

Condições Econômicas de Corte no Torneamento Cilíndrico

Usinagem I - Prof. Anna Carla Araujo - 2014/1 - DEM/UFRJ

25 de Junho de 2015

O intervalo de máxima eficiência é a faixa de velocidades compreendida entre a velocidade de corte que produz o menor o tempo de fabricação, aumentando a produção, e a velocidade de corte que produz o menor custo. As velocidades de corte fora desta faixa representam “prejuízo” ao processo de usinagem pois custam mais ao processo e produzem um menor número de peças.

A seguir apresenta-se o cálculo das velocidades de corte limites desta faixa para o processo de torneamento, onde l_f é o percurso de avanço usinado no torneamento (comprimento usinado) e D o diâmetro inicial da peça, ambos em mm . Os parâmetros de corte são: o avanço por rotação f_{rot} (em mm) e a velocidade de corte V_c , que será otimizada.

1 Maximização da Taxa de Produção

A velocidade que minimiza o tempo do ciclo de produção por peça é equivalente a maximizar a taxa de produção. No torneamento, existem três componentes de tempo que contribuem para o tempo total do ciclo de produção de uma peça:

1. Tempo de manipulação da peça (T_m)

Tempo que o operador gasta para colocar a peça na máquina-ferramenta no início do ciclo de produção, para retirar a peça ao final da usinagem e o tempo adicional necessário para o reposicionamento da ferramenta para o início do próximo ciclo.

2. Tempo de corte (T_c)

Tempo em que a ferramenta está efetivamente envolvida no corte durante o processo.

$$T_c[\text{min}] = \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot V_c[\text{m/min}] \cdot f_{rot}} = \frac{\pi D l_f}{V_c[\text{mm/min}] \cdot f_{rot}}$$

3. Tempo de troca da ferramenta por peça (T_{tf}/n_p)

A troca da ferramenta ao final de sua vida consome tempo, e este tempo deve ser distribuído pelo número de peças (n_p) que são usinadas durante a vida da ferramenta (T_v) para determinar o tempo gasto com a troca de ferramenta para cada peça. O tempo de troca da ferramenta por peça é igual a $\frac{T_{tf}}{n_p}$.

O número de peças por ferramenta é:

$$n_p = \frac{T_v}{T_c} = T_v \cdot \frac{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}}{\pi D l_f}$$

Sabendo que a curva de Taylor relaciona a velocidade de corte com a vida da ferramenta:

$$V_c \cdot T_v^n = C$$

Então:

$$T_v = C^{1/n} \cdot V_c^{-1/n}$$

Assim

$$n_p = C^{1/n} \cdot V_c^{-1/n} \cdot \frac{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}}{\pi D l_f}$$

$$n_p = \frac{C^{1/n} \cdot 1000 \cdot f_{rot}}{\pi D \cdot l_f \cdot V_c^{(1/n)-1}}$$

Ciclo do tempo de produção de uma peça - T_p

O tempo total de produção é soma de todos os tempos aqui descritos:

$$T_p = T_m + T_c + \frac{T_{tf}}{n_p}$$

Assim:

$$T_p = T_m + \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}} + \frac{T_{tf} \cdot \pi D \cdot l_f \cdot V_c^{(1/n)-1}}{C^{1/n} \cdot 1000 \cdot f_{rot}}$$

O tempo de produção será mínimo quando $dT_p/dV_c = 0$, neste caso, a velocidade de máxima produção é:

$$V_c^{max} = \frac{C}{\left(\left(\frac{1}{n} - 1\right) \cdot T_{tf}\right)^n}$$

E o tempo de vida para esta velocidade é:

$$T_v^{max} = \left(\frac{1}{n} - 1\right) \cdot T_{tf}$$

2 Minimização do Custo por Unidade (C_m)

A velocidade que minimiza o custo de produção por peça para a operação é determinada a partir da soma dos quatro componentes de custo que determinam o custo total de produção de uma peça durante a operação de torneamento.

Sabendo que o custo do operador e da máquina pode ser determinado em R\$/min, por exemplo, chamemos de C_o a este custo.

1. Custo de manipulação da peça (C_m)

Custo do tempo que o operador gasta para carregar e descarregar a peça da máquina, ou seja, $C_o \cdot T_m$.

2. Custo de corte (C_c)

Custo do tempo em que a ferramenta está em contato com a peça durante a usinagem, ou seja, $C_o \cdot T_c$

$$C_c = C_o \cdot \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}}$$

3. Custo de troca da ferramenta por peça (C_{tfp})

Custo de cada peça associado à troca da ferramenta

$$C_{tfp} = \frac{C_o \cdot T_{tf}}{n_p}$$

4. Custo da Ferramenta (C_f)

Além do tempo de troca da ferramenta, a compra da ferramenta é parte do custo relacionado à operação. No torneamento é comum usar pastilhas intercambiáveis com n_a arestas por inserto, o que é contabilizado no custo a partir do preço de uma pastilha P_f

$$C_f = \frac{P_f / n_a}{n_p}$$

Se o inserto é utilizado com uma única aresta, $n_a = 1$ e $C_f = \frac{P_f}{n_p}$

Custo total por unidade produzida - C_p

O custo total é a soma de cada custo descrito por peça:

$$C_p = C_o \cdot T_m + C_o \cdot \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}} + \frac{C_o \cdot T_{tf}}{n_p} + \frac{P_f / n_a}{n_p}$$

Se $n_a = 1$ então:

$$C_p = C_o \cdot T_m + C_o \cdot \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot V_c \cdot f_{rot}} + \frac{C_o \cdot T_{tf} + P_f}{n_p}$$

A velocidade de mínimo custo será aquela que $dC_p/dV_c = 0$.

Assim,

$$V_c^{min} = C \left(\frac{n}{1-n} \cdot \frac{C_o}{C_o \cdot T_{tf} + P_f} \right)^n$$

E o tempo de vida da ferramenta com esta velocidade é:

$$T_v^{min} = \left(\frac{1}{n} - 1 \right) \left(\frac{C_o \cdot T_{tf} + P_f}{C_o} \right)$$

3 Exercícios

3.1 Determine o intervalo de máxima eficiência

Uma operação de torneamento é realizada com uma ferramenta e um material nos quais os coeficientes da equação de Taylor são $n = 0,125$ e $C = 70$ m/min. O comprimento usinado é 500 mm e o diâmetro da peça 100 mm. O avanço por rotação é 0,25 mm/rot. O tempo de manipulação por peça é de 5,0 min e tempo de troca da ferramenta de 2,0 min. O custo da máquina e do operador é de R\$ 30,00/hora, e o custo da ferramenta de R\$ 3,00 por aresta (apenas uma aresta por ferramenta é utilizada).¹

¹Fundamentals of Modern Manufacturing, 4 Edição - M. P. Groover, 2010

- 3.2 Determine o tempo de corte por hora e a vida da ferramenta nas velocidades limites do intervalo de máxima eficiência
- 3.3 Determine o tempo de produção e o custo por peça nestas velocidades limites