observando a Figura 6, percebe-se a tendência dos valores de rugosidade média R_a em função do parâmetro de corte avanço para quando usinando com e sem o emprego de fluido de corte. Fica evidente que a rugosidade apresentada pelas peças usinadas tende a aumentar à medida que se opta por maiores valores de avanço. Essa tendência mostra-se muito mais consistente quando se usina com o emprego de fluido de corte.

Figura 6 - Variação da rugosidade média R_a em função do parâmetro de corte avanço.



Contudo, ao se usinar sem o uso de fluido de corte, percebe-se que menores avanços (0,05 e 0,10 mm/rot) tendem a provocar o surgimento de valores de rugosidade bastante elevados, distorcendo, de forma significativa, daqueles obtidos ao se trabalhar com maiores avanços (0,15, 0,20 e 0,25 mm/rot).

É de fácil percepção que a tendência dos valores de rugosidade média R_a , ao se usinar sem o uso de fluido de corte e com maiores valores de avanço, assemelha-se àquela observada ao se trabalhar com fluido de corte.

Sabe-se que o calor gerado durante a usinagem sem fluido de corte, e conseqüentemente dissipado para a peça, é maior quando comparado à situação da usinagem com fluido de corte. Sabe-se, também, que a área de corte é diretamente dependente do parâmetro avanço e, dessa forma, ao se trabalhar com os menores avanços (0,05 e 0,10 mm/rot) e sem fluido de corte, tem-se menor porção de material na ponta da ferramenta e com maior aquecimento, o que facilita, de forma significativa, a deformação plástica. Dessa forma, tem-se o aumento do grau de encruamento apresentado pela peça durante a usinagem, prejudicando seu acabamento.

Seguindo na análise, sabe-se que, durante a usinagem, está presente a chamada “força de usinagem”, que é a resultante de três componentes, dentre eles, a força radial (força passiva), que tende a crescer à medida que se tem uma pequena área de corte, devido especialmente ao pequeno valor de avanço – é o caso da situação em tela. Com o aumento dessa força, tem-se maior amplitude de vibração do sistema peça-ferramenta e conseqüente aumento da rugosidade superficial da peça usinada, o que faz refletir na sua qualidade.

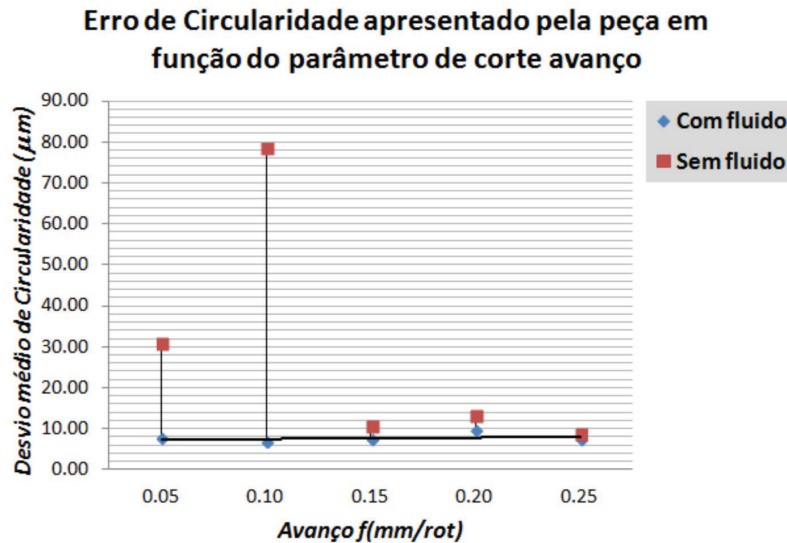
Ainda em observação ao gráfico da Figura 6, nota-se que, ao trabalhar com fluido de corte, tem-se a tendência a um comportamento mais confiável quanto aos valores de rugosidade média R_a , mesmo para os pequenos valores de avanço. Nesse caso, acredita-se que a explicação para esse fenômeno encontre sustentação no fato de o material não se deformar tão facilmente – quando comparado à usinagem sem fluido de corte – e, assim, facilitar o cisalhamento com menor força radial e, conseqüentemente, menor amplitude de vibração.

Em finalização à discussão dos resultados expostos até então, fica evidente que a opção por menor valor de avanço trará como conseqüência menor rugosidade superficial da peça usinada, principalmente ao se trabalhar com fluido de

corte. Contudo, só é viável trabalhar com menor valor de avanço quando e se necessário, uma vez que tal parâmetro de corte (avanço) também exerce influência, de maneira indireta, no tempo de corte e na produtividade.

Agora, em análise ao disposto na Figura 7, apreende-se que há uma tendência de o desvio médio representativo da circularidade manter-se constante à medida que se trabalha com a variação do parâmetro avanço. Embora se perceba uma variação no valor do desvio médio ao se trabalhar com avanço de 0,05 e 0,10 mm/rot., acredita-se que a explicação encontre alicerce na vibração do sistema máquina-peça-ferramenta, contribuindo, assim, com a linha de raciocínio de que a força radial (força passiva) nesse caso (menores valores de avanço e consequentemente menor área de corte) seja maior.

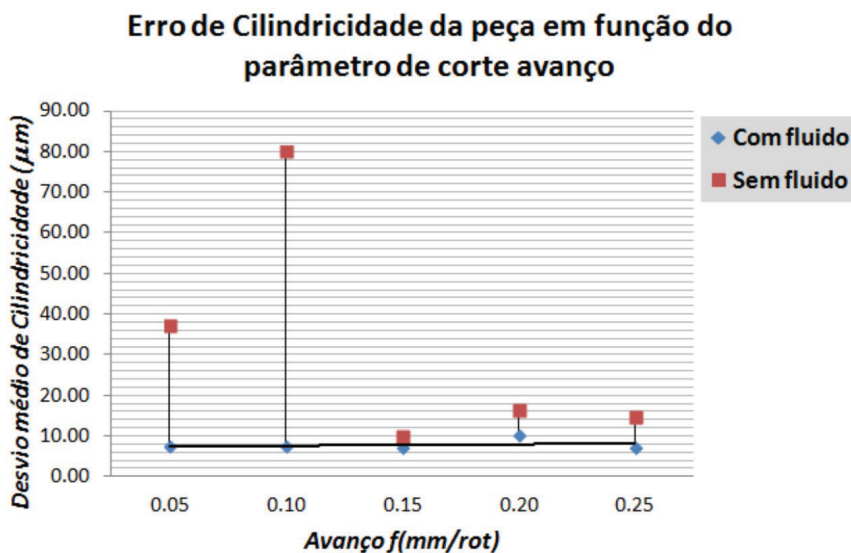
Figura 7 - Variação do desvio médio representativo da circularidade em função do parâmetro de corte avanço.



Contudo, acredita-se também que essa situação (desvio médio constante) só permaneceria para a usinagem de um pequeno lote de peças, ou seja, enquanto a ferramenta não apresentasse desgaste significativo.

Os resultados apresentados para o erro de cilindridade se assemelham àqueles apresentados para circularidade. Essa constatação vem da observação ao gráfico da Figura 8. Há, dessa forma, uma coerência, pois tais erros se referem à forma geométrica da peça e estão, portanto, relacionados.

Figura 8 - Variação do desvio médio representativo da cilindridade em função do parâmetro de corte avanço.



Quanto aos erros de forma circularidade e cilindridade, fica o entendimento de que é viável variar o valor atribuído ao parâmetro de corte avanço, caso se deseje aumentar a produtividade. Fica, no entanto, o alerta de que não há a certeza de que esse comportamento do desvio de circularidade e cilindridade se mantenha para uma quantidade significativa de peças usinadas.

4 Conclusão

Este trabalho cuidou de usinar peças de alumínio pelo processo de torneamento, com variação do parâmetro de corte avanço, mantendo constantes os parâmetros rotação e profundidade de corte. A usinagem de tais peças aconteceu com e sem o emprego de fluido de corte. Para entender a influência do parâmetro de corte avanço na qualidade superficial das peças usinadas, foram levantados os valores da rugosidade média Ra. Este trabalho também se propôs a caracterizar, para as mesmas condições, os desvios de circularidade e cilindridade, representativos dos erros de forma. Assim, fundamentado nos resultados apresentados, conclui-se que:

- O aumento do avanço implica no aumento da rugosidade média Ra e, conseqüentemente, na menor qualidade superficial da peça usinada;
- O comportamento exposto é percebido tanto na usinagem com emprego de fluido de corte quanto sem;
- Na usinagem sem fluido de corte e com menores valores de avanço, há uma tendência ao encruamento do material da peça e, conseqüentemente, ao aumento da força radial (força passiva), o que eleva a amplitude de vibração do sistema máquina-peça-ferramenta, causando, assim, maior rugosidade na superfície usinada;
- O aumento do avanço não causa, em um primeiro momento, significativa variação da circularidade e cilindridade.

Referências

- DINIZ, Anselmo Eduardo. *Tecnologia da usinagem dos materiais*. São Paulo: Artliber Editora Ltda., 2001.
- FERRARESI, Dino. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1985.
- PIZZOLATO, Morgana. *Tolerâncias*. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/engproducao/wp-content/uploads/tolgeom_texto_aula.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2013.
- WEINGAERTNER, Walter Lindolfo; SCHROETER, Rodolf Bertrand. *Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas*. São Paulo: Alcan, 1990.

Sobre os autores

Francisco Elicivaldo Lima

Engenheiro mecânico pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Mestre em Processo de Fabricação pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Doutor em Processos de Fabricação pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Professor da Universidade de Fortaleza.

Fellipe Rafael Rolim

Aluno do curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Fortaleza – UNIFOR.