SEM 0534 Processos de Fabricação Mecânica

Professor:

Renato Goulart Jasinevicius

SEM 0534 Processos de Fabricação Mecânica

Economia da Usinagem

Condições econômicas de corte

CÁLCULO DA VELOCIDADE DE MÁXIMA PRODUÇÃO (Vmxp)

Um ciclo básico e genérico de usinagem de uma peça, pertencente a um lote de ***Z*** peças, sendo executado em uma máquina CNC, pode ser constituído pelas seguintes fases:

a) Preparo da máquina-ferramenta para a execução de ***Z*** peças;
b) Colocação e fixação da peça para usinagem na máquina-ferramenta (carga);
c) Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início do corte;
d) Corte da peça;
e) Afastamento da ferramenta;
f) Soltura e retirada da peça usinada (descarga);

Condições econômicas de corte

Para tornar o estudo analítico usam-se os seguintes símbolos para designar cada uma das parcelas de tempo durante o ciclo completo de usinagem:

t_t = Tempo de usinagem de uma peça (fases de *a* a *f*);
t_p = Tempo de preparo da máquina (fase *a*);
t_s = Tempo de carga e de descarga da máquina (fases *b* e *f*);
t_a = Tempo de aproximação e de afastamento da ferramenta (fases *c* e *e*);
t_c = Tempo de corte (fase *d*);
t_{tf} = Tempo de troca de ferramenta;
T = Tempo de vida de uma aresta;
nt = Número de trocas de aresta na produção do lote de Z peças;
Z_T = Número de peças usinadas com uma aresta de corte no tempo T;
Z = Número total de peças no lote;

Condições econômicas de corte

O tempo de usinagem de uma peça no lote pode ser calculado da seguinte maneira:

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \frac{t_{tf} \cdot n_t}{Z_T}$$

Onde:

t_t = Tempo de usinagem de uma peça (fases de *a* a *f*);
t_p = Tempo de preparo da máquina (fase *a*);
t_s = Tempo de carga e de descarga da máquina (fases *b* e *f*);
t_a = Tempo de aproximação e de afastamento da ferramenta (fases *c* e *e*);
tc = Tempo de corte (fase *d*);
t_{tf} = Tempo de troca de ferramenta;
T = Tempo de vida de uma aresta;
n_t = Número de trocas de aresta na produção do lote de Z peças;
Z_T = Número de peças usinadas com uma aresta de corte no tempo T;
Z = Número total de peças no lote;

Condições econômicas de corte

o número de peças usinadas por vida da ferramenta, Z_T, deve ser o número inteiro resultante da divisão do tempo de vida pelo tempo de corte:

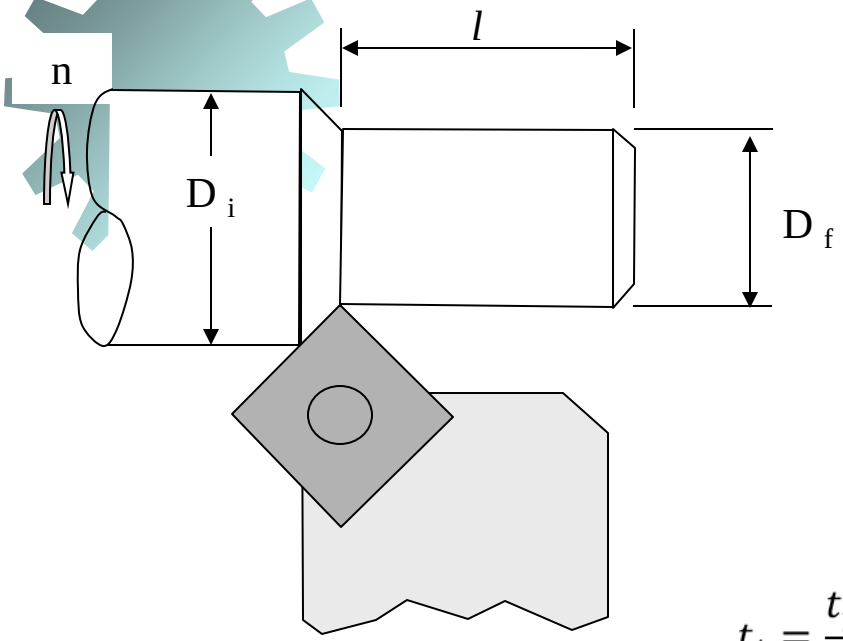
$$Z_T = \text{int}\left(\frac{T}{t_c}\right)$$

Admitindo-se que ao final do lote haverá uma troca, pode-se escrever que:

$$n_t + 1 = \frac{Z}{Z_T} \Rightarrow n_t = Z \cdot \frac{t_c}{T} - 1 \Rightarrow t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \frac{t_{tf} \cdot n_t}{Z_T}$$

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \left(\frac{t_c}{T} - \frac{1}{Z_T}\right) \cdot t_{tf}$$

Condições econômicas de corte



$$t_c = l / v_f \qquad v_f = f.\,n$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \qquad t_c = \frac{l_c \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot V_c}$$

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + t_c + \frac{t_{tf} \cdot n_t}{Z_T}$$

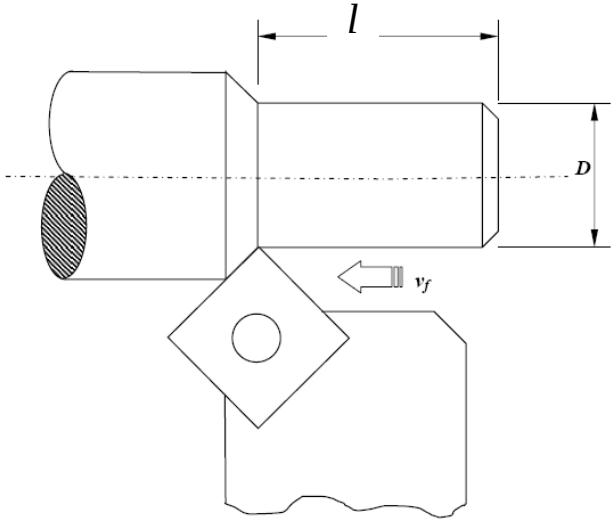
$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + \frac{l_f \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v_c} + \frac{t_{tf}}{T} \cdot \frac{l \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v_c} - \frac{t_{tf}}{Z_T}$$

Condições econômicas de corte

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a + \frac{l_f \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v_c} + \frac{t_{tf}}{T} \cdot \frac{l \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v_c} - \frac{t_{tf}}{Z_T}$$

$$T \cdot {v_c}^x = k$$

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a - \frac{t_{tf}}{Z_T} + \left(\frac{l_f \pi D}{1000 f}\right) v^{-1} + \left(\frac{t_{ft} l_f \pi D}{1000 K f}\right) v^{x-1}$$



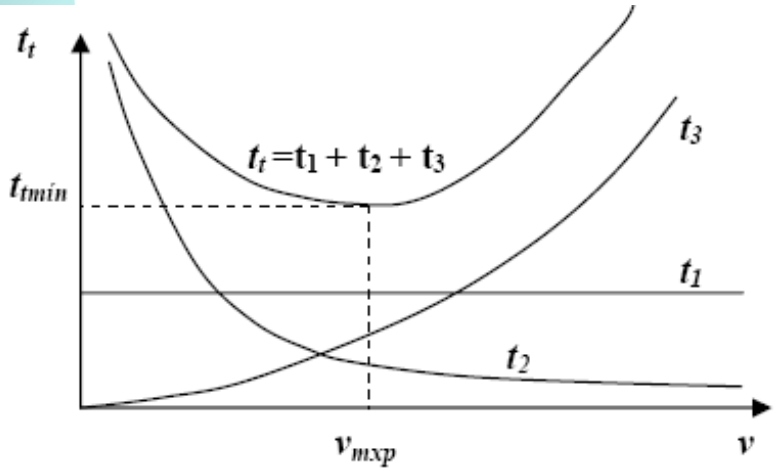
$$t_1 = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a - \frac{t_{tf}}{Z_T}$$

$$t_2 = \left(\frac{l_f \pi D}{1000 f}\right) v^{-1}$$

$$t_3 = \left(\frac{t_{tf} l_f \pi D}{1000 K f}\right) v^{x-1}$$

Condições econômicas de corte

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a - \frac{t_{tf}}{Z_T} + \left(\frac{l_f \pi D}{1000 f}\right) v^{-1} + \left(\frac{t_{ft} l_f \pi D}{1000 K f}\right) v^{x-1}$$



$$t_1 = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a - \frac{t_{tf}}{Z_T}$$

$$t_2 = \left(\frac{l_f \pi D}{1000 f}\right) v^{-1}$$

$$t_3 = \left(\frac{t_{tf} l_f \pi D}{1000 K f}\right) v^{x-1}$$

$$\frac{dt_c}{dv} = -\frac{l_f \pi D}{1000 f} v^{-1} + (x-1)\frac{l_f t_{tf} \pi D}{1000 K f} v^{x-2} = 0$$

$$v_{mxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{t_{tf}(x-1)}}$$

$$\left[t_{tf}(x-1)\right] v_{mxp}^{x} = K$$

$$T = \left[t_{tf}(x-1)\right]$$

Condições econômicas de corte

Velocidade de corte para mínimo custo (Vo)

Cp = Custo de usinagem de uma peça de um lote de ***Z*** peças;
Cm = Custo de matéria-prima para uma peça (ou da peça antes da operação);
Cc = Custo do corte em usinagem;
Cmq = Custo de operação da máquina (Juros, depreciação, manutenção, espaço ocupado,
energia consumida, etc.);
Cf = Custo da ferramenta de corte;
Ctf = Custo de uma troca de ferramenta;
Desta forma definidas as parcelas, pode-se calcular o custo da operação como sendo:

$$Cp = Cm + Cc + Cmq + Cf \qquad (R\$)$$

Condições econômicas de corte

$$Cp = Cm + Cc + Cmq + Cf \qquad (R\$)$$

A parcela de custos ***Cm*** é constante em relação às condições de usinagem. A parcela ***Cc*** pode ser calculada como:

$$C_c = \frac{t_t S_h}{60} \qquad (R\$)$$

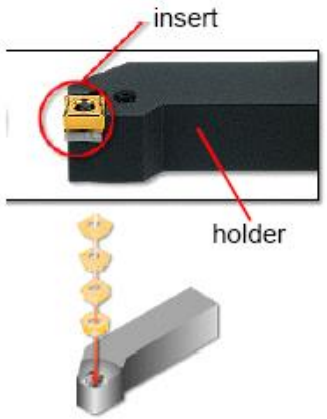
onde ***Sh*** é o custo do operador da máquina, incluindo-se todos os encargos em R$ por hora. A parcela ***Cmq*** pode ser calculada como:

$$C_{mq} = \frac{t_t S_{mq}}{60} \qquad (R\$)$$

onde ***Smq*** é o custo de operação da máquina em R$ por hora.

Condições econômicas de corte

A parcela de custo da ferramenta, ***Cf***, envolve o custo da aresta de corte, do porta-ferramentas e também do tempo de troca de aresta. O custo de uma troca de ferramenta pode ser expresso da seguinte forma:



$$C_{tf} = \frac{C_{pf}}{n_{pf}} + \frac{C_{is}}{n_{arestas}}$$

onde:

$\boldsymbol{C_{pf}}$ = Custo do porta-ferramentas (R$);

$\boldsymbol{n_{pf}}$ = Número troca de arestas que o porta-ferramentas que pagam o investimento;

$\boldsymbol{C_{is}}$ = Custo do inserto (R$);

$\boldsymbol{n_{arestas}}$ = Número de arestas úteis no inserto;

Condições econômicas de corte

Substituindo-se os termos na equação:

$$C_p = C_m + C_c + C_{mq} + C_f \qquad (R\$)$$

Teremos:

$$C_p = C_m + \frac{t_t S_h}{60} + \frac{t_t S_{mq}}{60} + \frac{C_{tf}}{Z_T}$$

Usando-se a equação:

$$Z_T = \text{int}\left(\frac{T}{t_c}\right)$$

Teremos:

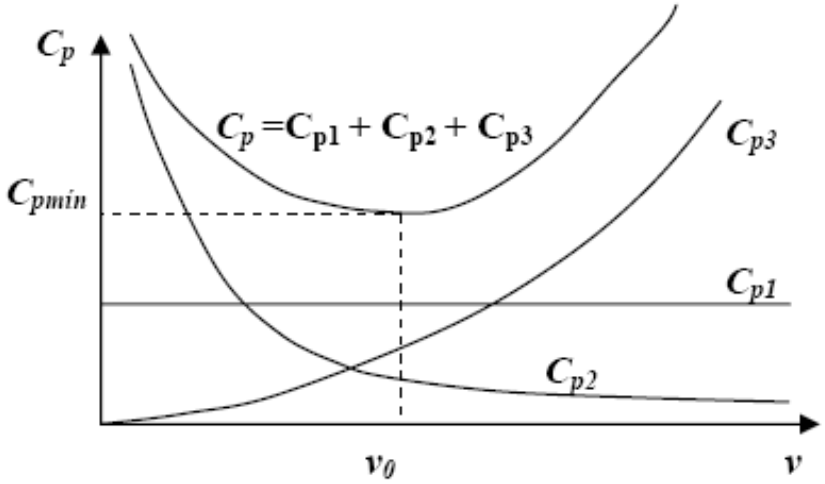
$$C_p = C_m + \frac{t_t S_h}{60} + \frac{t_t S_{mq}}{60} + \frac{t_c}{T} C_{tf}$$

Condições econômicas de corte

Usando-se $t_t = t_f + t_c + \left(\frac{t_c}{T} + \frac{1}{Z}\right) t_{tf}$ onde $t_f = \frac{t_p}{Z} + t_s + t_a$

Substituindo-se

$$C_p = C_m + \frac{t_c}{60}\left(S_h + S_{mq}\right) + \frac{t_c}{T}\left[C_{tf} + \frac{t_{tf}}{60}\left(S_h + S_m\right)\right]$$



$$C_1 = C_m$$

$$C_2 = \left(S_h + S_{mq}\right)$$

$$C_3 = \left[C_{tf} + \frac{t_{tf}}{60}\left(S_h + S_{mq}\right)\right]$$

$$Cp = C_1 + t_c/60\ (C_2) + t_c/T\ (C_3)$$

Condições econômicas de corte

$C_p = C_1 + t_c/60\ (C_2) + t_c/T\ (C_3)$

$$t_c = \frac{l_f \cdot \pi \cdot D}{1000 \cdot f \cdot v}$$

$$C_p = C_1 + C_2 \frac{\pi D l_f}{60 \cdot 1000 f} v^{-1} + C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 \cdot f \cdot T} v^{-1}$$

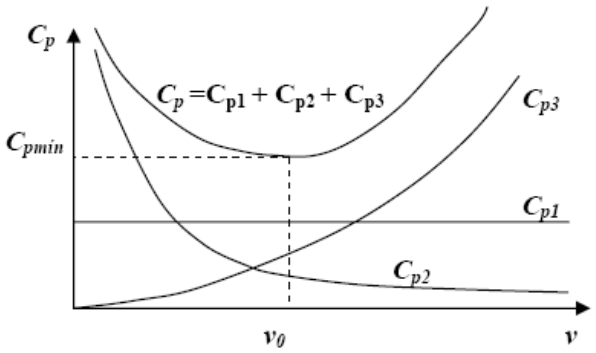
Substituindo $Tv^x = K$

$$C_p = C_1 + C_2 \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-1} + C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-1}$$

$$C_{p1} = C_1$$

$$C_{p2} = \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-1}$$

$$C_{p3} = \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-1}$$



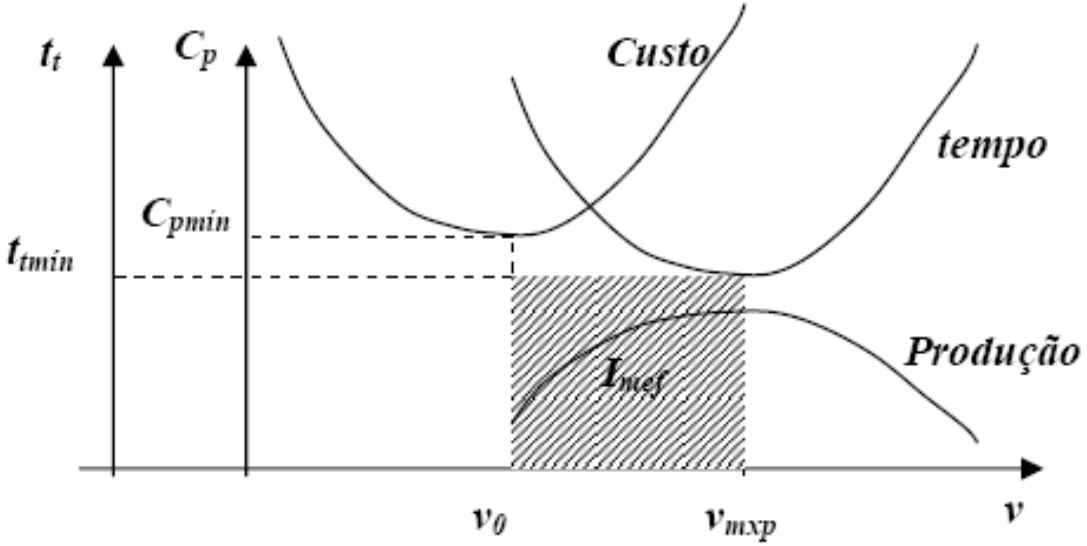
Condições econômicas de corte

Buscando o mínimo custo

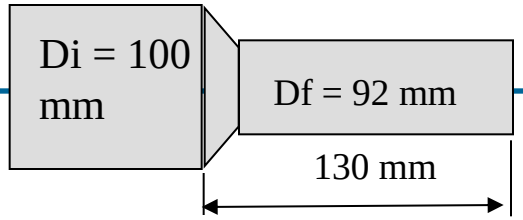
$$\frac{dC_p}{dv} = -C_2 \frac{\pi D l_f}{60000 f} v^{-2} + (x-1) C_3 \frac{\pi D l_f}{1000 K f} v^{x-2} = 0$$

$$v_0 = \sqrt[x]{\frac{C_2 K}{60(x-1)C_3}}$$

Condições econômicas de corte



Exemplo



Exemplo 1. Dados

Operação: Torneamento Cilíndrico. Material Aço 1035

Ferramenta MD P20 Triangular: $\gamma = 0^o$; $\alpha = 5^o$, x= 4,1 ; k =9,43. 10^{10}

Condições de corte: f =0,3 mm/revç ap = 2 mm;

Rotações disponíveis: 71;90;112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560; 710; 900rpm,

Mão de Obra: R$2,00

Custo máquina: R$10,00

Inserto R$6,00/unid. (3 arestas)

Porta Ferramenta R$120.00 – para 500 afiações

Matéria Prima R$12,00/peça

Custo geral indireto R$0,50/peça

Preparação de Máquina: 40 min; Troca de ferramenta: 3 min.; Afiação 0 min; Tempo improdutivo 6 min/peça; lote 500 peças

Calcular:

a) Escolher rotação dentro do IME;

b) Número de peças usinadas por vida da ferramenta

c) Produção horária;

d) Consumo de partilhas para o lote de 500 peças

e) Custo por peça

$$t_t = \frac{t_p}{Z} + t_{improdutivo} + t_c + \frac{t_{tf}}{Z_T}$$

Numa operação de torneamento cilíndrico de uma peça de aço ABNT1045 (K_{s1} = 182,2 daN/mm^2 e z = 0,168

(γ = 6º, χ=45º e α = 5º) com 150 mm de diâmetro e 300 de comprimento é reduzida para um diâmetro de 145 mm (presa no torno pela placa e com contraponto) num comprimento de 50 mm com avanço de 0,4 mm/rev. A ferramenta usada é um inserto octogonal (8 arestas disponíveis) de metal duro P20 (χ=45º) com ângulo de saída de 12º e ângulo de folga de 5º. A vida ferramenta é de 1937,5 mm^3/seg é de19,95 min e de 3272,49 mm^3/seg para uma vida de 3,55 min.

Máquina ferramenta: Torno convencional com 15 CV e rendimento de 85%.

Rotações disponíveis: 63;90 .....180; 224; 355; 450; 560; 710; 900 rpm.

Mão de Obra: R$14,00

Custo máquina: R$35,00

Inserto quadrado R$42,00/unid (oito arestas).

Porta Ferramenta R$282,00 – para 1000 afiações

Matéria Prima R$12,00/peça

Troca de ferramenta: 2 min.; Afiação 0 min.

Calcular:

a) Determinar o Intervalo de máxima eficiência para essa operação.

b) Força e potencia de corte segundo Kienzle. É possível realizar essa operação nessa máquina? Caso não seja, apresente uma solução para adequar a condição de usinagem proposta.

c) Usando a rotação determinada dentro do IME calcule o número de insertos necessários para usinar um lote de 450 peças.