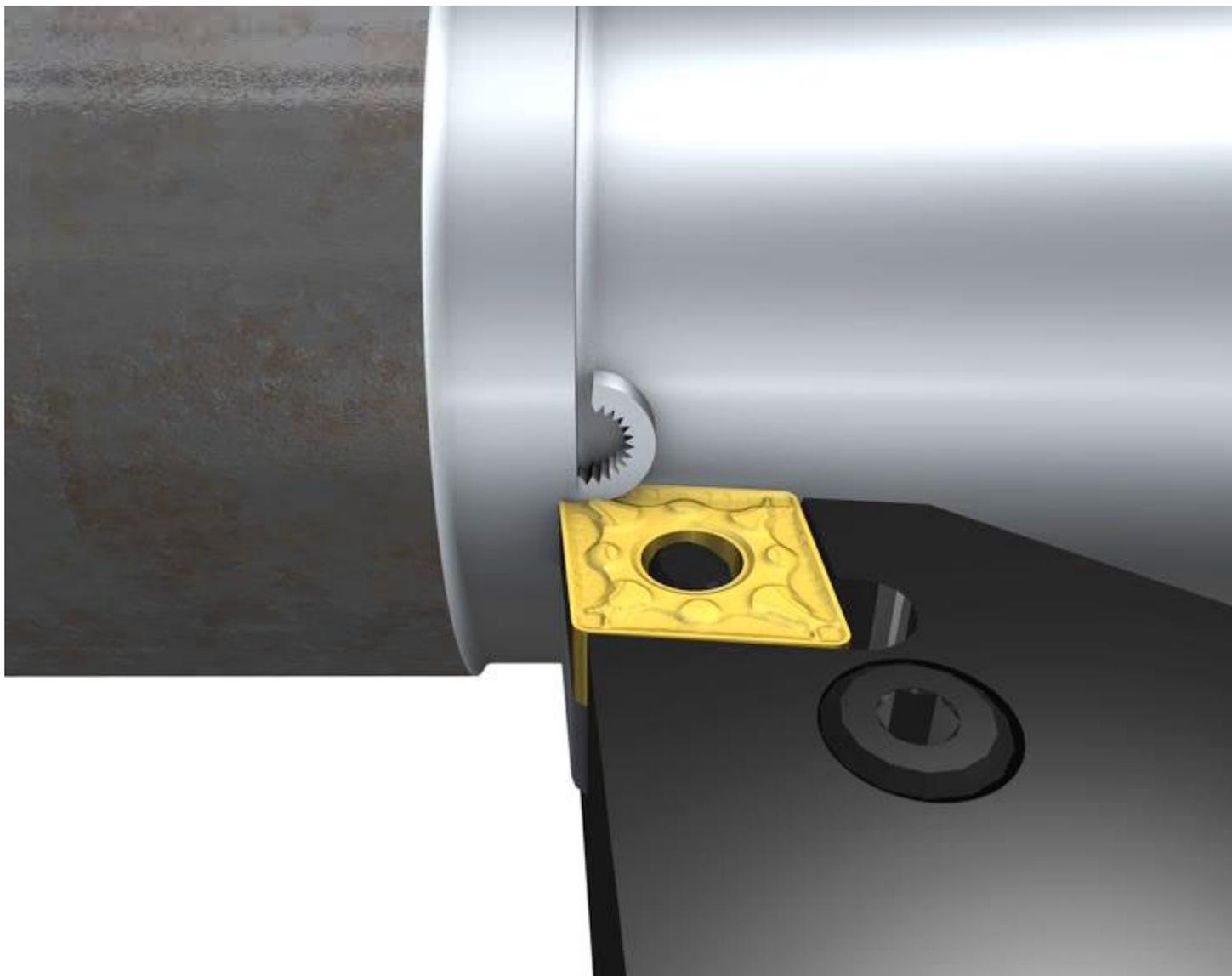
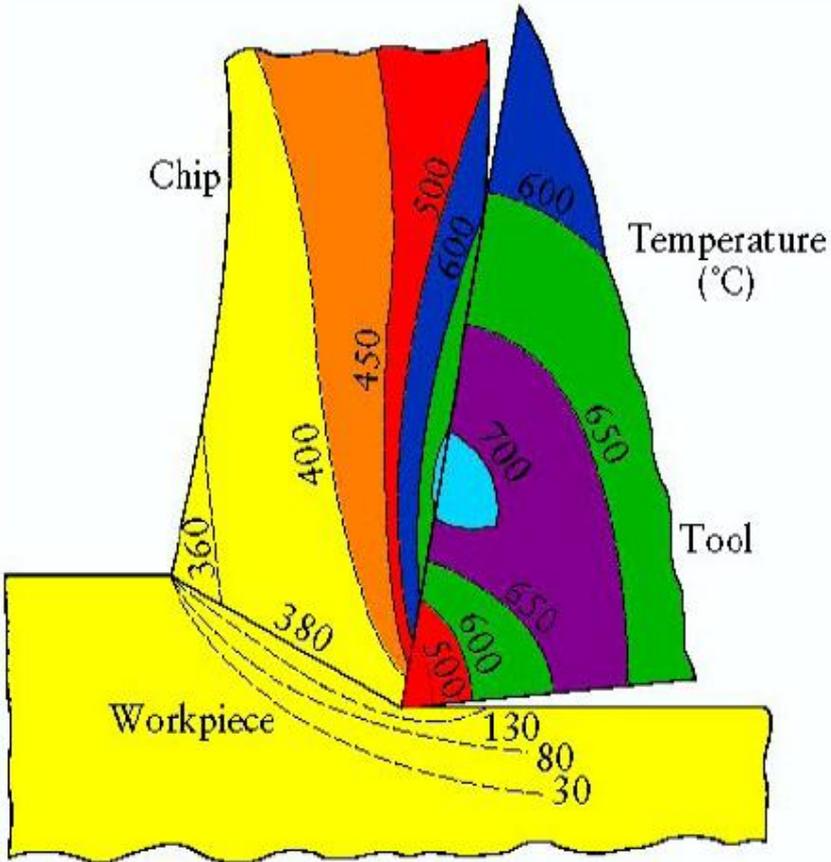


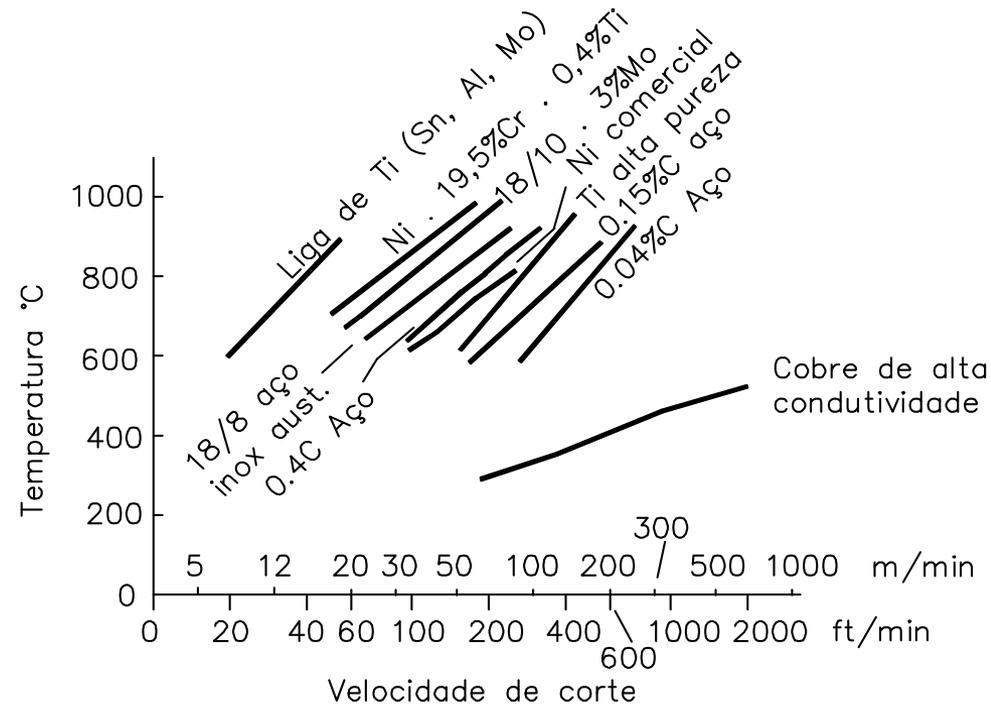
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

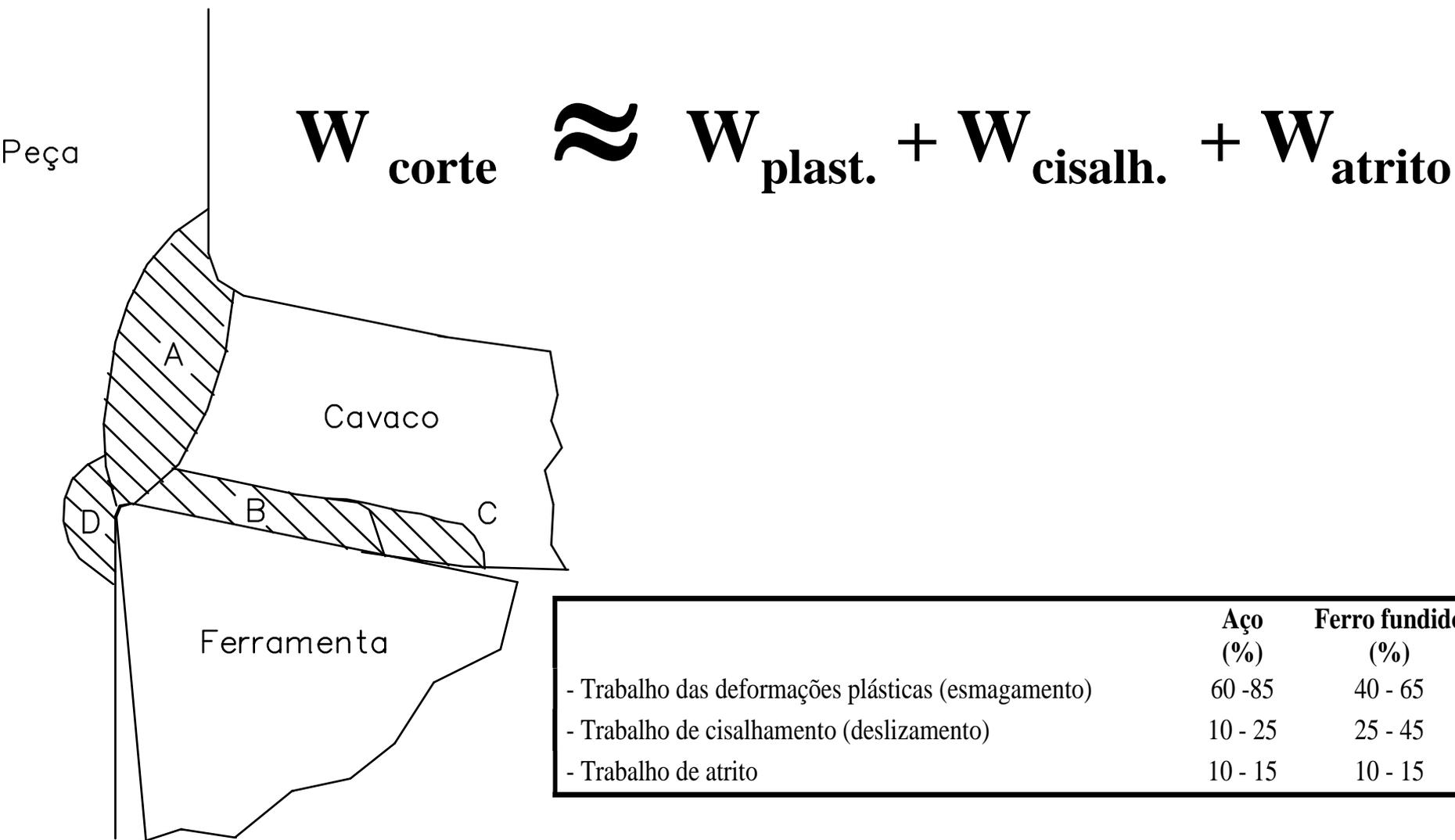


$$\theta = C \cdot v_c^n$$



$$T \cdot \theta^n = K$$

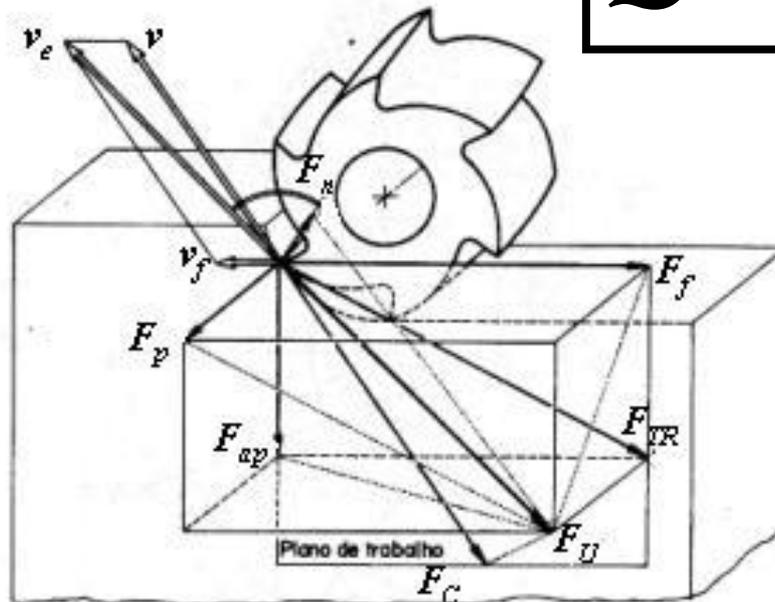
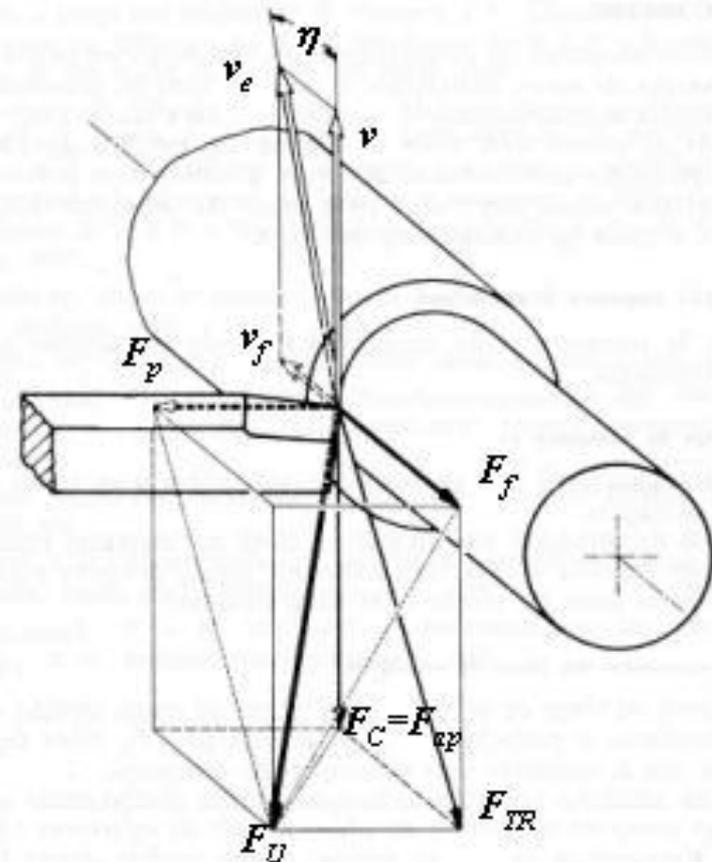
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

$$W_{\text{total}} = W_{\text{corte}} + W_{\text{avanço}} + W_{\text{passiva}}$$

$$Q = F_C \cdot v_c$$



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos – Modelo de Loewen e Shaw

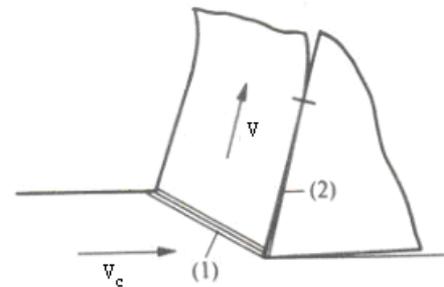
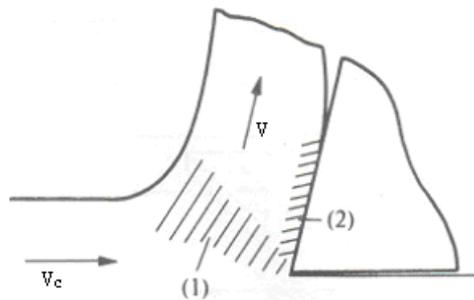
$$dQ - dW = dE \qquad dQ = k \cdot dA \cdot \frac{d\theta}{dx}$$

$$dE = c \cdot d\theta \cdot \rho \cdot dV$$

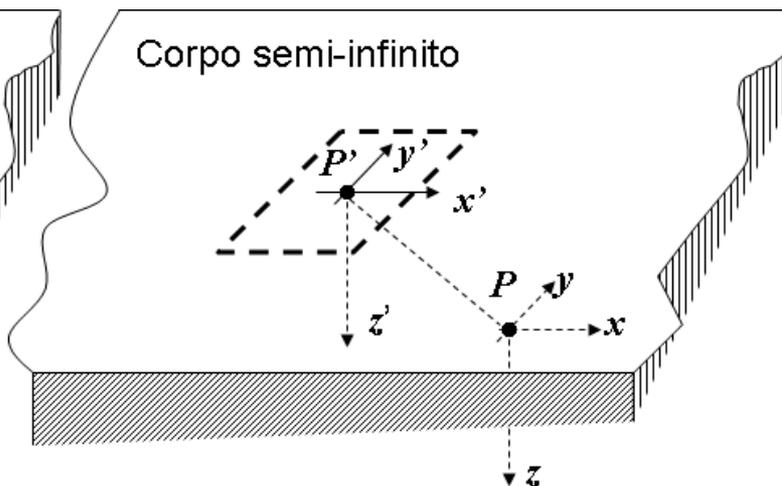
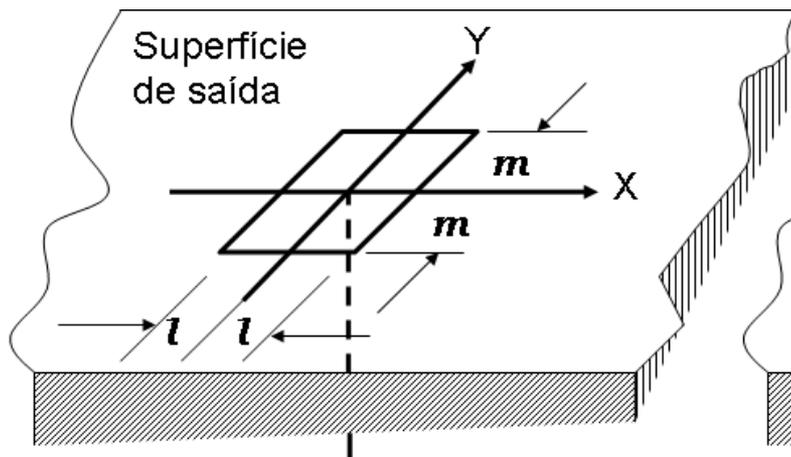
$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{q}{\rho \cdot c} + \frac{k}{\rho \cdot c} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right)$$

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

TEORIA GERAL



Calor fluindo para a ferramenta

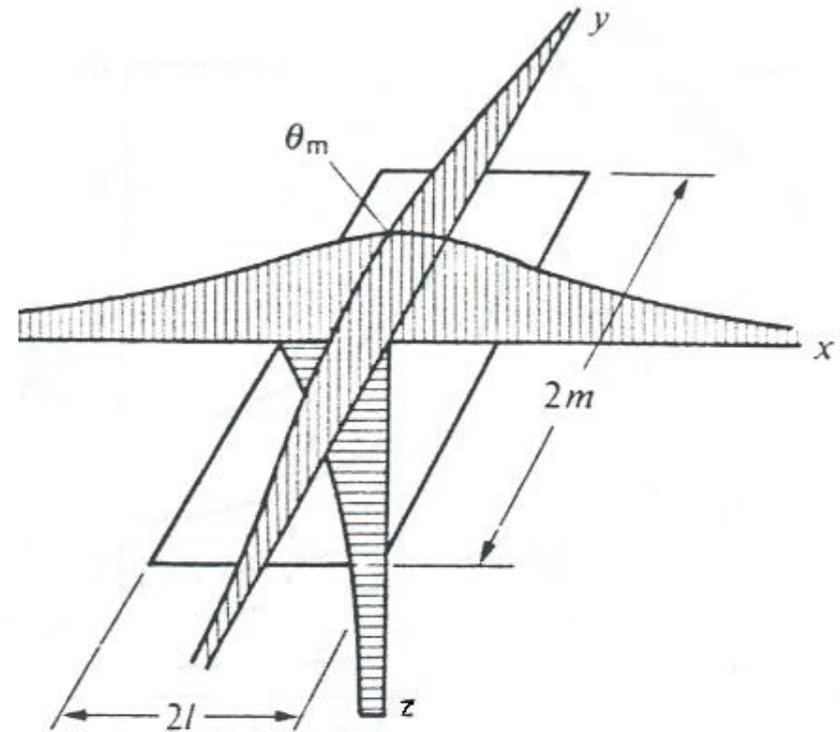
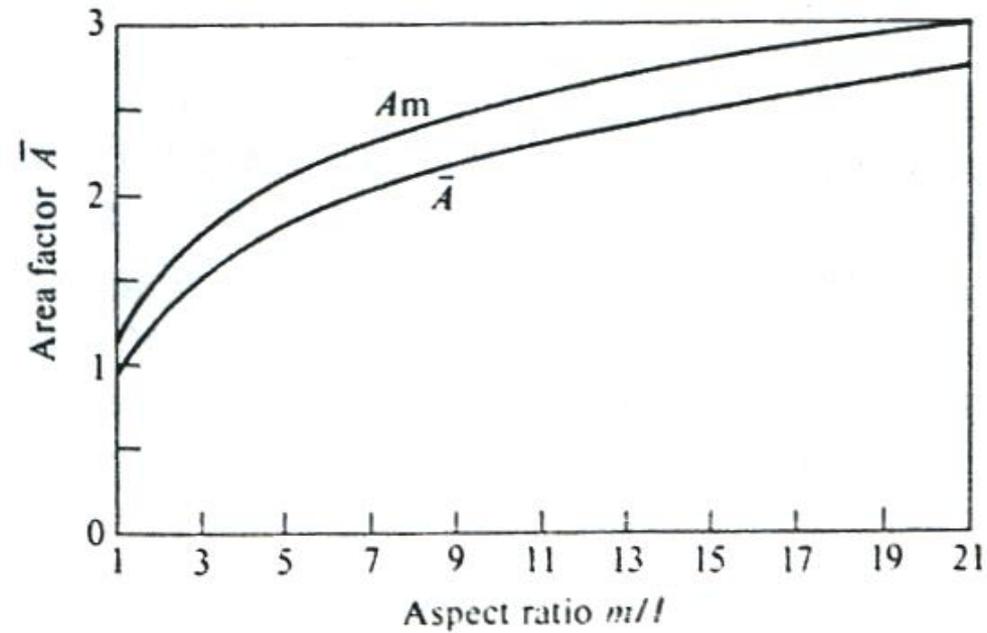


$$\theta(x, y, z, t) = \left[\frac{QK}{8k(\pi Kt)^{3/2}} \right] e^{-r^2 / 4Kt}$$

$$r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2$$

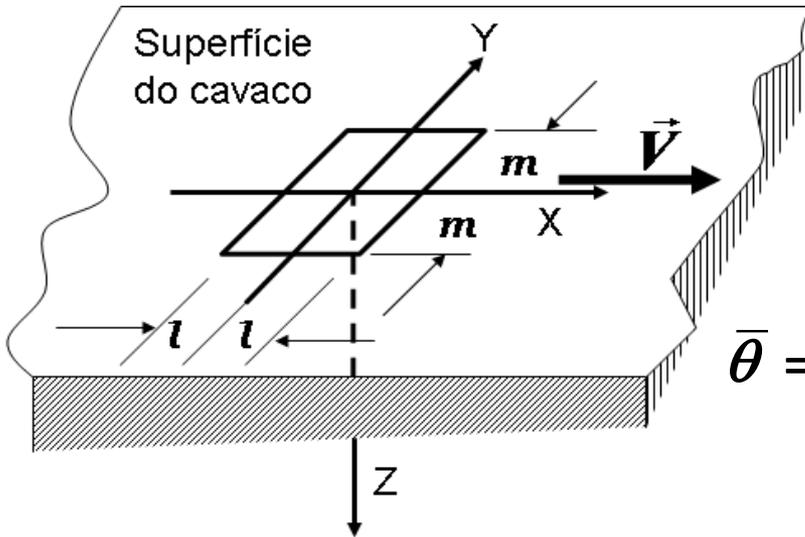
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

TEORIA GERAL



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

TEORIA GERAL



$$\bar{\theta} = 0,754 \frac{q_v \cdot l}{k \cdot \sqrt{L}} \quad \theta_{\max} = 1,130 \frac{q_v \cdot l}{k \cdot \sqrt{L}}$$

q_v = calor fluindo para o corpo semi-infinito oriundo de uma fonte móvel.

$$\bar{\theta} = 0,754 \frac{(R \cdot q_v) \cdot l}{k_1 \cdot \sqrt{L}} \quad \bar{\theta} = \left[(1 - R) \cdot q_e \right] \frac{m}{k_2} \bar{A}$$

R = fração do calor que flui para o corpo móvel;

$(1 - R)$ = fração de calor que flui para o corpo estacionário;

k_1 e k_2 = Condutividade térmica do material móvel e do estacionário, respectivamente.

$$R = \frac{1}{1 + \frac{0,754 \cdot (k_2/k_1)}{\sqrt{L} \cdot \bar{A} \cdot (m/l)}}$$

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura no plano de cisalhamento (ΔT_Z):

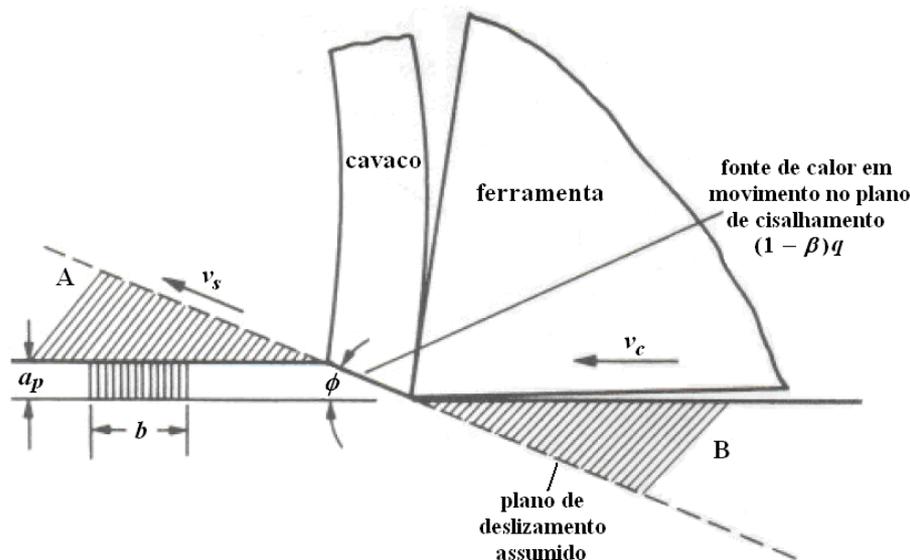
$$q_1 = \frac{F_Z \cdot v_Z}{h \cdot b \cdot \csc \phi}$$

$$u_Z = \frac{F_Z \cdot v_Z}{h \cdot b \cdot v_C}$$

$$q_1 = \frac{u_Z \cdot v_C}{\csc \phi}$$

$$\Delta T_Z = \frac{u_Z}{c_1 \cdot \rho_1}$$

$$\Delta T_Z = (R_1 \cdot q_1) \frac{\csc \phi}{v_c \cdot c_1 \cdot \rho_1}$$



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

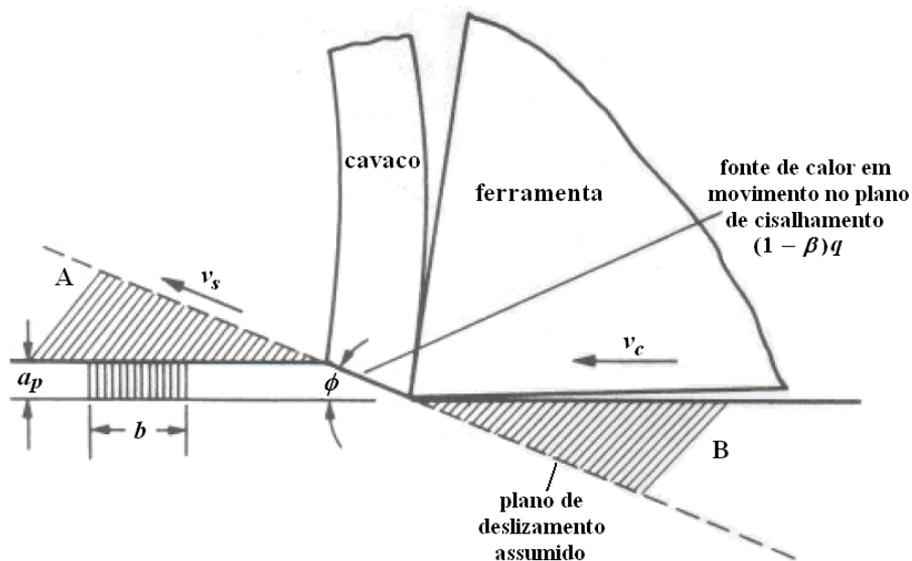
Temperatura no plano de cisalhamento (ΔT_Z):

$$\Delta T_Z = [(1 - R_1) \cdot q_1] \cdot 0,754 \frac{h \cdot \csc \phi}{2 \cdot k_1 \cdot \sqrt{L_1}}$$

$$L_1 = \frac{v_Z \cdot h \cdot \csc \phi}{4 \cdot K_1}$$

$$R_1 = \frac{1}{1 + 1,326 \sqrt{\frac{K_1 \cos \gamma}{\sin \phi \cos(\phi - \gamma)}}}$$

$$K_1 = \frac{k_1}{\rho_1 \cdot c_1}$$



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Interface cavaco-ferramenta (ΔT_f):

$$q_2 = \frac{F_T \cdot v_{CAV}}{l_c \cdot b} = \frac{u_f \cdot v_c \cdot h}{b} \quad \Delta \bar{T}_f = \frac{0,754 \cdot (R_2 \cdot q_2) \cdot l_c}{2 \cdot k_2 \cdot \sqrt{L_2}}$$

k_2 = Condutividade térmica do material do cavaco na temperatura T_f .

L_2 = dado por:

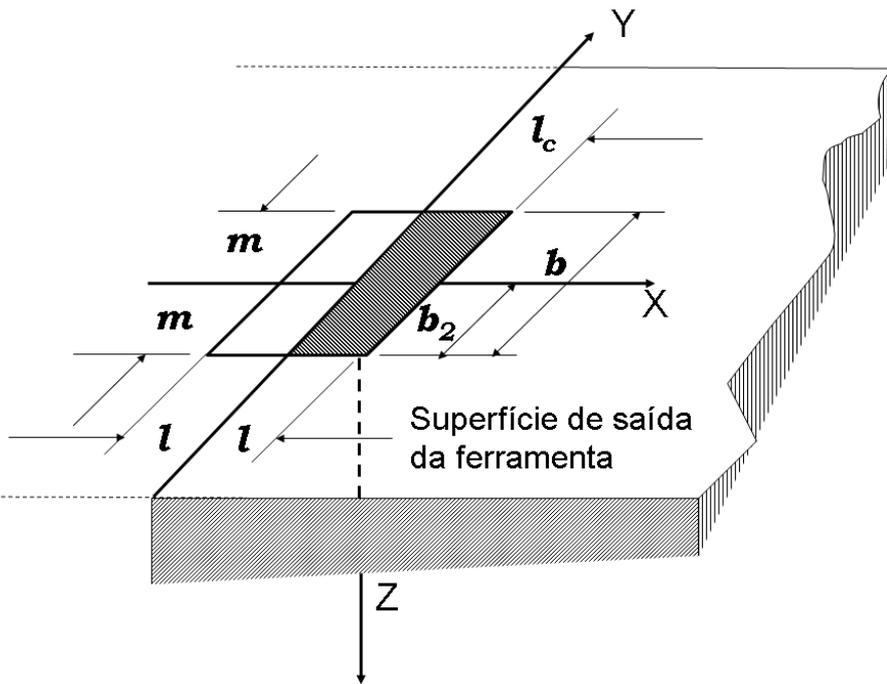
$$L_2 = \frac{v_{CAV} \cdot l_c}{4 \cdot K_2}$$

$$\Delta \bar{T}_{cav} = \Delta \bar{T}_f + \Delta \bar{T}_z = \frac{0,377 \cdot (R_2 \cdot q_2) \cdot l_c}{k_2 \cdot \sqrt{L_2}}$$

$$\frac{m}{l} \Rightarrow \frac{b}{2 \cdot l_c}$$

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na ferramenta (ΔT_{fer}):



$$\left(\frac{m}{l}\right) \Rightarrow \frac{b_2}{l_c}$$

$$\Delta T_{fer} = [(1 - R_2) \cdot q_2] \frac{b_2/2}{k_3} \bar{A}$$

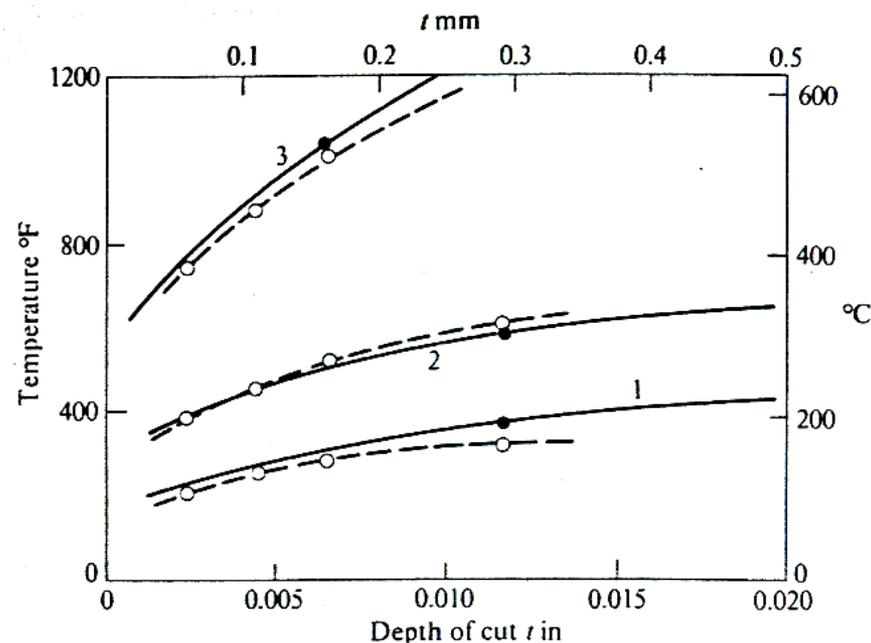
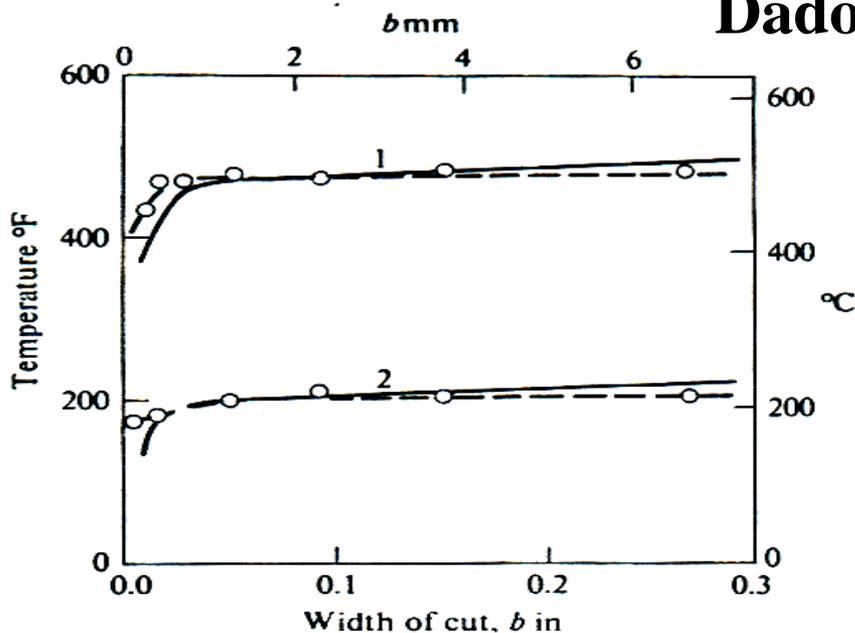
$$R_2 = \frac{X - \Delta T_Z}{(X + Y)}$$

$$X = q_2 \frac{b_2 \bar{A}}{K_3}$$

$$Y = q_2 \frac{0,377 l_c}{K_2 \sqrt{L_2}}$$

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Dados experimentais



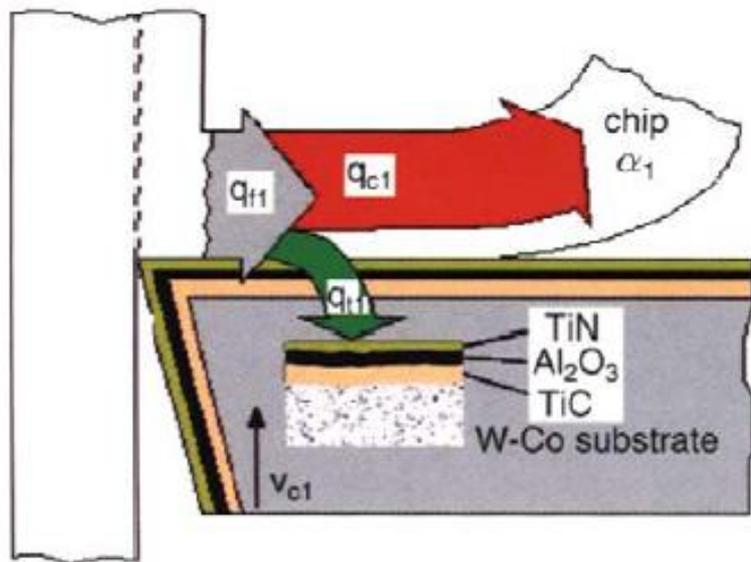
aço ABNT1113, ferramenta de metal duro K2S, $\gamma=20^\circ$, $a_p = 0,6$ mm. Dados “1” $v_c = 69$ m/min e “2” $v_c = 4,5$ m/min.

aço ABNT1113, ferramenta de metal duro K2S, $\gamma=20^\circ$, $a_p = 0,6$ mm. Dados “1” $v_c = 3$ m/min, “2” $v_c = 18$ m/min e “3” $v_c = 137$ m/min.

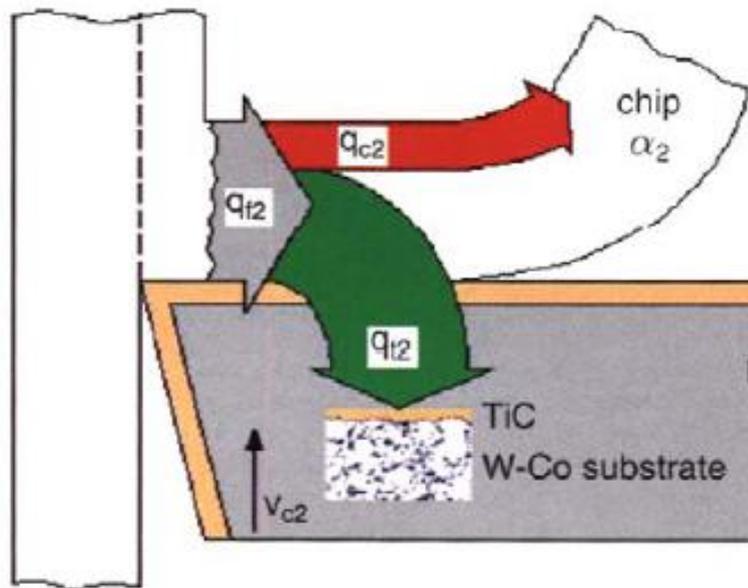
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Distribuição de energia entre as partes

(a) AISI 1045



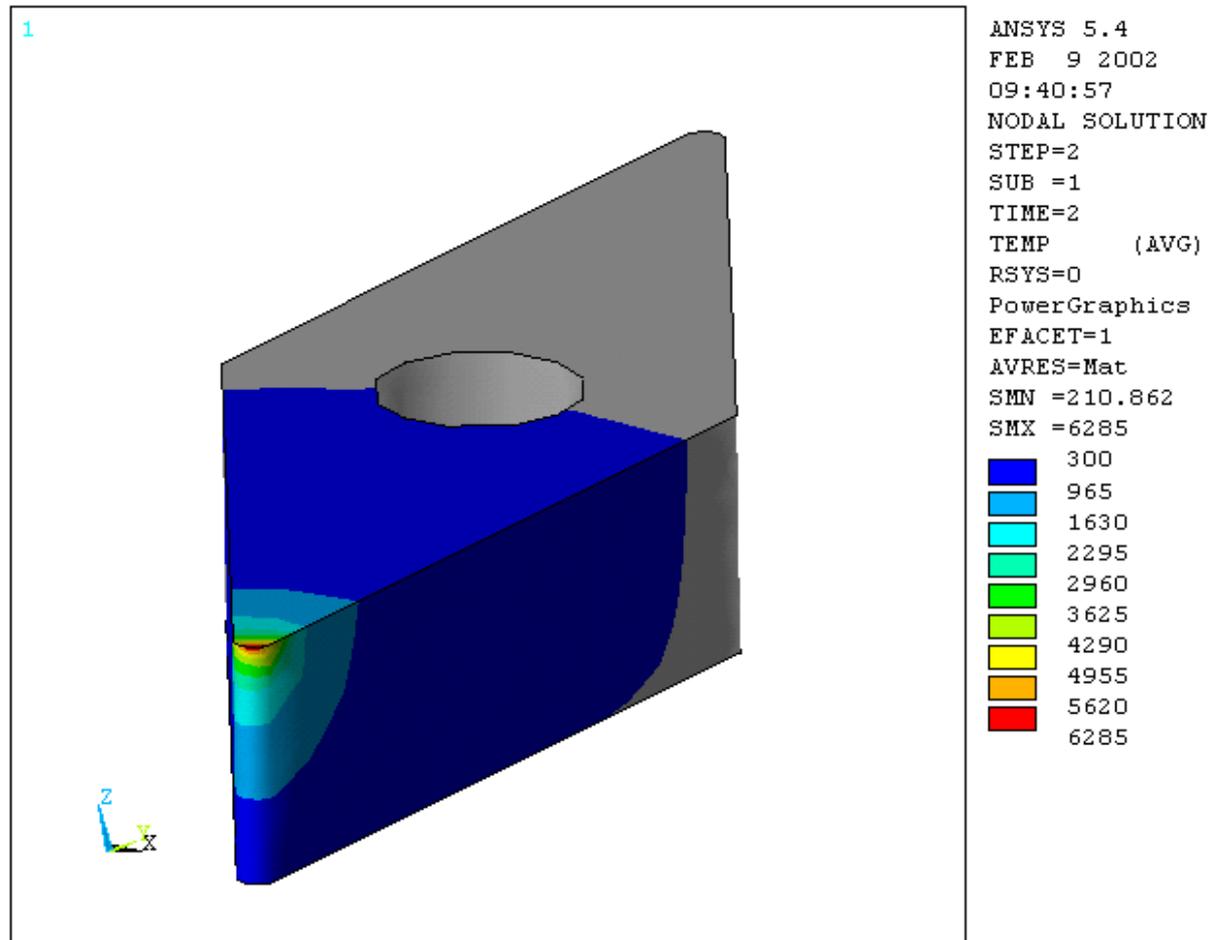
(b) AISI 304



$q_{f1} < q_{f2}$ frictional heat flux; $q_{c1} > q_{c2}$ heat flow to the chip; $q_{t2} > q_{t1}$ heat flow to the substrate; $\alpha_1 > \alpha_2$ thermal diffusivity; $v_{c1} = v_{c2}$ cutting speed; $t_{c1} \approx t_{c2}$ contact temperature

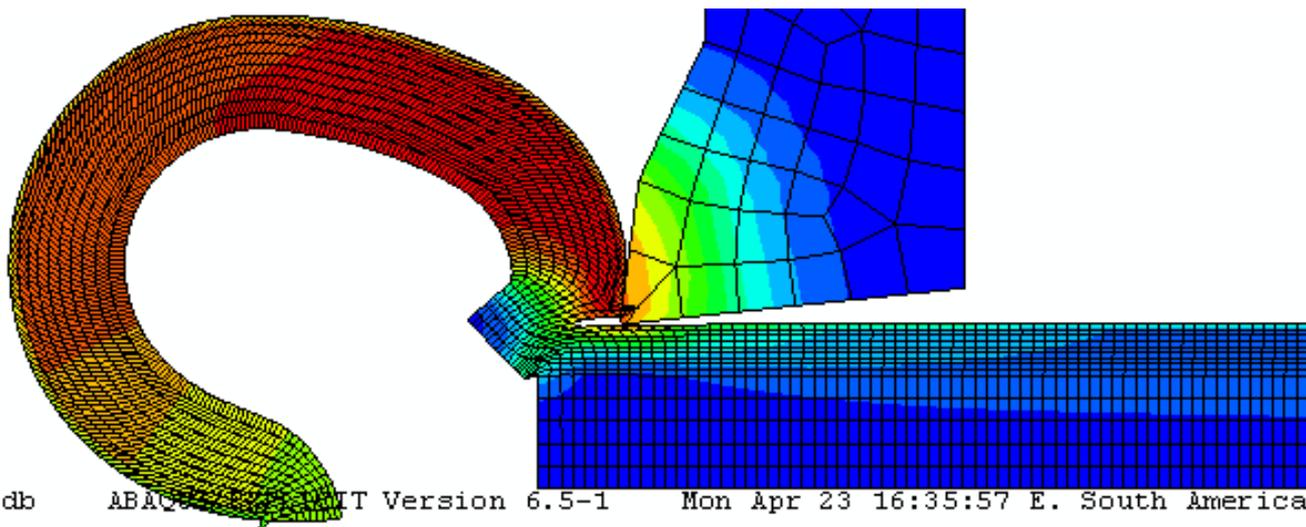
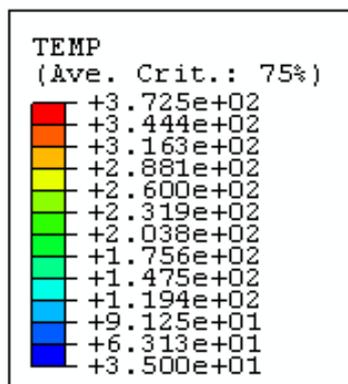
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Distribuição de Temperatura na ferramenta usando FEM



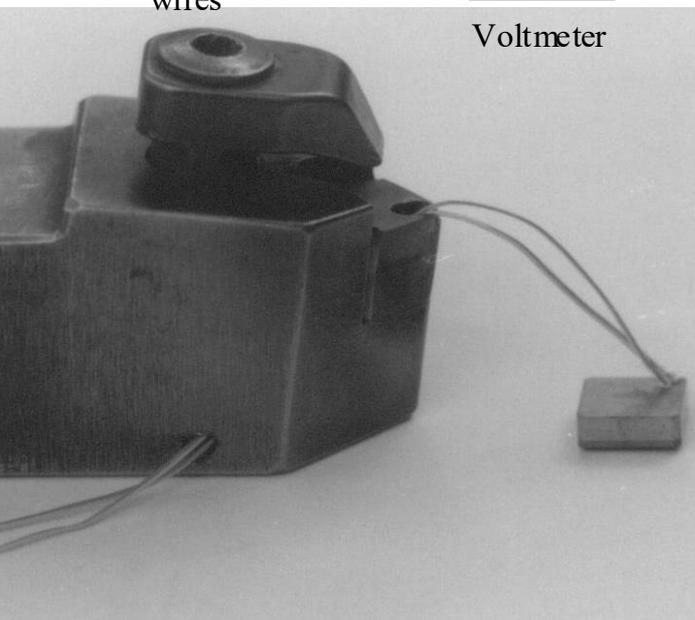
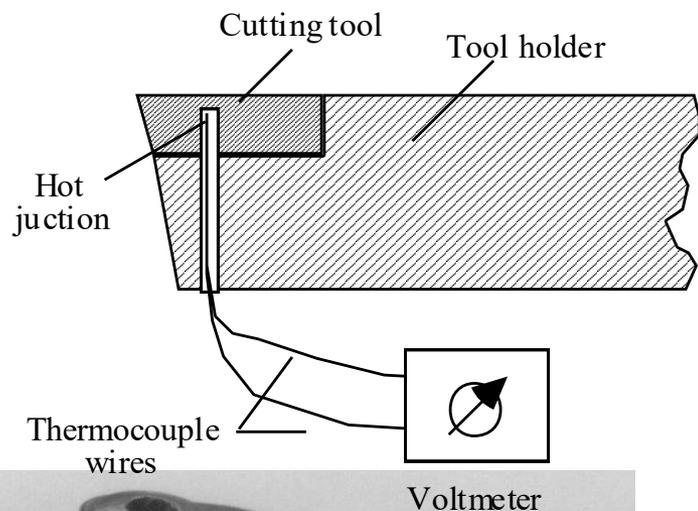
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Distribuição de Temperatura na ferramenta, peça, cavaco e fluido de corte usando FEM

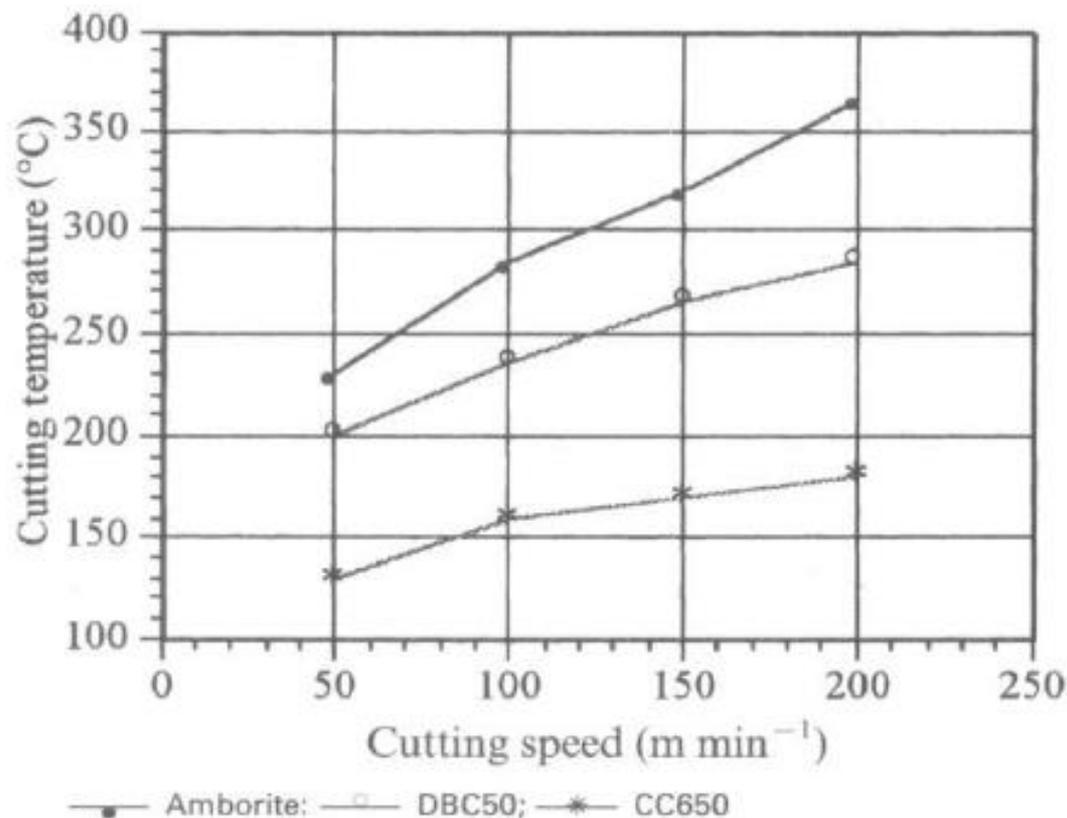


Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais



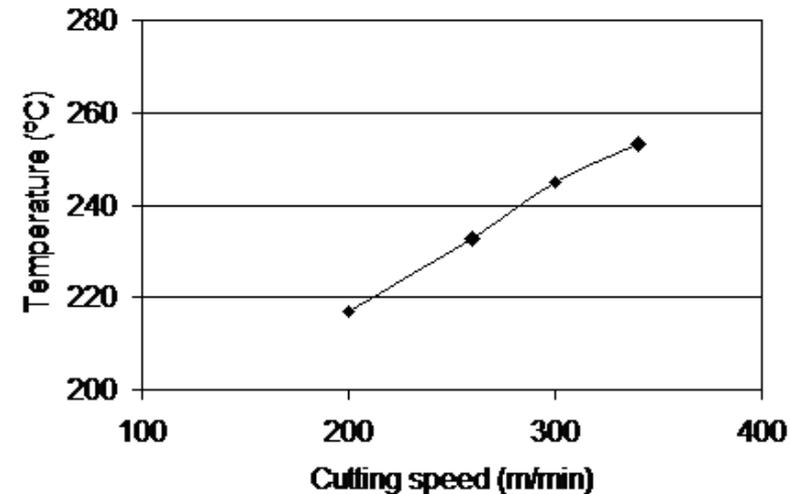
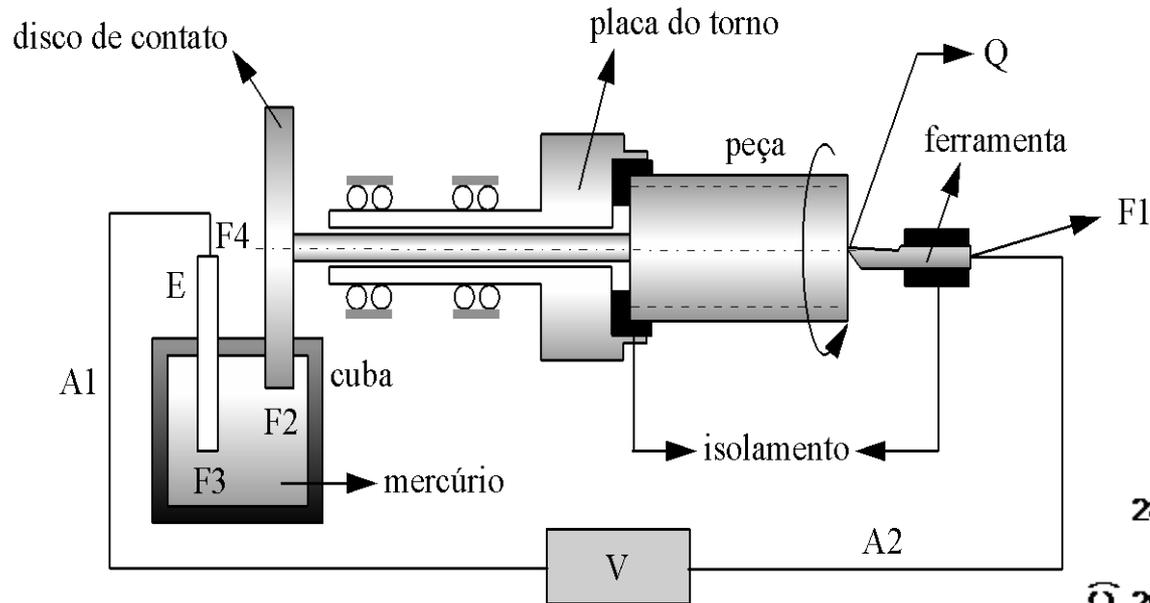
Termopar inserido na ferramenta/peça



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais

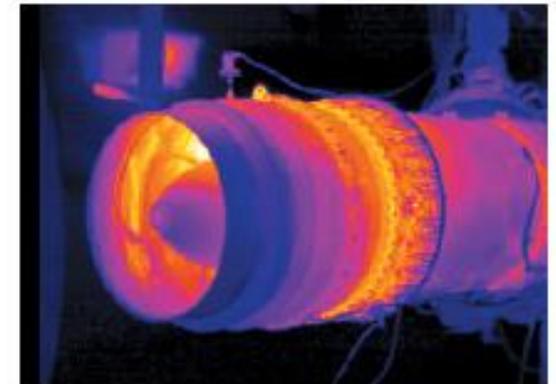
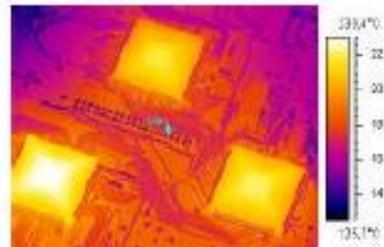
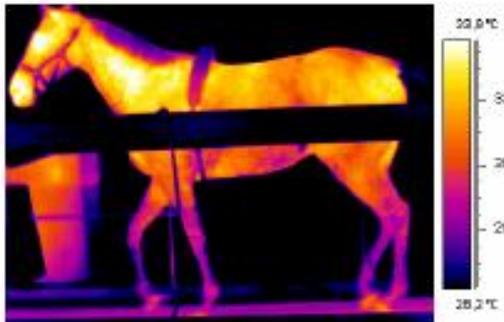
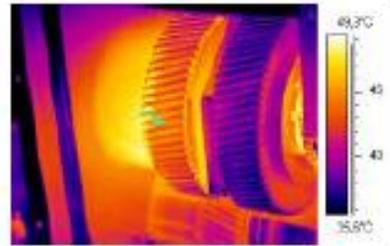
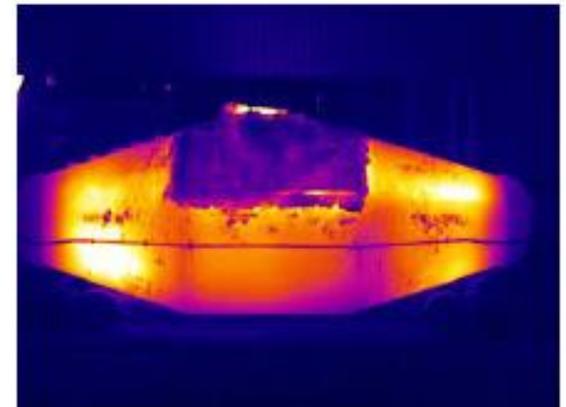
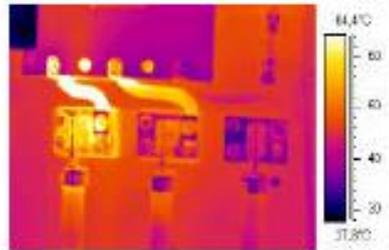
Termopar ferramenta/peça



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais

Termo-imagens



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais

Termo-imagens



1975

1980



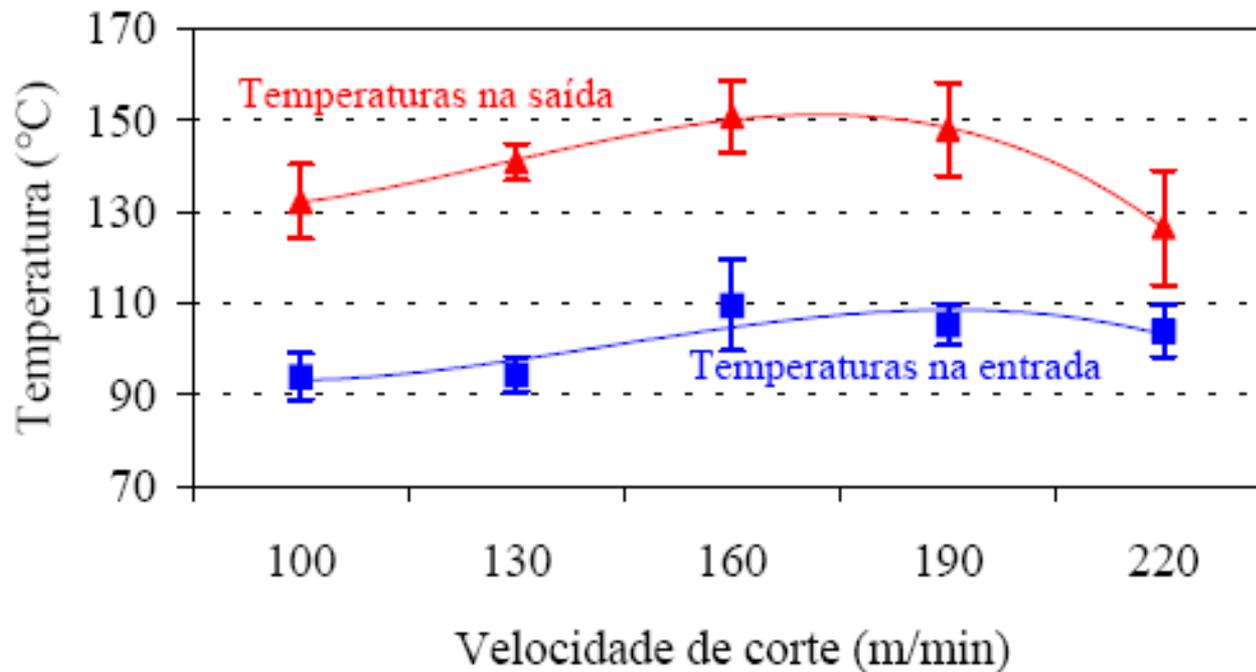
1994



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais

Termo-imagens



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

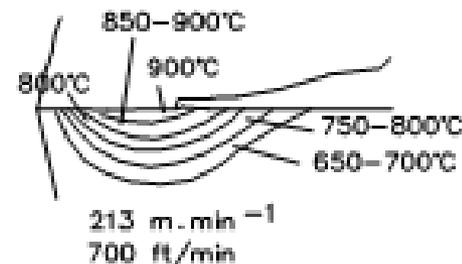
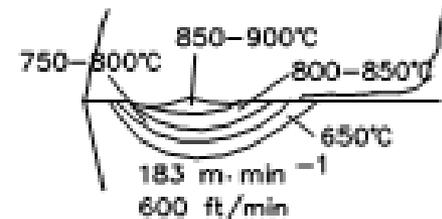
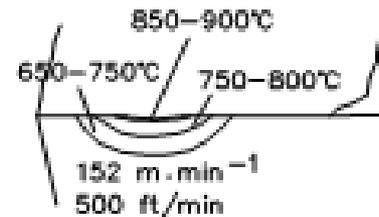
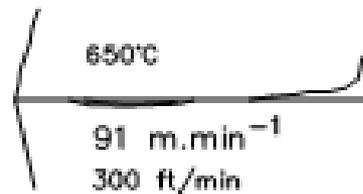
Temperatura na Formação de Cavacos - Estimativas Experimentais

- Vernizes termosensíveis.

- Propriedades metalográficas

- Sais com diferentes temperaturas de fusão

- Filmes depositados por PVD.



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

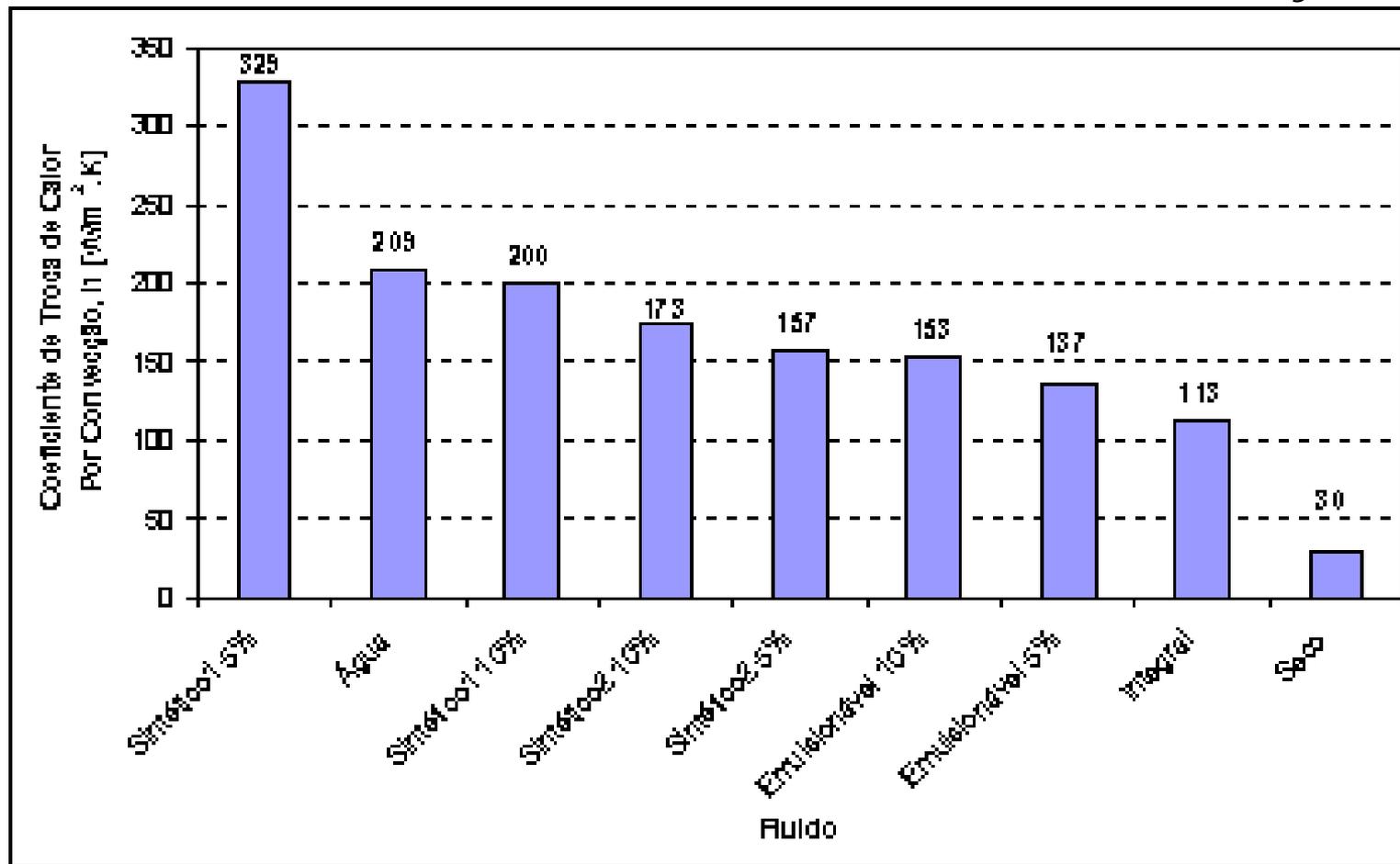
Aplicação de Fluidos de Corte em Usinagem



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

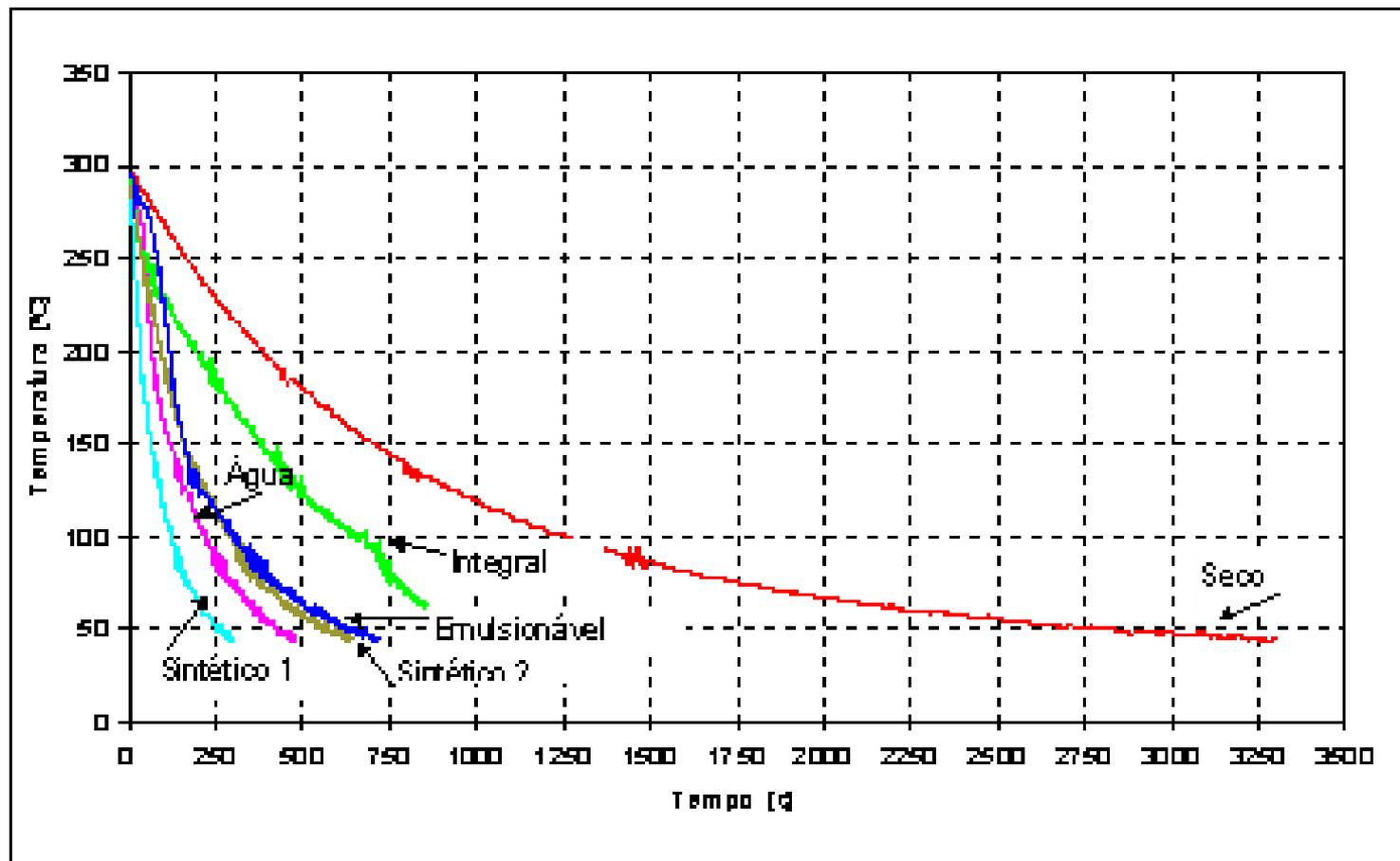
Classificação dos fluidos de corte

- Óleos;
- Emulsões;
- Soluções



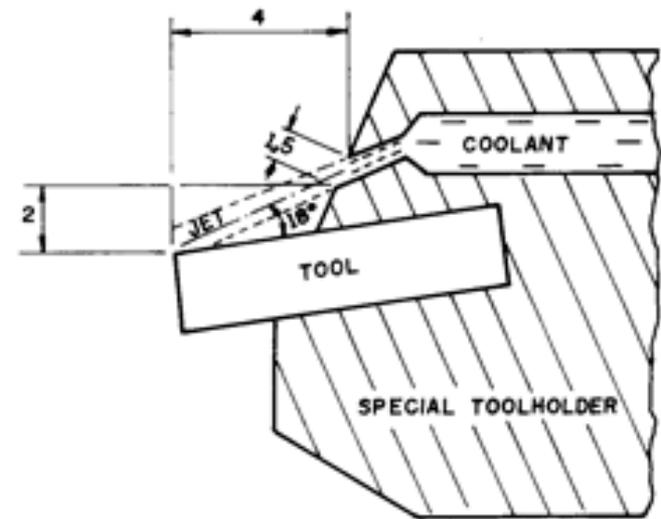
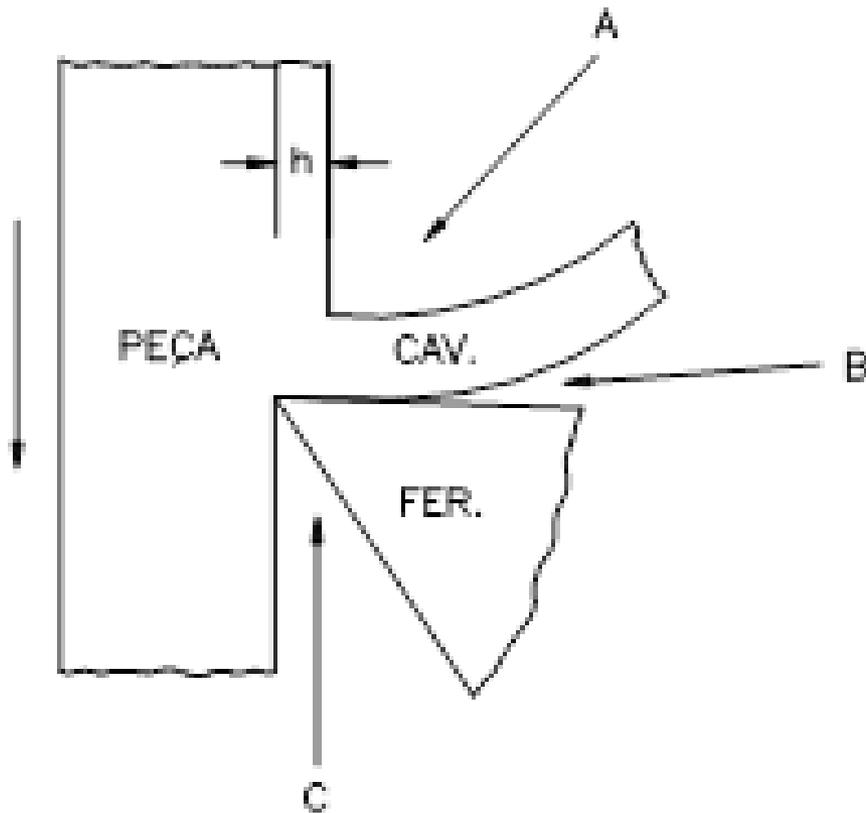
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Tempo de resfriamento



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

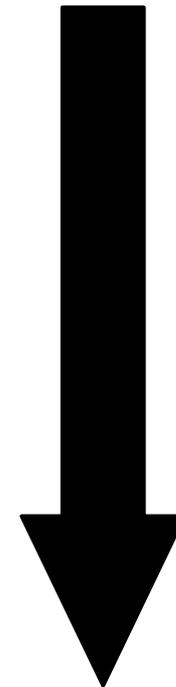
Direções de aplicação do fluido de corte



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Seleção de fluidos de corte

Retificação
Serramento
Torneamento
Aplainamento
Furação
Fresamento
Roscamento com ferramenta de perfil
Mandrillamento
Furação profunda
Geração de dentes de engrenagens
Roscamento externo com cossinete
Roscamento interno com macho
Brochamento externo
Brochamento interno



S
e
v
e
r
i
d
a
d
e

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

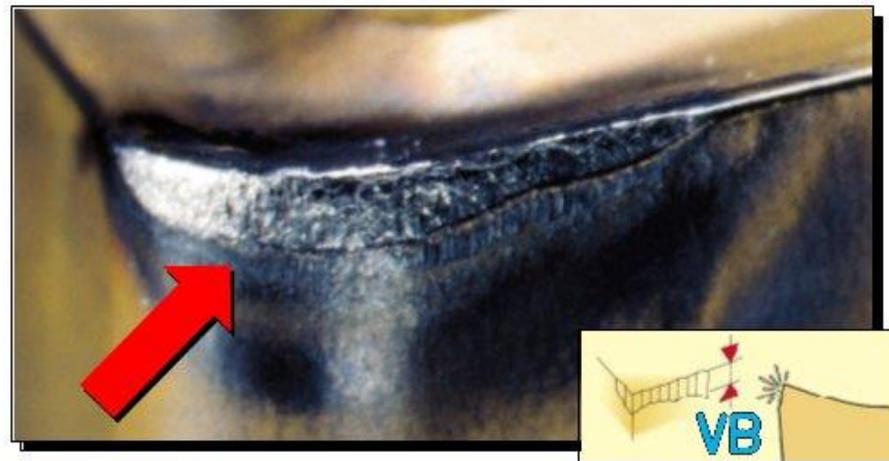
- Tipos de desgaste em ferramentas de usinagem
- Mecanismos de desgaste
- Curva de vida de Taylor
- Avaliação

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

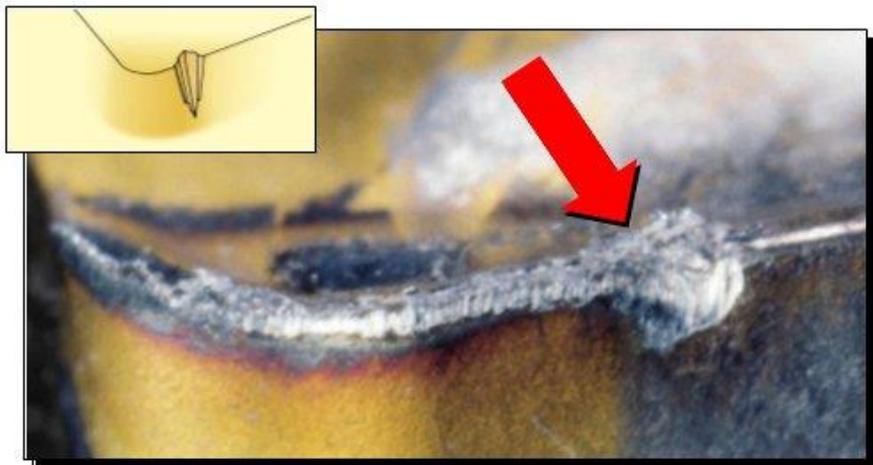
Tipos de desgaste



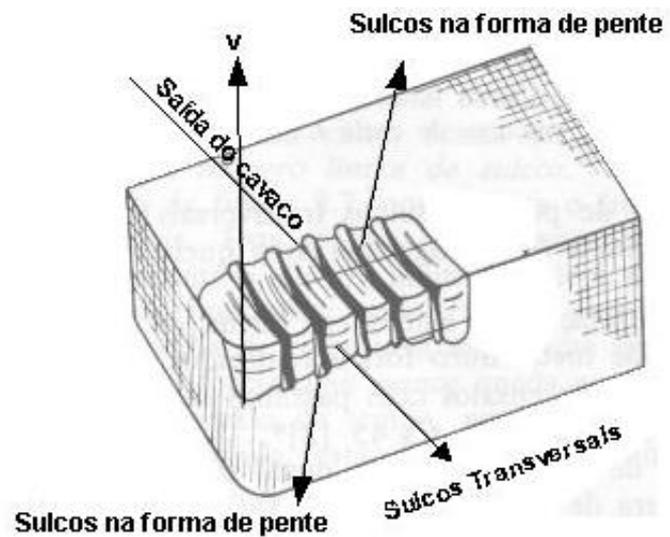
Cratera



Flanco



Sulco

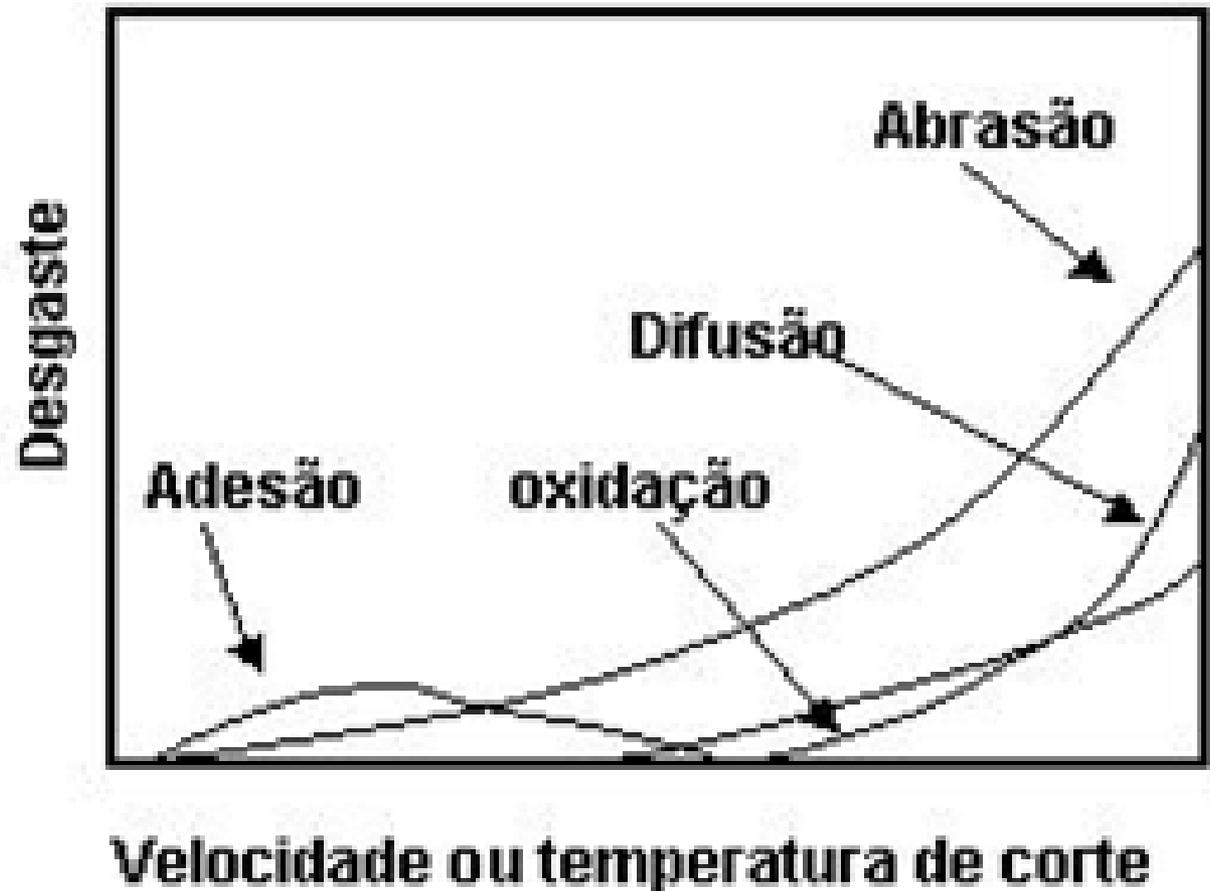


Forma de pente

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Mecanismos de desgaste

- Difusão
- Aderência
- Abrasão
- Oxidação
- Fadiga



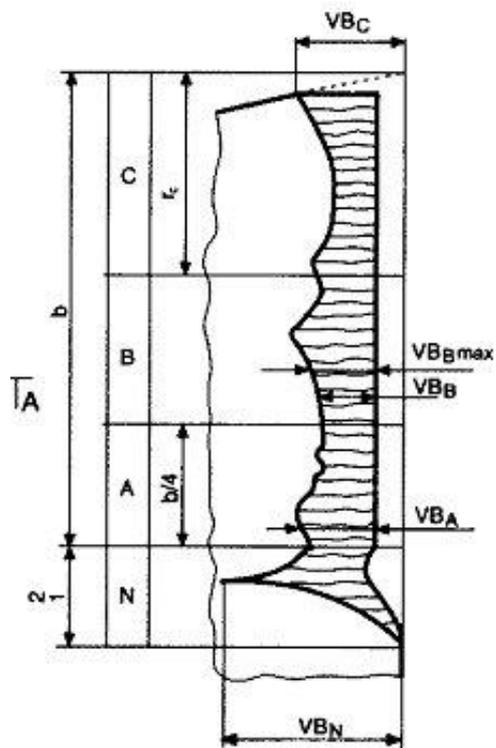
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Ferramenta: Metal duro

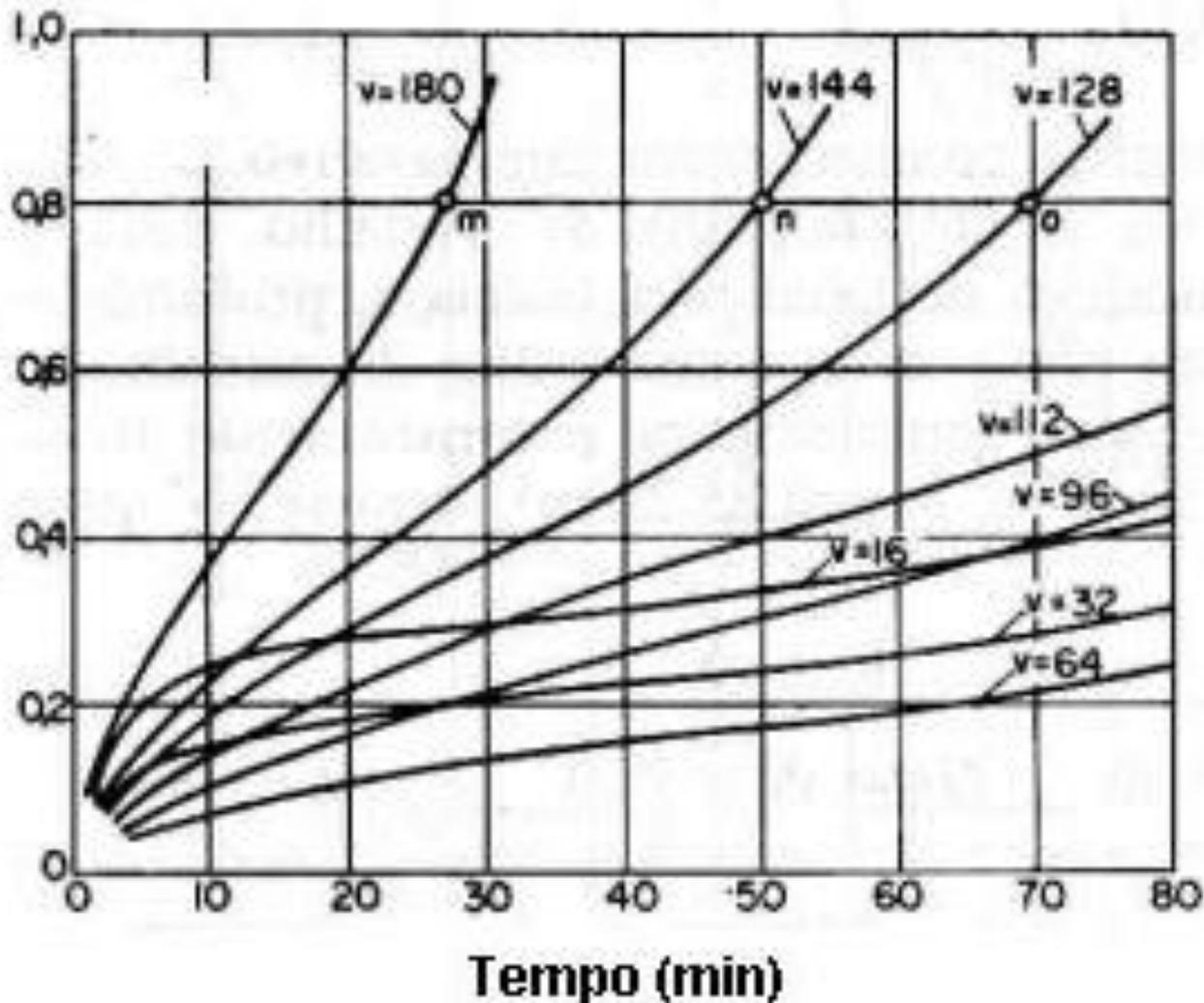
Peça: Aço ABNT 1045

Sem Fluido de corte

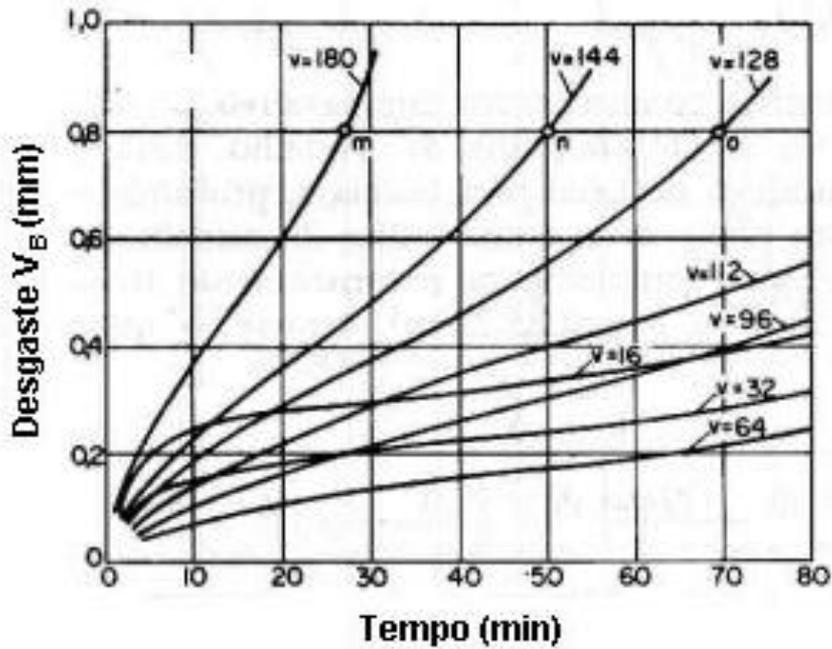
Operação: Torneamento



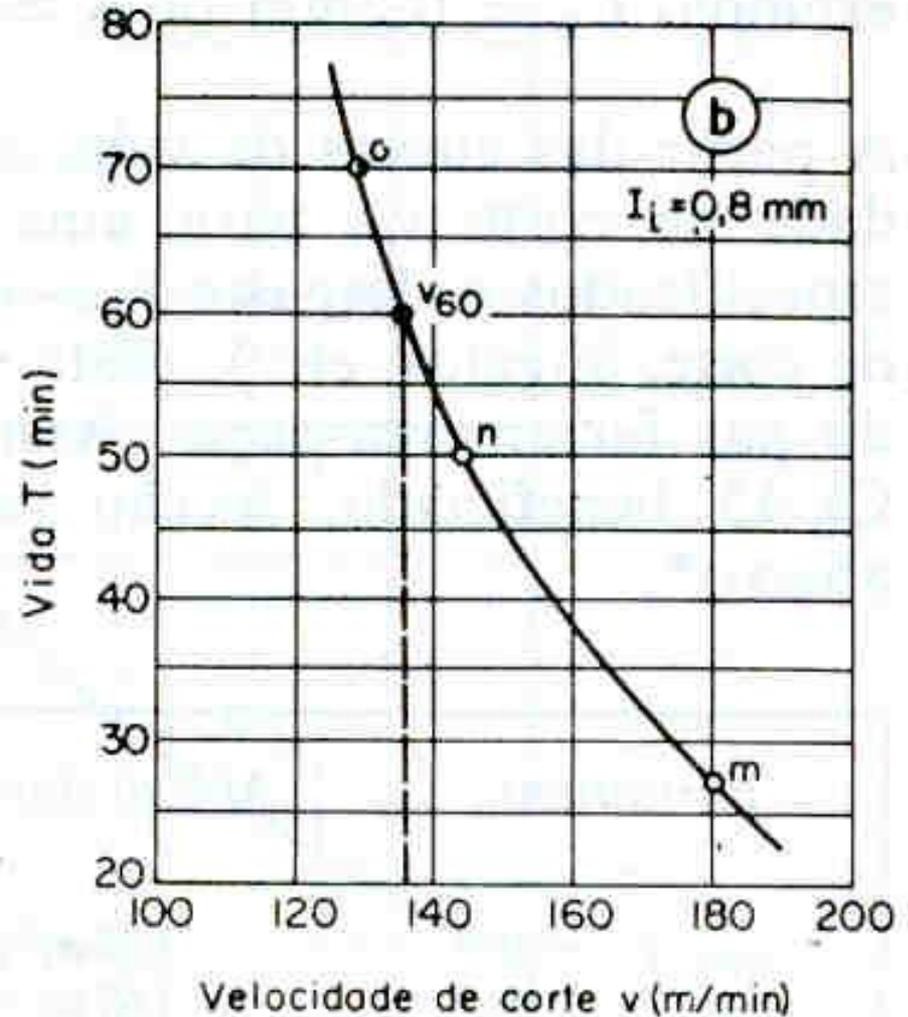
Desgaste v_B (mm)



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais



Curva de vida



$$T = K \cdot v^{-x}$$

$$v \cdot T^y = C$$

$$y = \frac{1}{x} \quad e \quad C = K^{\frac{1}{x}}$$

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Exemplo de
coeficientes da
Equação de Taylor

Material ABNT	Composição	Ferramenta de carbeto $V_B = 0,38 \text{ mm}$ $f.a_p = 0,645 \text{ mm}^2$		Ferramenta de aço rápido $V_B = 1,5 \text{ mm}$ $f.a_p = 0,36 \text{ mm}^2$ com fluido de corte	
		C	y	C	y
B1112	10% perlita + 0,1% S	281	0,222	62	0,167
1020	10% perlita + 90% ferrita	244	0,282	58	0,152
3140	75% perlita + 25% Ferrita	111	0,324	23	0,282
	Temperado HB=300 Martensita + 0,1% S	93	0,282	32	0,032
	75% perlita+ 25% ferrita + 0,1% S	-	-	37	0,096
4140	90% perlita+10% ferrita	107	0,288	23	0,270
	90% perlita+10% ferrita +0,1% S	122	0,270	34	0,174
	Temperado HB=300 martensita	92	0,280	18	0,247
	Temperado HB=300 Martensita +0,1% S	95	0,280	25	0,072
4340	Esferoidal	146	0,242	-	-
	Temperado HB=400 Martensita	73	0,322	-	-
8640	50% perlita + 50% ferrita	119	0,278	40	0,080
	75% ferrita + 25% Ferrita	116	0,323	27,5	0,211
	Esferoidal	153	0,323	45	0,179
	Temperado HB=400 Martensita	50	0,475	15	0,169
	Temperado HB=400 Martensita + 0,51% S	-	-	30	0,044
52100	ESferoidal	107	0,345	35	0,150
Médias		127	0,3	34	0,15

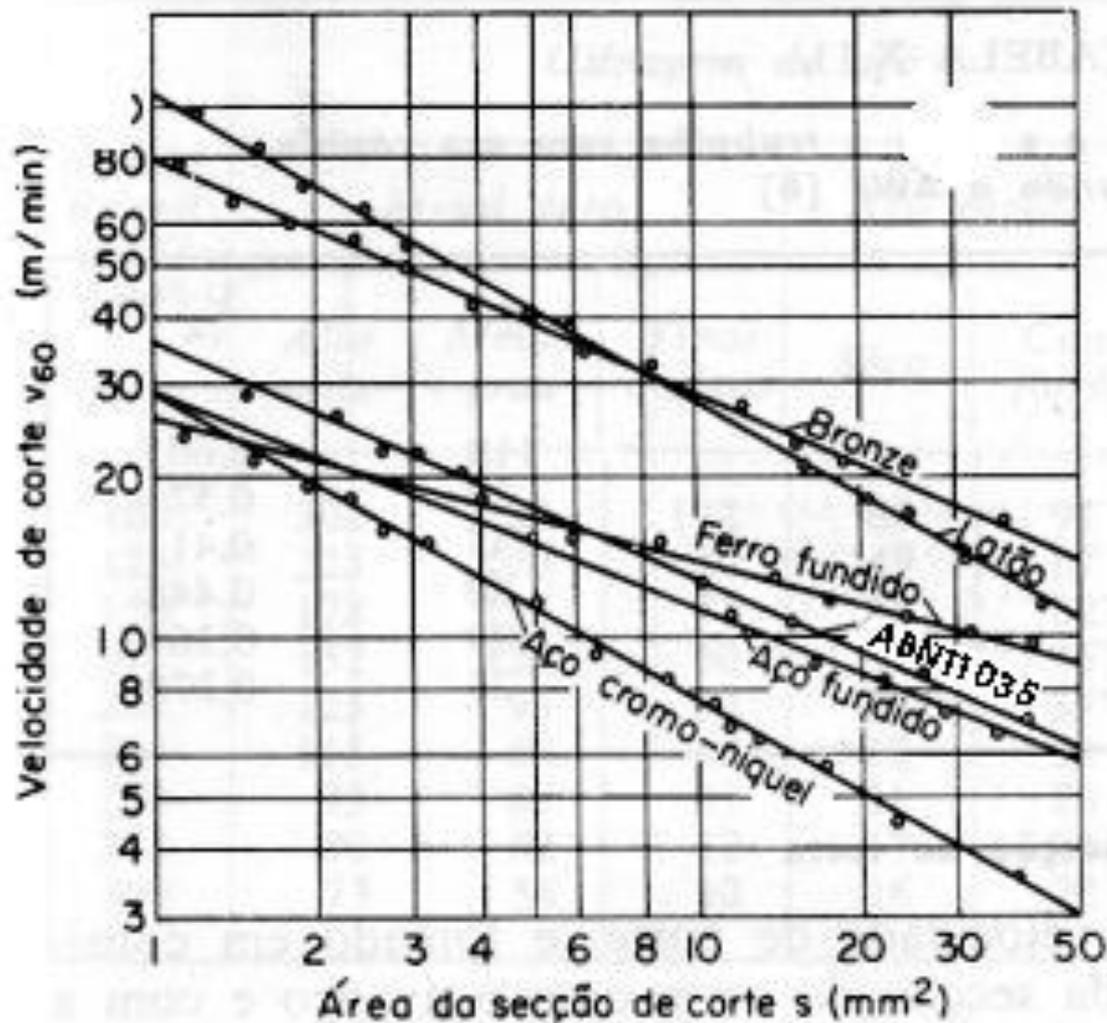
Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Exemplo de coeficientes da Equação de Taylor

Material	Dureza (HB)	Ductilidade (%)	C	y
FoFo nodular	170	22	210	0,232
	183	20	147	0,232
	207	17	110	0,232
	215	4	95	0,187
	216	2	65	0,232
Medias			125	0,223
FoFo cinzento		Estrutura	C	y
	100	Ferritica	238	0,095
	195	Perlítica Gorseira	100	0,250
	225	Perlítica fina	80	0,275
	263	Acicular	45	0,420
Médias			116	0,259

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Variação da velocidade de v_{60} em função da área de corte e dos materiais



Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Valores dos coeficientes C_v e $1/z$ para diferentes materiais

Material	C_v	$1/z$
Aço ABNT 1035	35	0,41
Aço Ni-Cr	29	0,57
Aço Fundido	29	0,364
FoFo	26	0,278
Bronze	80	0,448
Latão	110	0,605

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Correção na velocidade de corte em função da dureza dos materiais

Material	Diferenças de dureza (HB)								
	-80	-60	-40	-20	0	+20	+40	+60	+80
Aços carbono sem liga	-	-	-	1,07	1	0,95	0,90	-	-
Aços carbono baixa liga	1,26	1,18	1,12	1,05	1	0,94	0,91	0,86	0,83
Aços carbono alta liga	-	-	1,21	1,10	1	0,91	0,84	0,79	-
Aços inoxidáveis	-	-	1,21	1,10	1	0,91	0,85	0,79	0,75
Aços fundidos	-	-	1,31	1,13	1	0,87	0,80	0,73	-
FoFo maleável	-	1,14	1,08	1,03	1	0,96	0,92	-	-
FoFo Cinzentos	-	-	1,25	1,10	1	0,92	0,86	0,80	-
FoFo nodulares	-	-	1,07	1,03	1	0,97	0,95	0,93	0,91
Super-ligas (ligas de Ni e Ni-Cr)	1,26	-	1,11	-	1	-	0,90	-	0,82
	Diferenças de dureza (HRC)								
				-6	-3	0	+3	+6	+9
Aços endurecidos				1,10	1,02	1	0,96	0,93	0,90

Temperatura e Desgaste em usinagem de metais

Correção na velocidade de corte em função do ângulo de posição

Ângulo de posição	Fator de correção
90°	0,93
75°	0,96
60°	1
45°	1,08
30°	1,12