

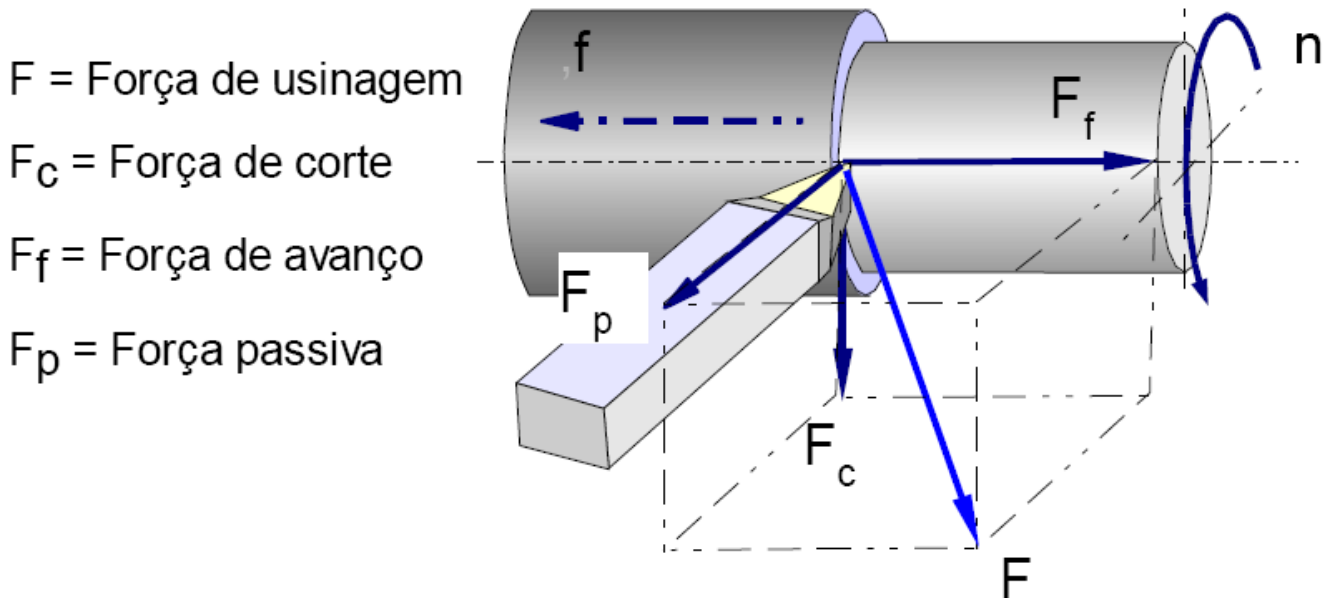
Usinagem – Forças e Potências de Corte

Força de Usinagem:

As forças de usinagem são consideradas como uma ação da peça sobre a ferramenta (vide figura).

A força total resultante que atua sobre a cunha cortante é chamada de força de usinagem.

Força de usinagem = f {condições de corte (f, vc, ap), geometria da ferramenta (χ, γ, λ), desgaste da ferramenta, uso de lubri-refrigerantes, outros}



F = Força de usinagem

F_c = Força de corte

F_f = Força de avanço

F_p = Força passiva

• **Força ativa** (F_t – componente a F_u no plano de trabalho): as forças ativas contribuem para a potência de usinagem, pois estão no plano de trabalho (plano no qual os movimentos de usinagem são realizados).

- **Força de corte** (F_c): projeção da F_u na direção de corte.
- **Força de avanço** (F_f): projeção de F_u na direção de avanço

• **Força passiva** (F_p – ou força de profundidade): força que age perpendicular ao plano de trabalho, não gerando potência de usinagem.

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Cálculo da Força de Corte:

A força de corte o principal fator no cálculo da potência necessária a usinagem. Depende principalmente:

- material a ser usinado
- das condições efetivas de usinagem
- seção de usinagem
- do processo

A equação fundamental da força de corte (também denominada de equação Kienzle) permite relacionar as constantes do processo de usinagem com o material a ser usinado

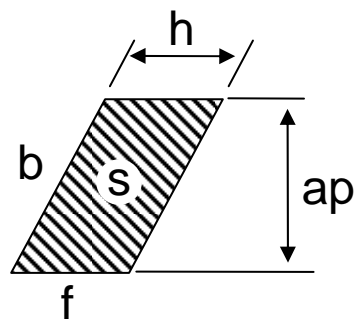
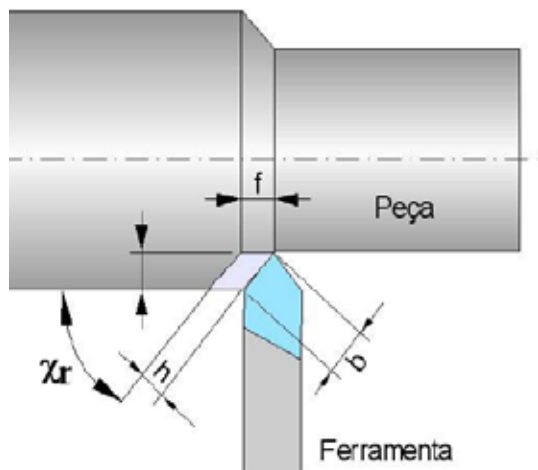
Conceitualmente esta independe do processo de usinagem

$$F_c = K_s \cdot A$$

sendo: K_s (N/mm²): pressão específica de corte
A: área da seção de corte

$$A = b \cdot h = a_p \cdot f$$

sendo: b: comprimento de corte
h: espessura de corte
 a_p : profundidade de corte
f: avanço



$$b = \frac{a_p}{\text{sen}(\chi_r)} \quad h = f \cdot \text{sen}(\chi_r)$$

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Exemplo1: Cálculo da Força de Corte:

Calcular a força de corte para torneiar a peça do desenho ao lado:

Dados:

Material da peça: Aço ABNT 1060

$D=68\text{mm}$

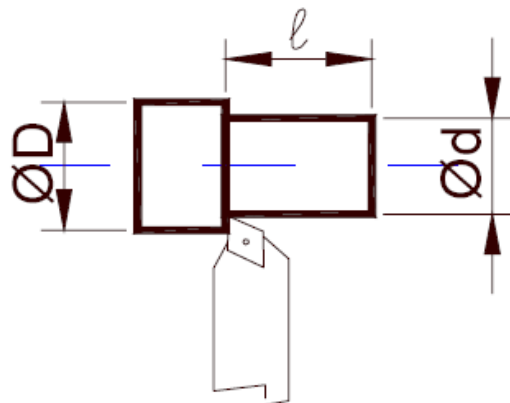
$d=65\text{mm}$

$f= 0,4 \text{ mm/rot}$

$L = 58\text{mm}$

$V_c= 325 \text{ m/min}$

$K = 90^\circ$



Valores orientativos das pressões específicas de corte (AWF – 158)

MATERIAIS	σ_r [N/mm ²] (ou dureza)	k_c [N/mm ²]			
		Avanço em [mm/rot]			
		0,1	0,2	0,4	0,8
ST3411, St3711, St4211 (ABNT 1015 a 1025)	até 500	3600	2600	1900	1360
ST5011 (ABNT 1030 a 1035)	500 a 600	4000	2900	2100	1520
STR6011 (ABNT 1040 a 1045)	600 a 700	4200	3000	2200	1560
ST7011 (ABNT 1060)	700 a 850	4400	3150	2300	1640
ST 85 (ABNT 1095)	850 a 1000	4600	3300	2400	1720
Aço fundido	300 a 350	3200	2300	1700	1240
	500 a 700	3600	2600	1900	1360
	> 700	3900	2850	2050	1500
Aço Mn, aços Cr-Ni, aços Cr-Mo e outros aços ligados	700 a 850	4700	3400	2450	1760
	850 a 1000	5000	3600	2600	1850

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Fatores que influenciam no K_s :

1) Material da peça

- Em geral, qdo a dureza do material cresce, K_s também cresce
- Aumento da porcentagem de carbono provoca aumento de K_s

2) Material da ferramenta

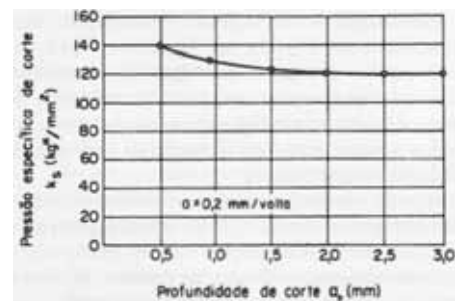
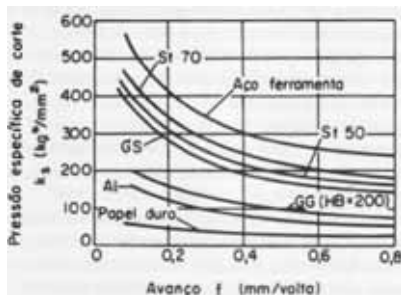
- O material da ferramenta provoca pequena variação no valor de K_s , porém não chega a ser significativa.
- Porém, cobertura de Nitreto de Titânio (TiN) tendem a reduzir o atrito entre cavaco e ferramenta e assim provocam redução do K_s

3) Geometria da ferramenta

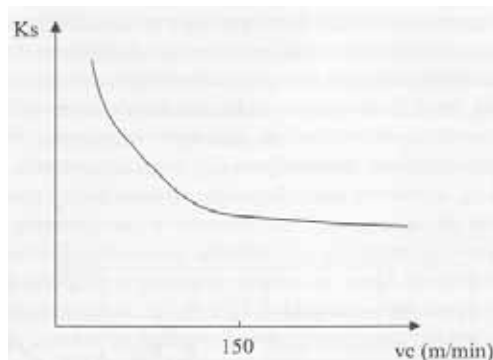
- Ângulo de saída positivo provoca uma redução do K_s
- Ângulo de inclinação positivo provoca uma redução do K_s
- Ângulo de folga menor que 5° resultam em grande atrito entre a ferramenta e a peça e assim resultam num aumento de K_s .

4) Seção de corte

- O K_s diminui com o aumento da área de corte ($f \times a_p$)

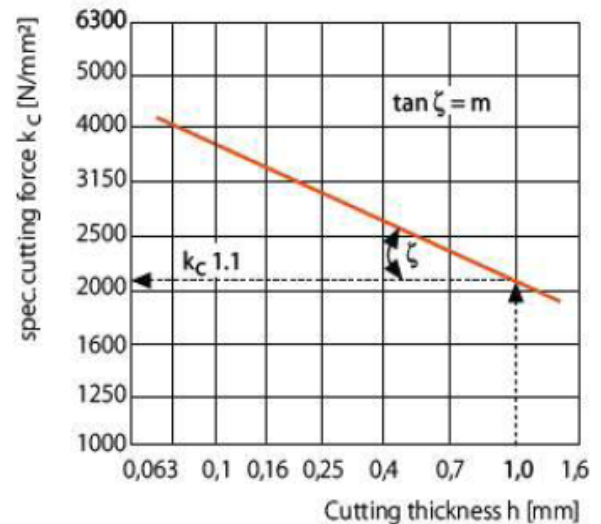
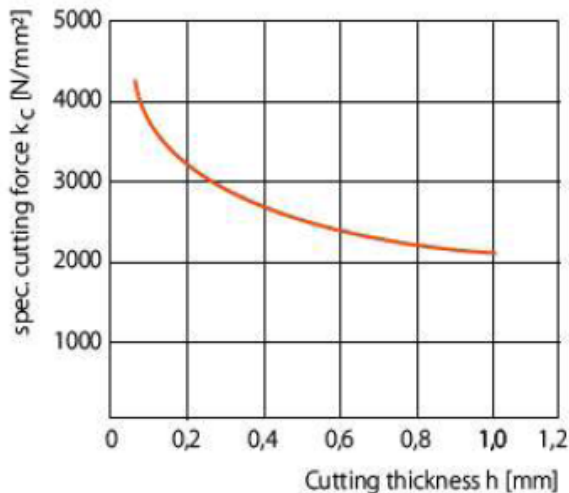


5) Velocidade de corte



Usinagem – Forças e Potências de Corte

Relação de K_s com a Espessura de Corte (h):



Kronenberg propôs a seguinte relação entre K_s e h :

$$K_s = \frac{K_{s1}}{h^z} = K_{s1} \cdot h^{-z}$$

Substituindo a relação acima na equação geral de Kienzle, tem-se:

$$F_C = K_s \cdot b \cdot h = (K_{s1} \cdot h^{-z}) \cdot b \cdot h$$

$$\boxed{F_C = K_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b}$$

Onde K_{s1} e z são constante do material, definidos experimentalmente e registrados na forma de tabelas

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Tabela de valores de K_{s1} e z para diversos materiais:

MATERIAL	s ₁ (Kgf/mm ²)	1-z	K _{s1}
Aço ABNT 1030	52	0,74	199
1040	62	0,83	211
1050	72	0,70	226
1045	67	0,86	222
1060	77	0,82	213
8620	77	0,74	210
4320	63	0,70	226
4140	73	0,74	250
4137	60	0,79	224
6150	60	0,74	222
Ferro Fundido	HRc = 46	0,81	206
Ferro Fundido GG26	HB = 200	0,74	116

V_c = 90 a 120 m/min; h = 0.1 a 1.4mm; ângulos definidos

Correções nos valores de K_s e K_{s1}:

No caso de desvios das condições de usinagem dadas, são necessários fatores de correção nas condições:

- correção do ângulo efetivo de corte – K1
- correção da velocidade de corte – K2
- correção do material do material da ferramenta K3
- correção do desgaste – K4

$$F_C (\text{real}) = K_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b \cdot (K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot k4)$$

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Potência de Corte:

A partir do cálculo da força de corte e da velocidade de corte, a potência de corte pode ser definida pela equação abaixo:

$$P_C = \frac{F_C \cdot v_C}{60 \cdot 75}$$

sendo: P_C (cv)
 F_C (Kgf)
 v_C (m/min)

$$P_C = \frac{F_C \cdot v_C}{60000}$$

sendo: P_C (KW)
 F_C (N)
 v_C (m/min)

Potência fornecida pelo motor:

$$P_m = \frac{P_C}{\eta}$$

sendo: η =rendimento

60-80% para máquinas convencionais
 >90% para máquinas CNC

Usinagem – Forças e Potências de Corte

Exemplo2: Cálculo da Força, Potência e Tempo de Corte:

Calcular o tempo mínimo para torneiar a peça do desenho ao lado:

Dados:

Material da peça: Aço ABNT 1060

$D=54$ mm

$d=30$ mm

$f= 0,4$ mm/rot

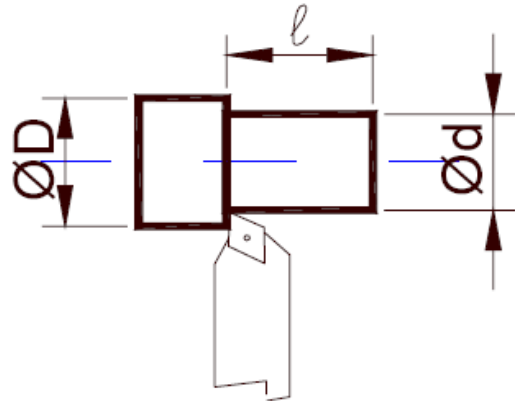
$L = 58$ mm

$V_c= 325$ m/min

$K = 90^\circ$

$P_m = 40$ KW

$\eta= 90\%$



Condições da ferramenta:

$a_p = 0.3$ a 5.0 mm

$f = 0.2$ a 0.6 mm