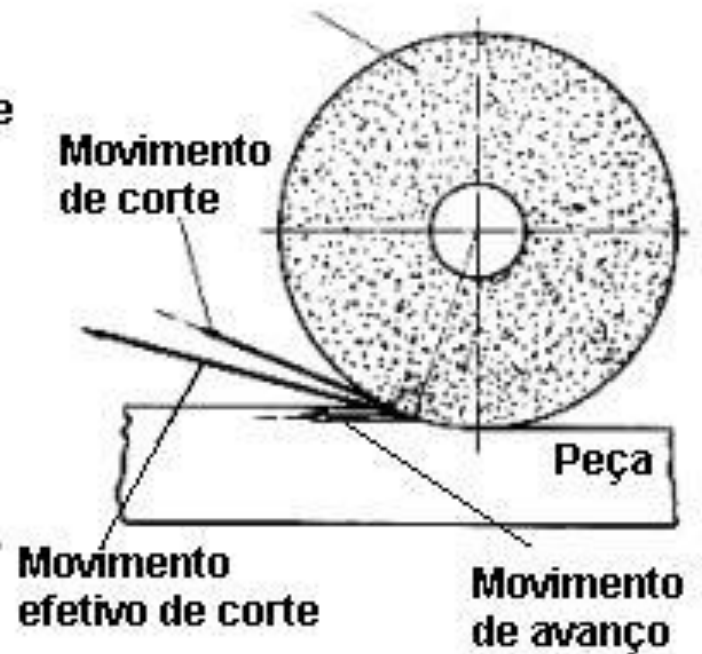
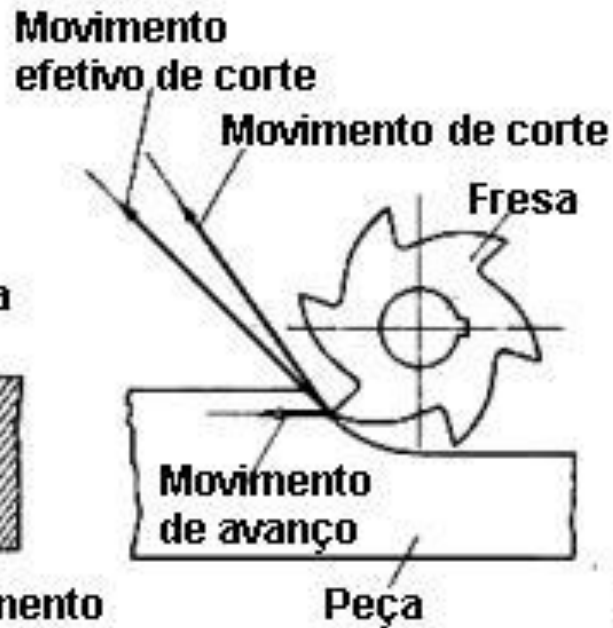
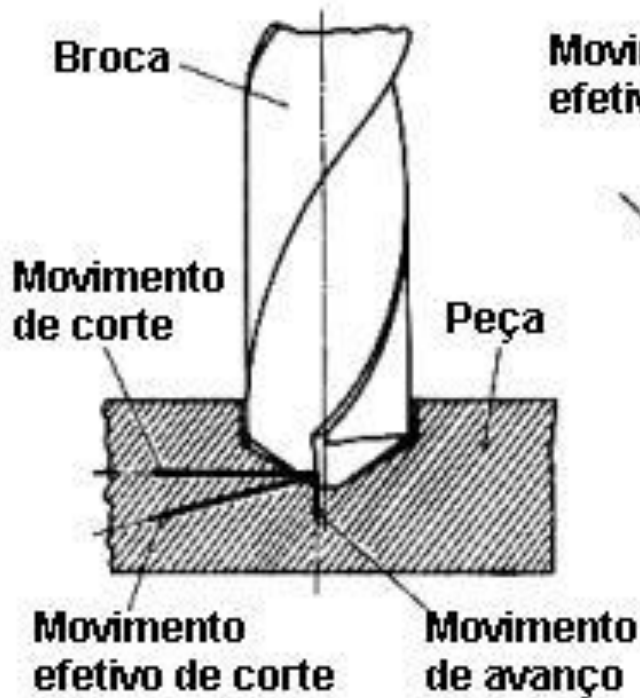


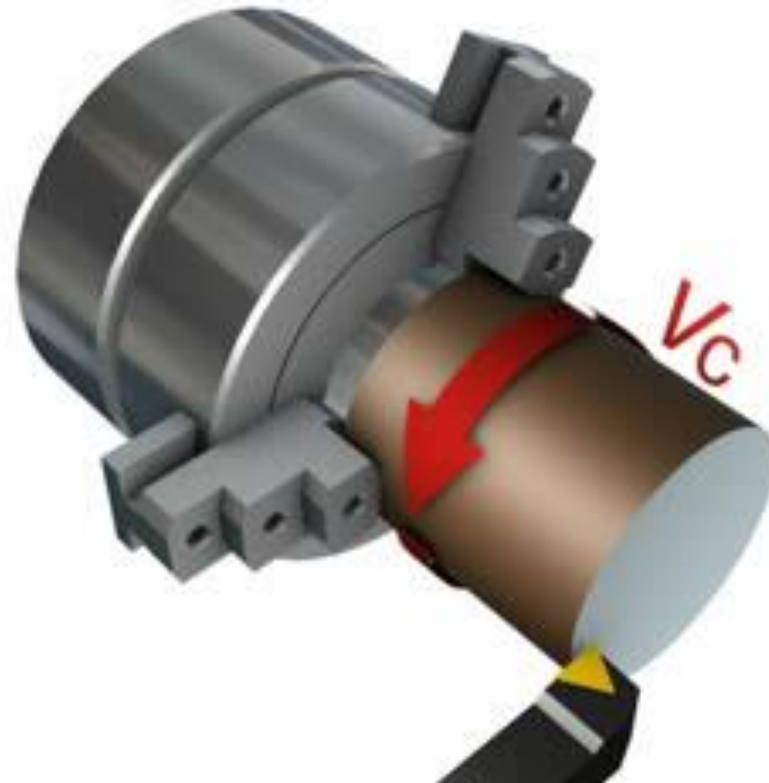
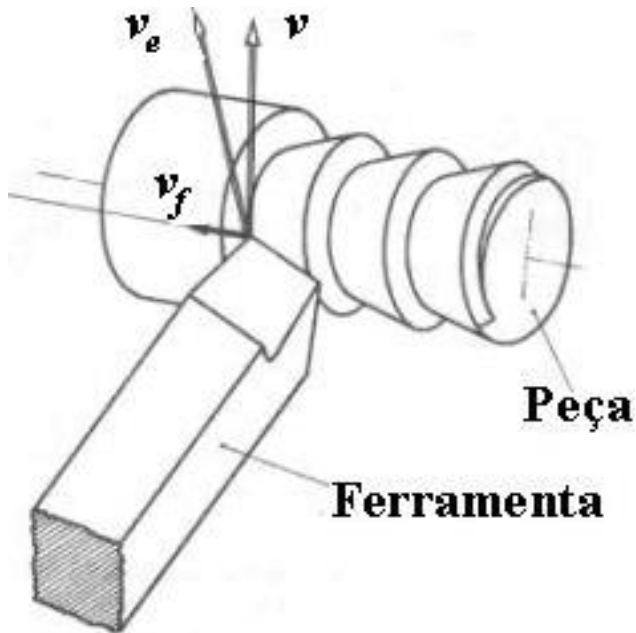
TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Movimentos de corte



TORNEAMENTO - GRANDEZAS

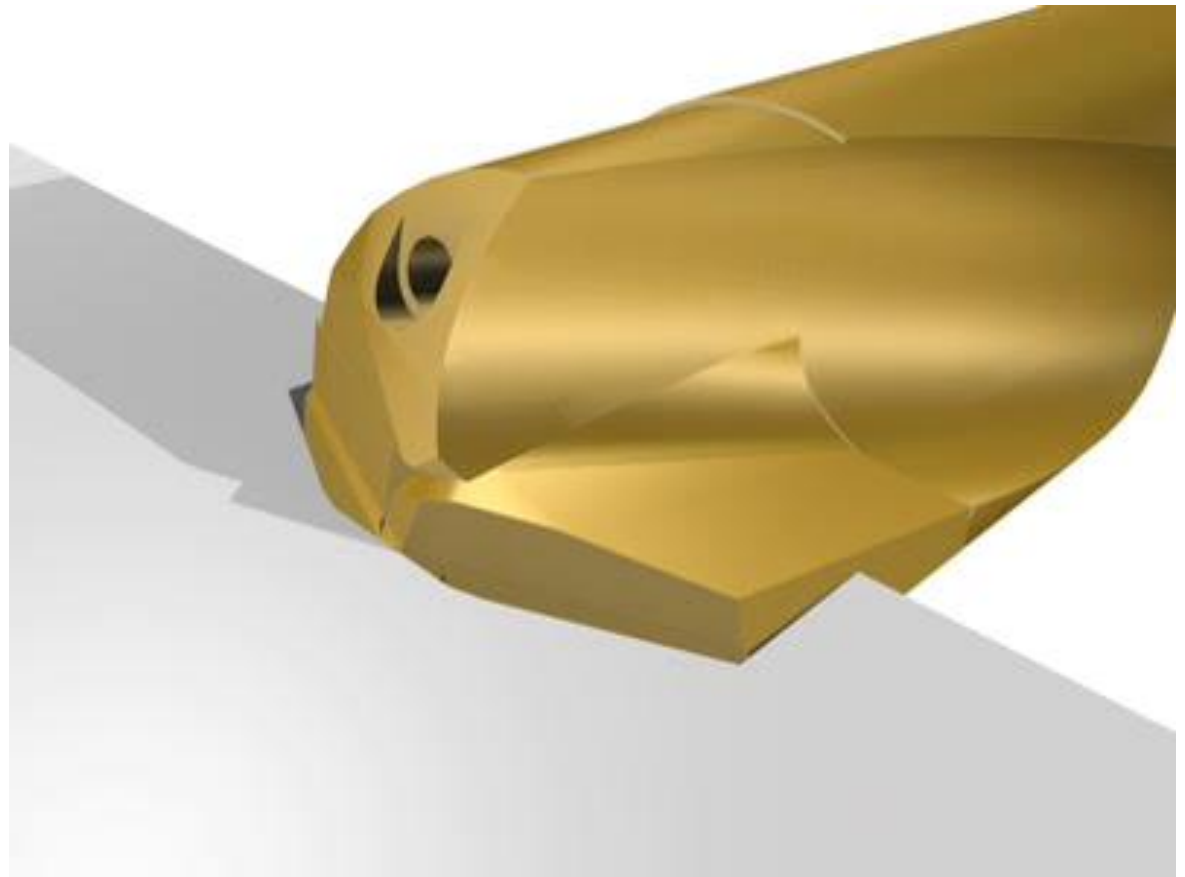
Velocidade de corte



$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad [m/min]$$

TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Velocidade de corte



TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Formação de cavacos



TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Formação de cavacos

P

Steel



TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Formação de cavacos

M

Stainless steel

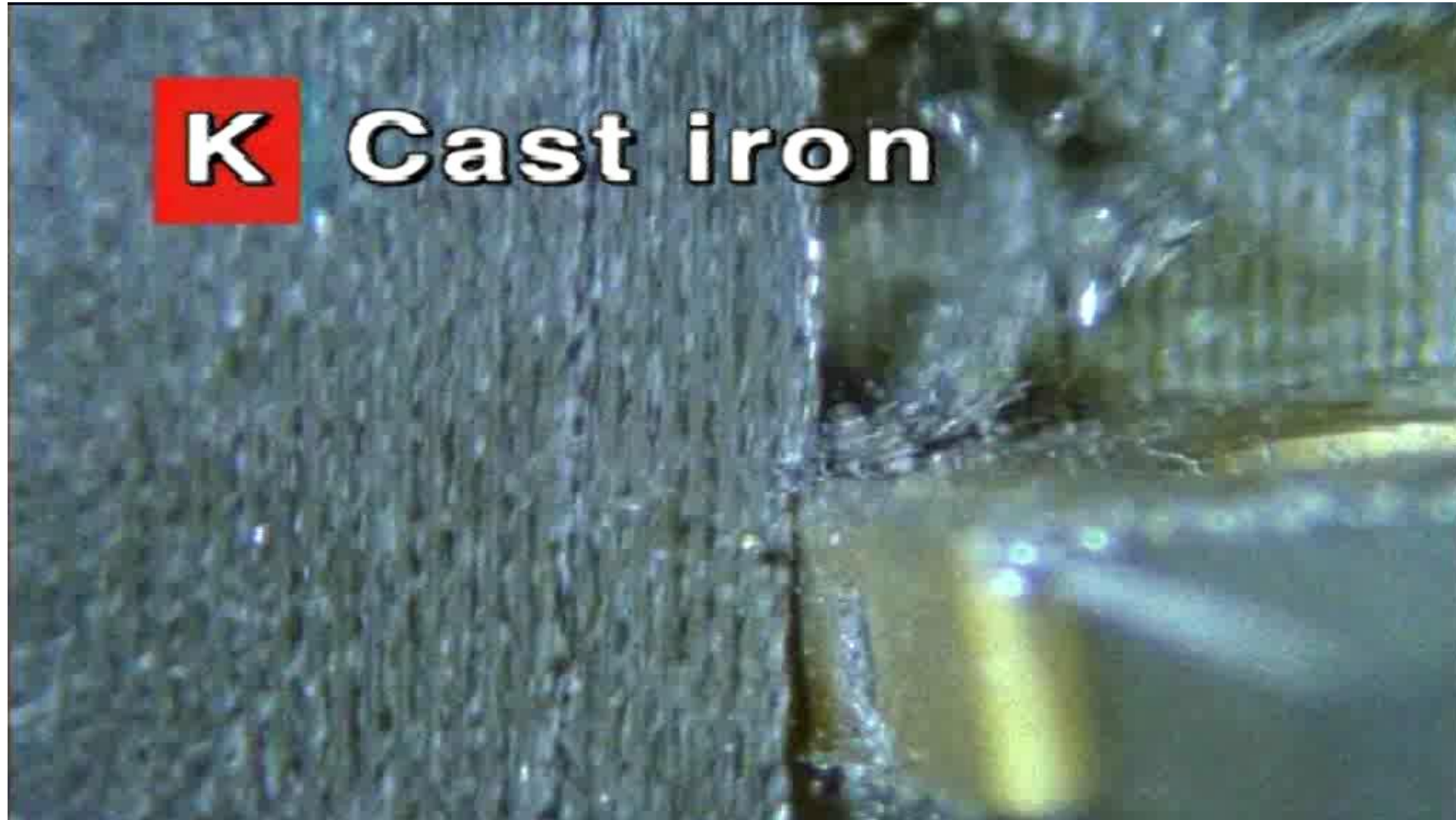


TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Formação de cavacos

K

Cast iron



TORNEAMENTO - GRANDEZAS

Avanço (f)

[mm/rot]

Profundidade de usinagem (a_p)

[mm]

Espessura de corte (h)

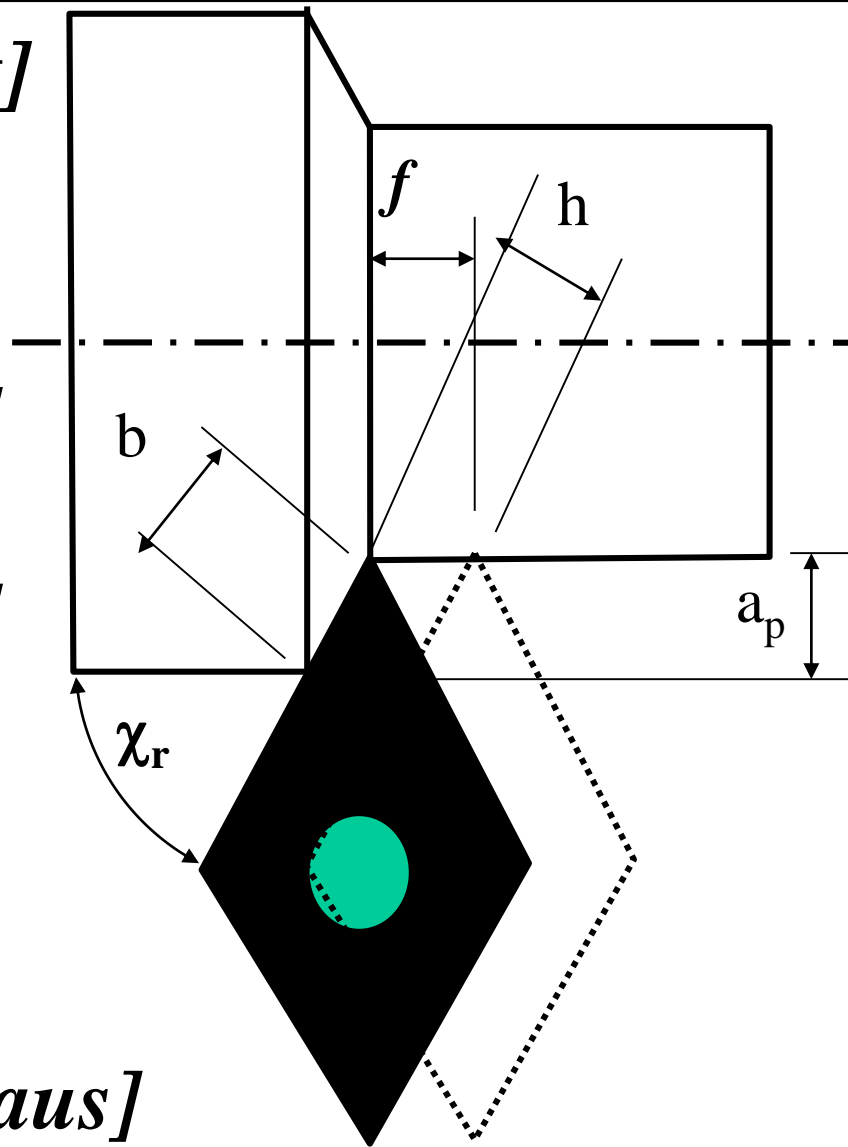
[mm]

Comprimento de corte (b)

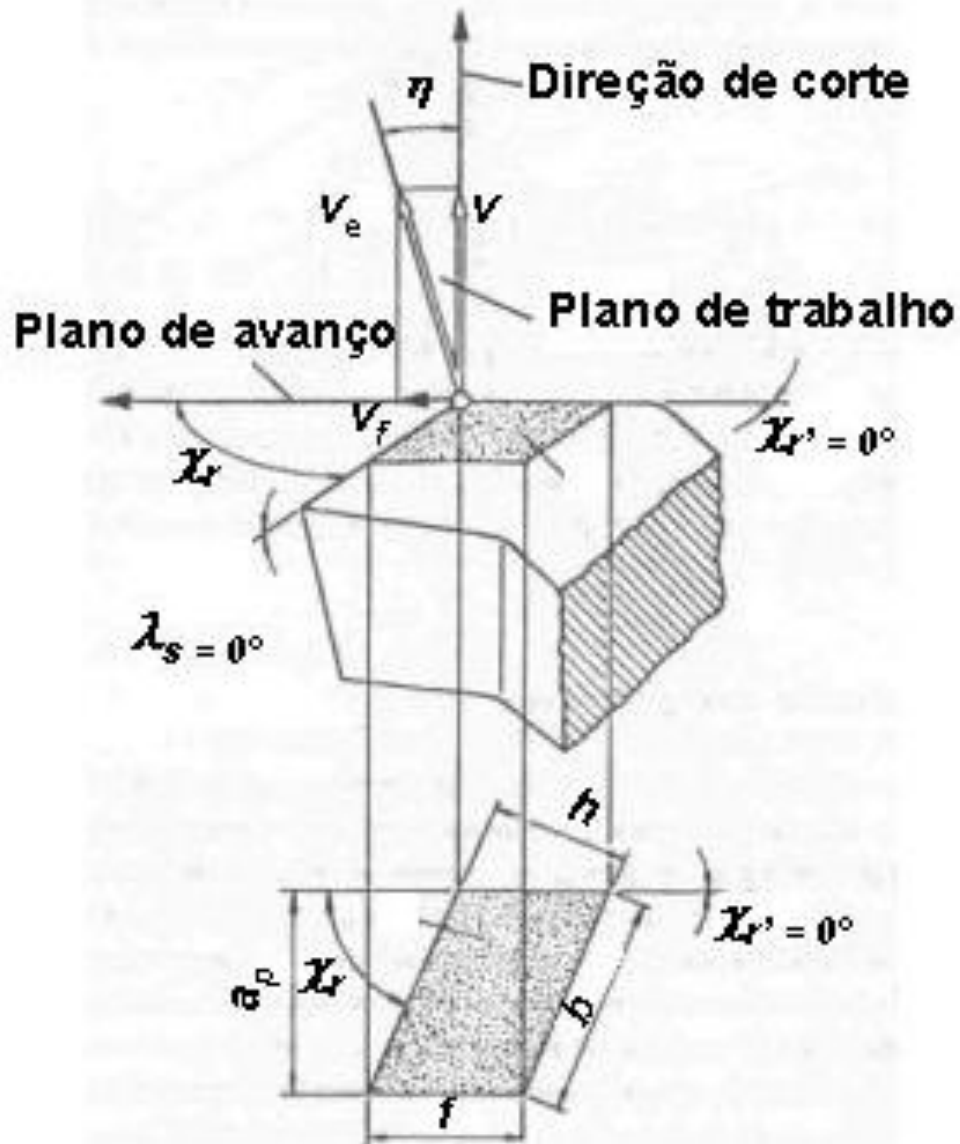
[mm]

Ângulo de posição (χ_r)

[Graus]



TORNEAMENTO - GRANDEZAS



Seção transversal de corte

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

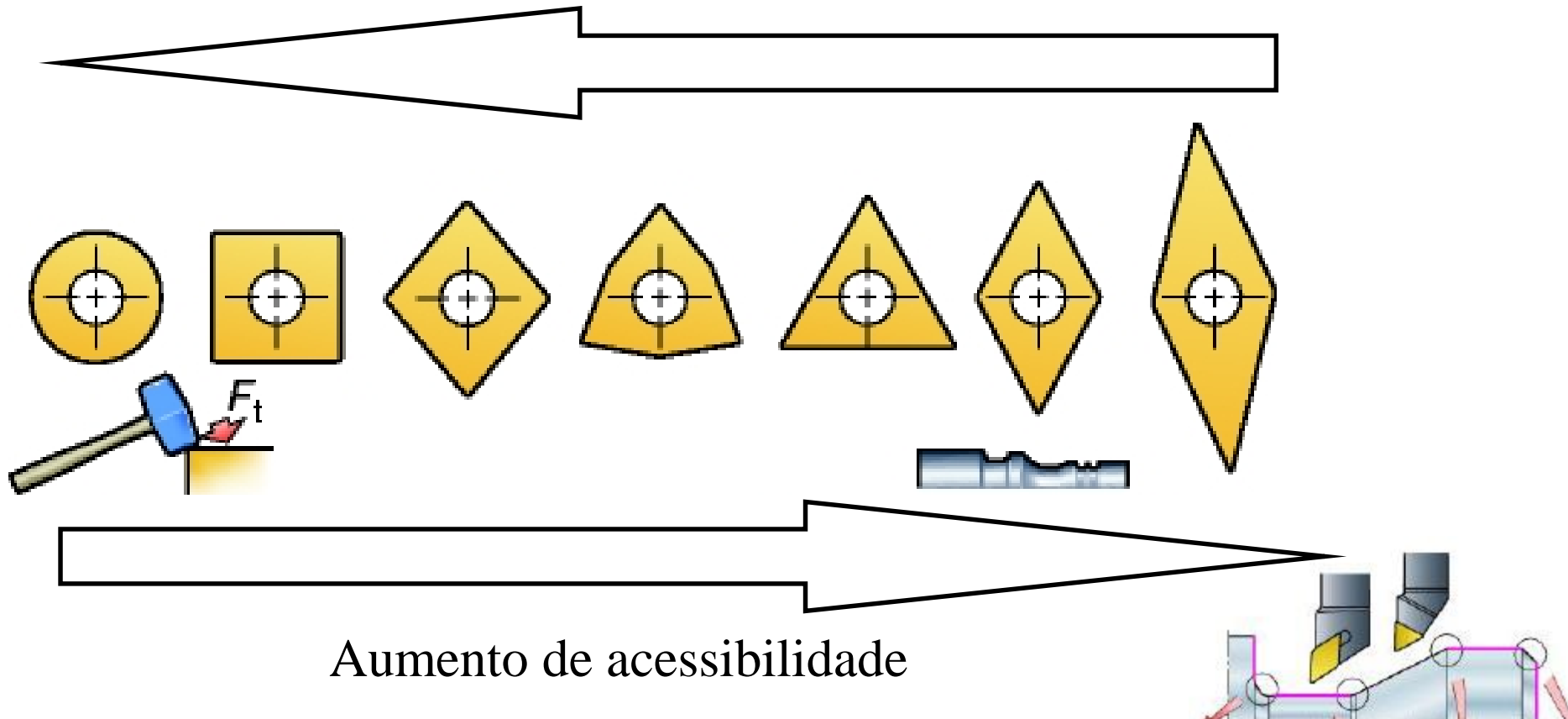
$$b = \frac{a_p}{\text{sen } \chi_r}$$

$$h = f \cdot \text{sen } \chi_r = \frac{A}{b}$$

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

GEOMETRIA EXTERNA

Aumento de resistência mecânica



TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

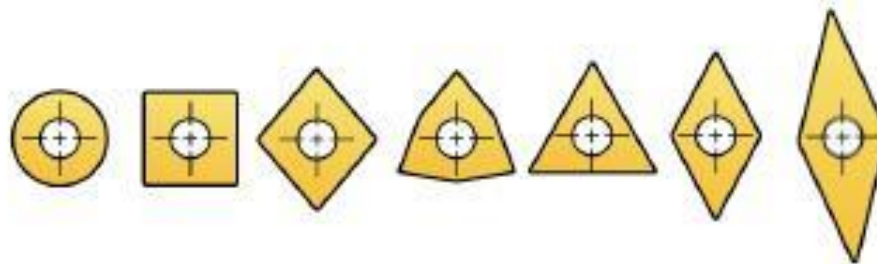
GEOMETRIA EXTERNA



TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

GEOMETRIA EXTERNA

Número de arestas utilizáveis



Forma básica	R	S	C	W	T	D	V
Duas faces	*) ∞	8	4	6	6	4	4
Uma face	∞	4	2	3	3	2	-
Positivo	∞	4	2	3	3	2	2

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

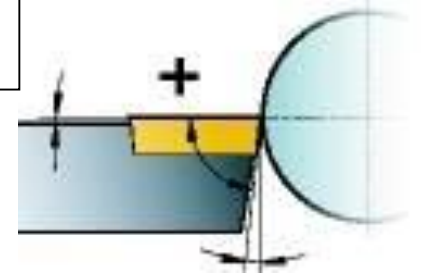
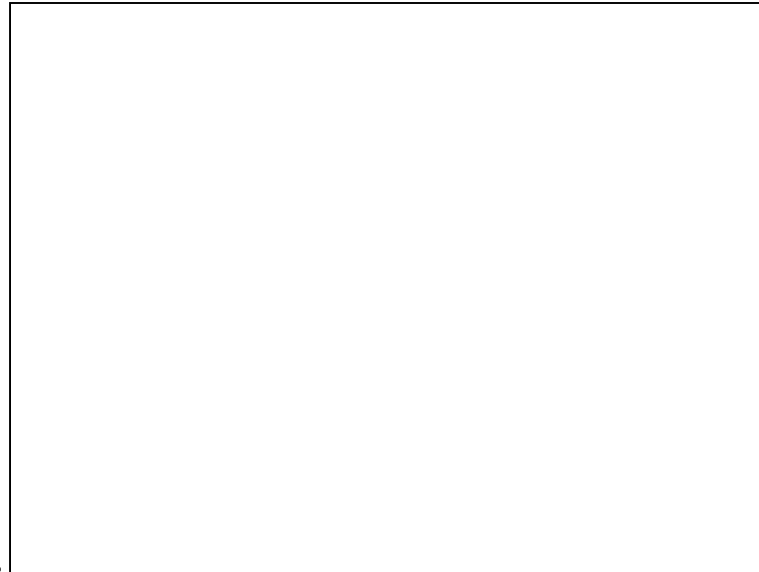
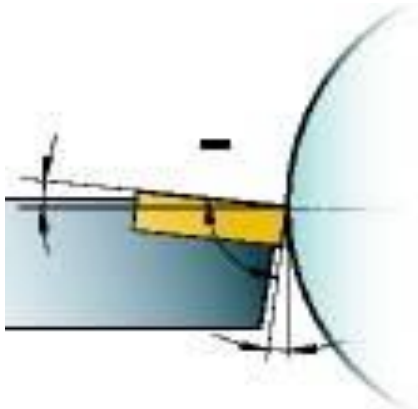
GEOMETRIA EXTERNA

Produtividade x inserto



TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

ÂNGULO DE SAÍDA



Insertos com dois lados
Alta resistência da cunha
Inserto sem ângulo de folga
Desbastes pesados

Insertos com um lado
Baixas forças e potência
Cortes de acabamento.

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

GEOMETRIA EXTERNA

Raio de ponta

Insertos negativos

Raio de ponta, mm	0.4	0.8	1.2	1.6	2.4
Max. recomendado mm/rev					
Acabamento	0.25	0.4	0.5	0.7	
Médio	0.3	0.5	0.6	0.8	(1.0)
Desbaste	0.3	0.6	0.8	1.0	1.5

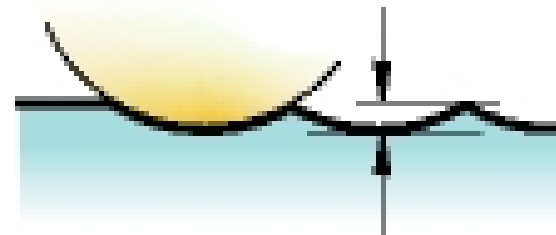
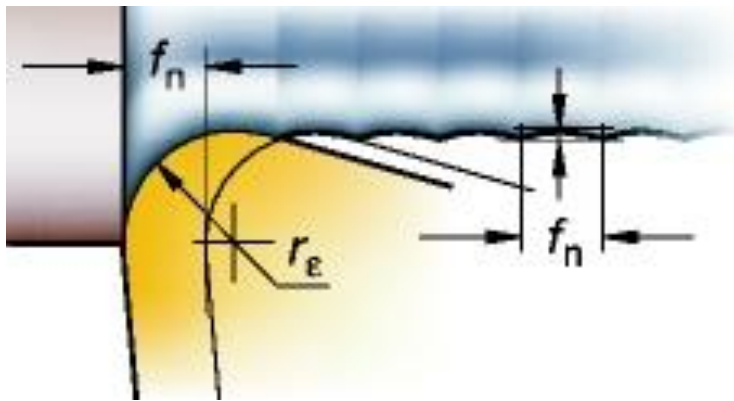
Insertos positivos

Raio de ponta, mm	0.2	0.4	0.8	1.2
Max. recomendado mm/rev				
Acabamento	0.10	0.2	0.3	0.4
Médio	0.15	0.3	0.4	0.5

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

GEOMETRIA EXTERNA

Raio de ponta



$$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \times r_e} \times 1000$$

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

Valores de referência para vel. corte-ângulo corte-força corte específico

Extrato - AWF 158



Os valores se referem ao corte seco com:

ferram. aço ráp. para vel. corte V_{60} (dur. ferram. 60min)

ferram. metal duro para vel. corte V_{240} (dur. ferram. 240min)

âng. posição $\chi = 45^\circ$, âng. ponta $\epsilon = 90^\circ$, âng. inclin. $\lambda = 0... 8^\circ$

p. metais leves, mat. sint. e prens. $\lambda = 5... 10^\circ$

Os valores de referência valem para profundidades de corte até 5mm, acima de 5mm a velocidade de corte é 10... 20% menor.

Para os valores de força de corte específica vale uma profundidade de corte de 2...10 vezes o avanço.

HSS - (*High Speed Steel*) aço rápido

MD - metal duro

METAIS FERROSOS

Material a ser usinado

Velocidade de corte (m/min.)

Fer

Avanço (s) em mm/rot.

0,1

0,2

0,4

0,8

1,6

AÇO CARBONO

com resistência até 500N/mm^2 (0,10% a 0,25% C)

HSS

-

60

45

34

25

MD

280

236

200

170

67

com resistência até 700 N/mm^2 (0,30% a 0,45% C)

HSS

-

44

32

24

18

MD

240

205

175

145

50

com resistência até 900 N/mm^2 (0,50% a 0,60% C)

HSS

-

32

24

18

13

MD

200

170

132

106

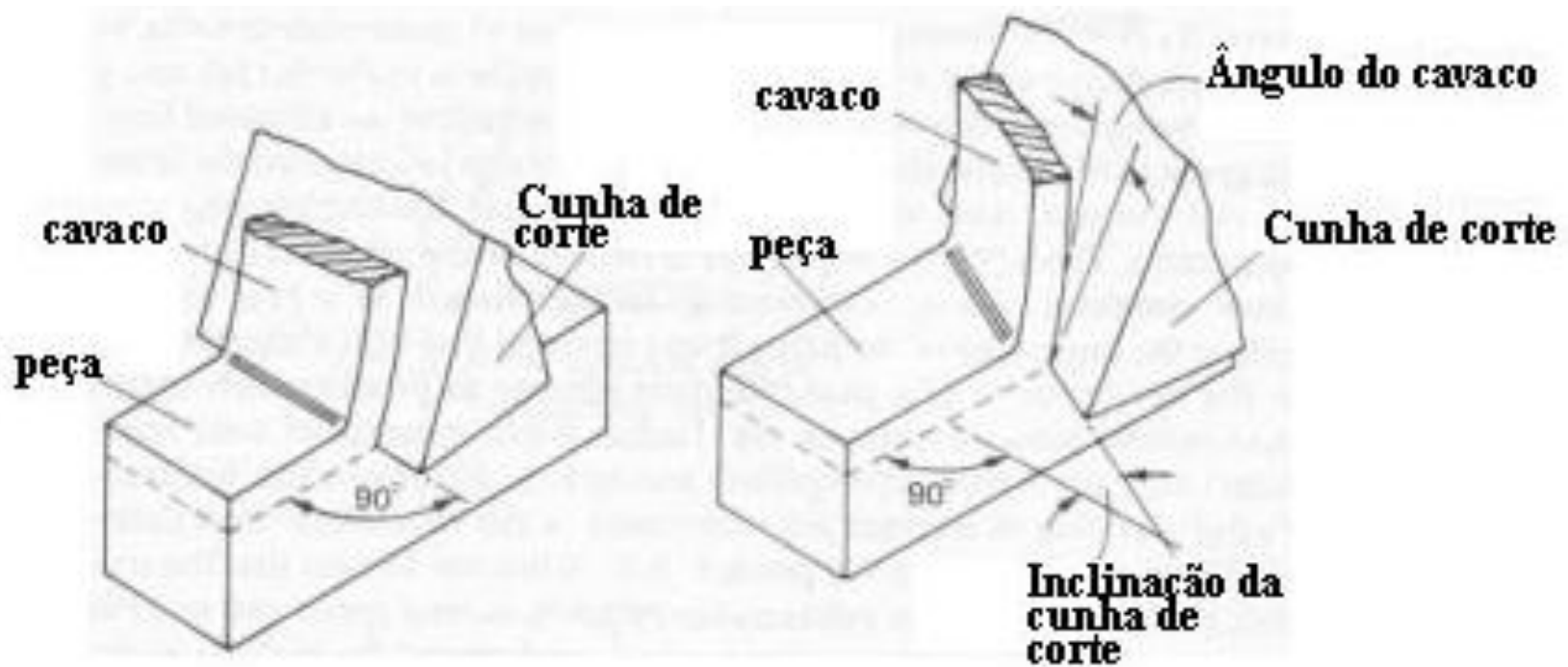
34

TORNEAMENTO - FERRAMENTAS

Material a ser usinado	Velocidade de corte (m/min.)					
	Fer	Avanço (s) em mm/rot.				
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
AÇO LIGA E AÇO FUNDIDO						
com resistência até 900N/mm ²	HSS	-	34	25	19	14
	MD	150	118	95	75	24
com resistência até 1250 N/mm ²	HSS	-	24	17	12	8,5
	MD	118	108	8,5	71	24
com resistência até 1500 N/mm ²	HSS	-	9	-	-	-
	MD	50	40	32	27	8,5
FERRO FUNDIDO						
(FC 100 a 150) com resistência até 150N/mm ²	HSS	-	48	28	20	14
	MD	140	118	95	80	67
(FC 100 a 250) com resistência até 250N/mm ²	HSS	-	43	27	18	13
	MD	125	90	75	63	53
FMP 55005 com resistência até 550N/mm ²	HSS	-	32	18	13	9,5
	MD	106	90	75	63	53
AÇO AO MANGANÊS	HSS	-	-	-	-	-
	MD	40	32	25	20	67
METAIS NÃO FERROSOS						
ALUMÍNIO						
Alumínio puro	HSS	400	300	200	118	75
	MD	1320	1120	950	850	710
Liga de 11 a 13% silício	HSS	100	67	45	30	-
	MD	224	190	160	140	118
COBRE						
Cobre, latão, com resistência até 200N/mm ²	HSS	-	125	85	56	36
	MD	600	530	450	400	355
BRONZE						
Bronze com resistência de 210 a 260 N/mm ²	HSS	-	63	53	43	34
	MD	355	280	236	200	180
Ligas de bronze, bronze fosforoso com resistência à tração de 260 a 300N/mm ²	HSS	-	85	63	48	36
	MD	500	450	375	335	300

FORMAÇÃO DE CAVACOS

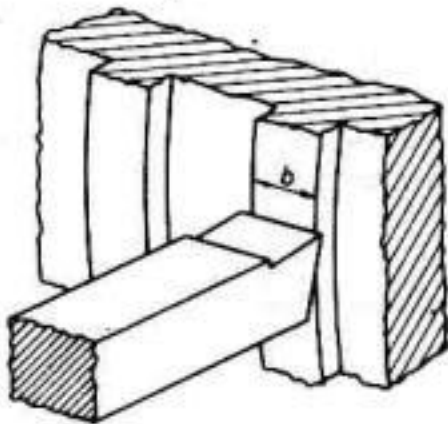
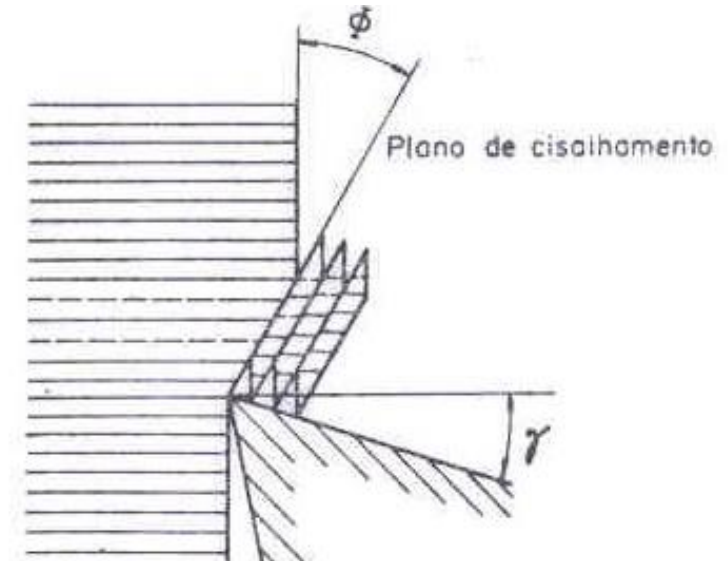
CORTE ORTOGONAL E OBLÍQUO



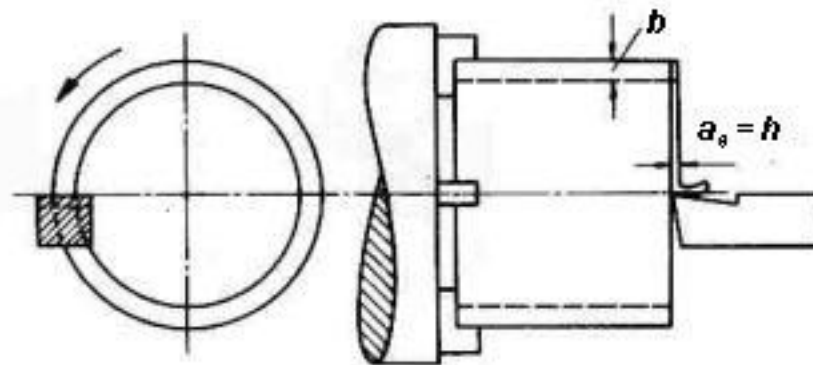
FORMAÇÃO DE CAVACOS

Modelo Teórico

Corte ortogonal



(a) Corte ortogonal de mergulho



(b) Corte ortogonal lateral

FORMAÇÃO DE CAVACOS

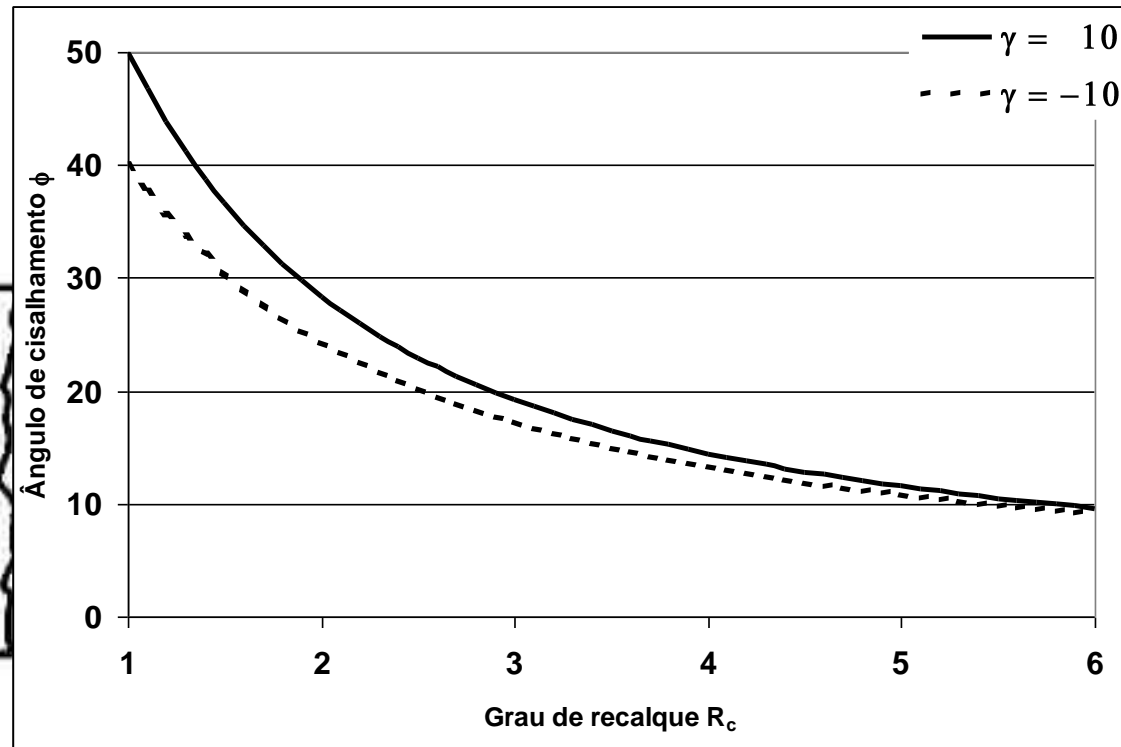
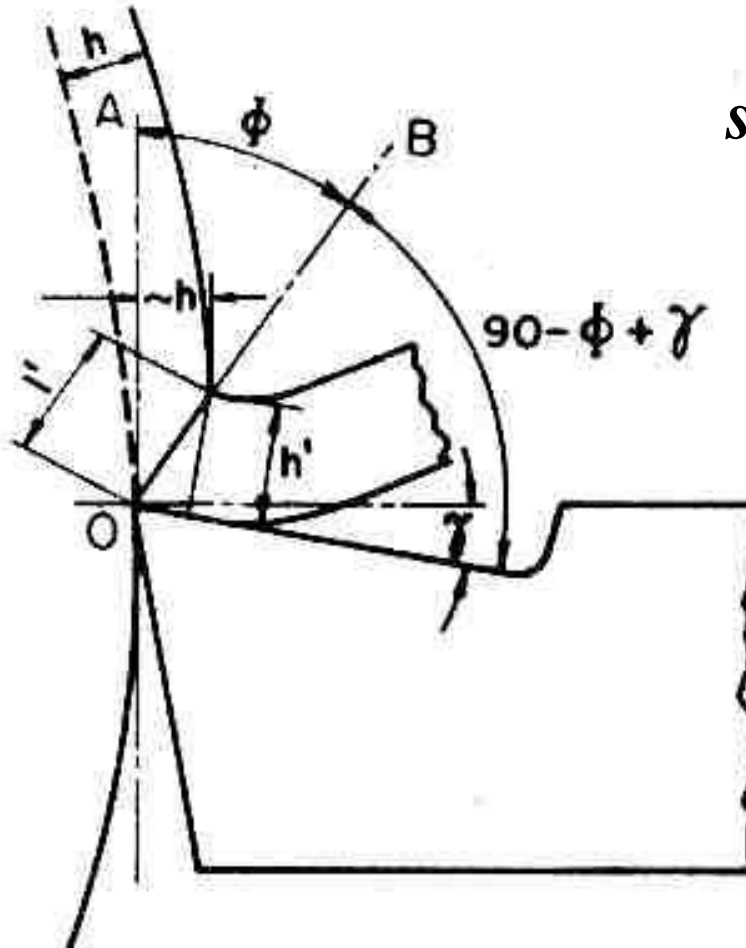
Modelo Teórico

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\cos \gamma}{R_c - \operatorname{sen} \gamma}$$

$$\operatorname{sen}(90 - \phi + \gamma) = \frac{h'}{l'}$$

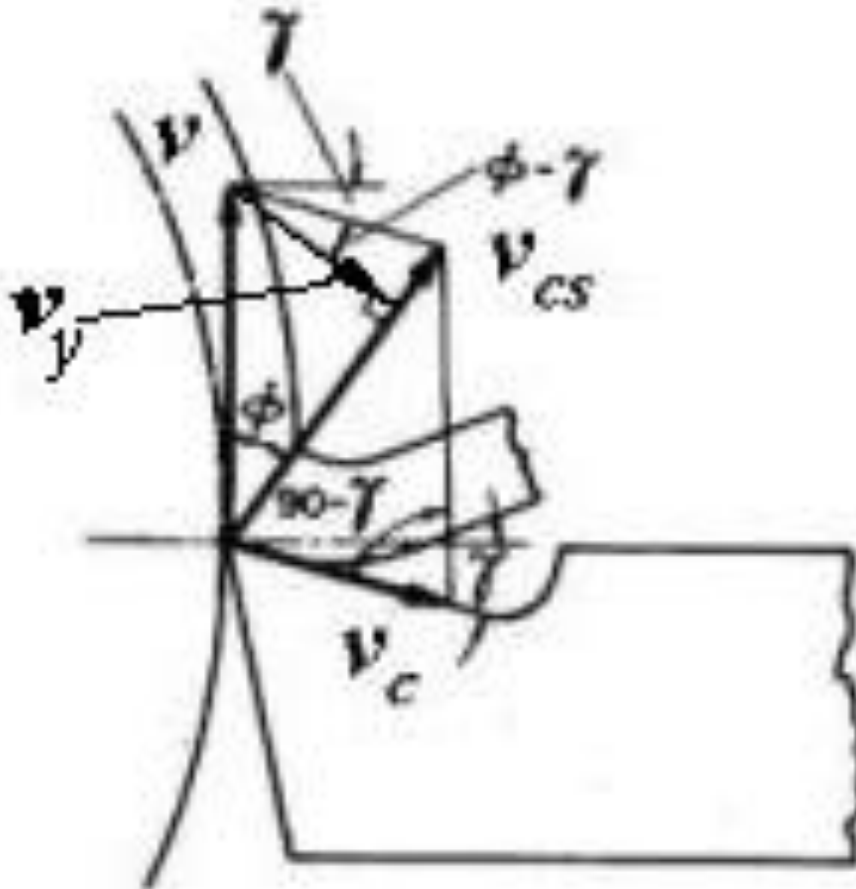
$$\operatorname{sen} \phi = \frac{h}{l'}$$

$$R_c = \frac{h'}{h}$$



FORMAÇÃO DE CAVACOS

Modelo Teórico



$$v_c = v \cdot \frac{\text{sen } \phi}{\text{cos}(\phi - \gamma)}$$

$$v_{cs} = v \cdot \frac{\text{cos } \gamma}{\text{cos}(\phi - \gamma)}$$

$$v_c = \frac{v}{R_c}$$

FORMAÇÃO DE CAVACOS

Tipos de cavaco



(a) Cavaco em fita



(b) Cavaco helicoidal



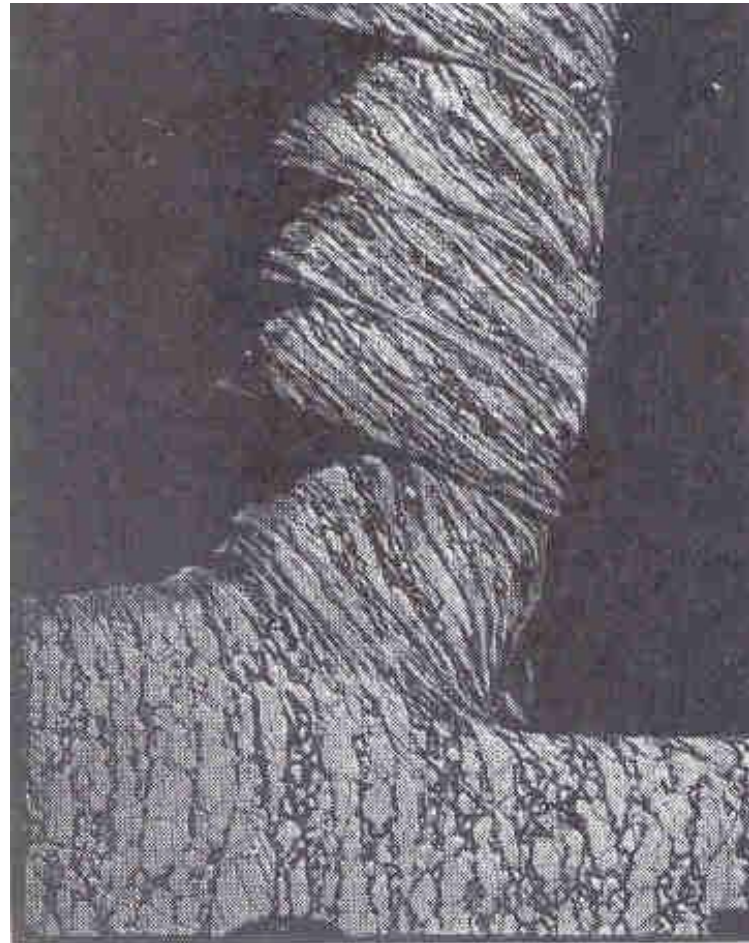
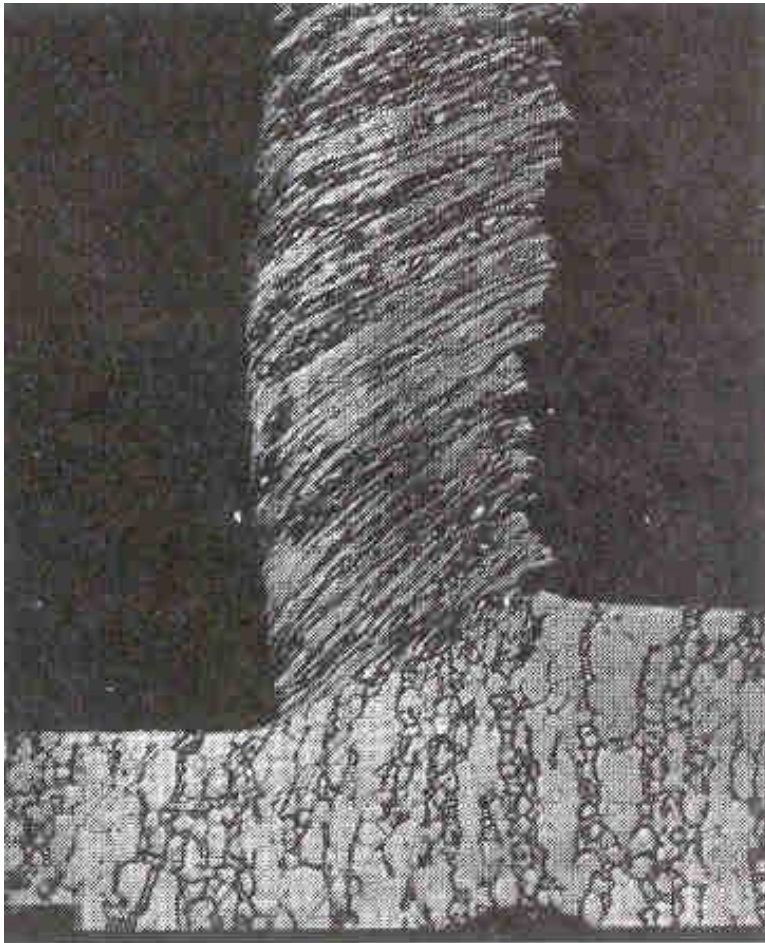
(c) Cavaco espiral



(d) Cavaco em lascas

FORMAÇÃO DE CAVACOS

Estudo da formação de cavacos



FORMAÇÃO DE CAVACOS

Forças na aresta de corte

$$F_T = F_U \cdot \text{sen } \rho$$

$$F_N = F_U \cdot \text{cos } \rho$$

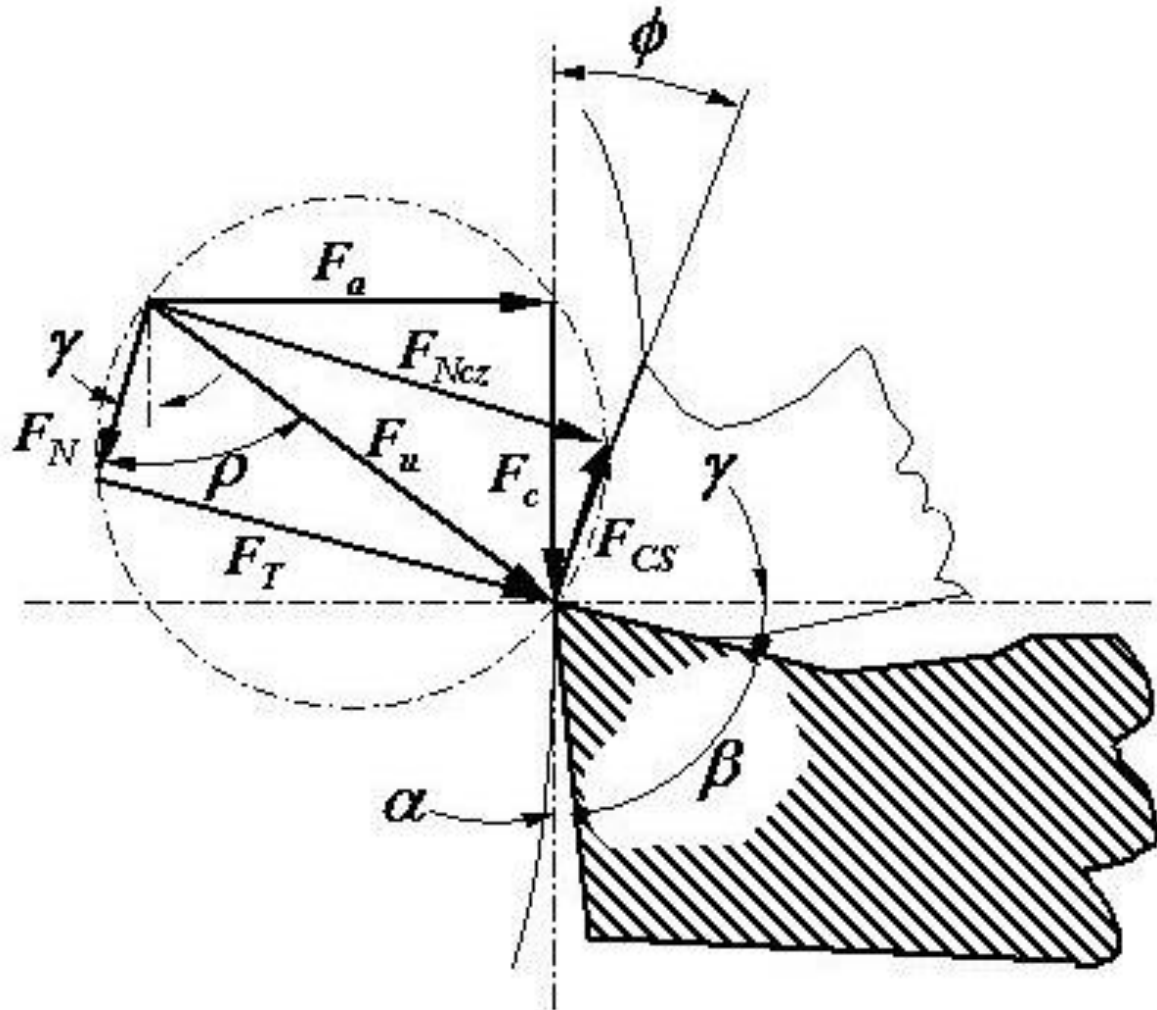
$$F_C = F_U \cdot \text{cos}(\rho - \gamma)$$

$$F_f = F_U \cdot \text{sen}(\rho - \gamma)$$

$$F_{CS} = F_U \cdot \text{cos}(\phi + \rho - \gamma)$$

$$F_{NCS} = F_U \cdot \text{sen}(\phi + \rho - \gamma)$$

$$\tau = \frac{F_T}{F_N} = \text{tg } \rho$$



FORMAÇÃO DE CAVACOS

Ângulo do plano de cisalhamento:

Teoria de Ernst e Merchant

$$E = v_c \cdot F_c \cdot t \qquad F_c = F_{cs} \frac{\cos(\rho - \gamma)}{\cos(\phi + \rho - \gamma)} \qquad F_c = \frac{\tau_{cs} \cdot S \cdot \cos(\rho - \gamma)}{\sin \phi \cos(\phi + \rho - \gamma)}$$

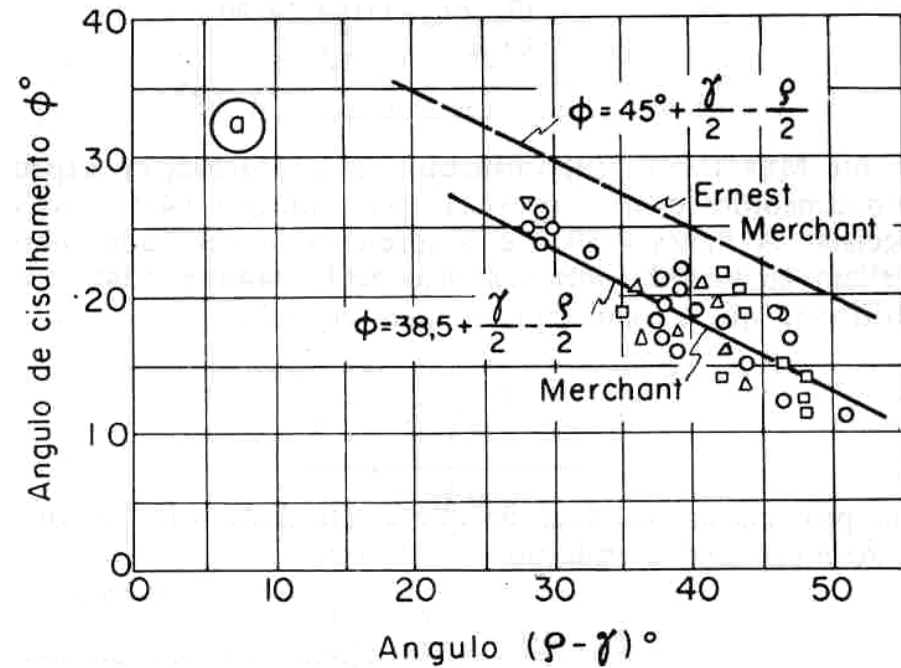
$$\frac{dF_c}{d\phi} = \tau_{cs} \cdot S \cdot \cos(\rho - \gamma) \cdot \left[\frac{\cos \phi \cdot \cos(\phi + \rho - \gamma) - \sin \phi \cdot \sin(\phi + \rho - \gamma)}{\sin^2 \cdot \cos^2(\phi + \rho - \gamma)} \right]$$

$$\frac{dF_c}{d\phi} = \tau_{cs} \cdot S \cdot \cos(\rho - \gamma) \cdot \left[\frac{\cos(2\phi + \rho - \gamma)}{\sin^2 \cdot \cos^2(\phi + \rho - \gamma)} \right]$$

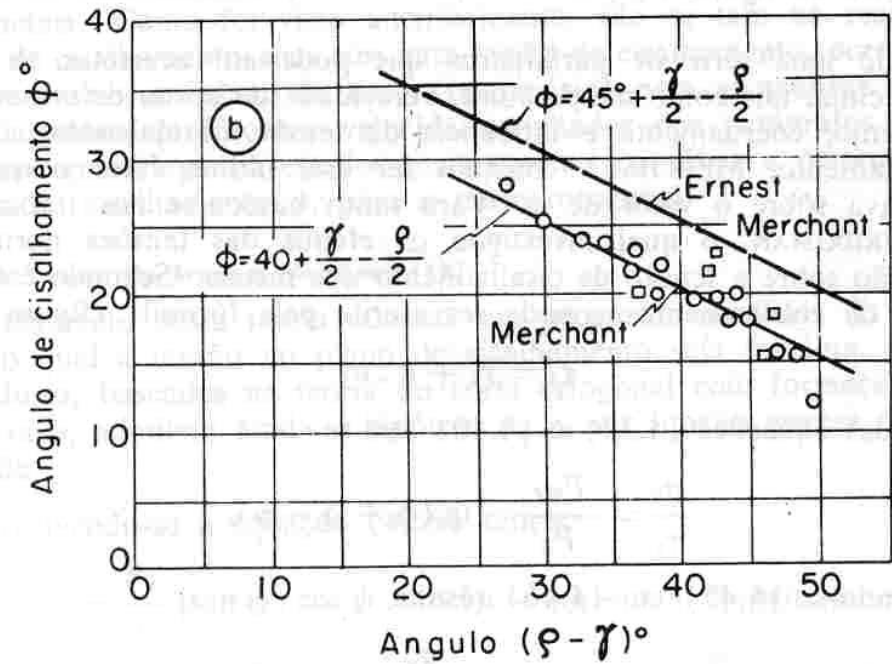
$$\cos(2\phi + \rho - \gamma) = 90^\circ \Leftrightarrow \boxed{\phi = 45^\circ + \frac{\rho}{2} - \frac{\gamma}{2}}$$

FORMAÇÃO DE CAVACOS

Ângulo do plano de cisalhamento: Teoria de Ernst e Merchant



Aço ABNT 9445



Aço ABNT 4340

FORMAÇÃO DE CAVACOS

Ângulo do plano de cisalhamento:

Outras teorias

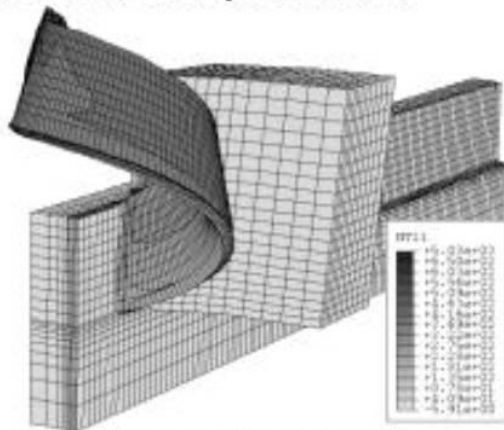
$$\phi = 45^{\circ} - \rho + \gamma + \eta$$

Shaw, Cook e Finnie

$$\phi = \varphi + \gamma - \frac{1}{2} \arctg(2\mu)$$

Hucks

Simulações usando FEM



FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

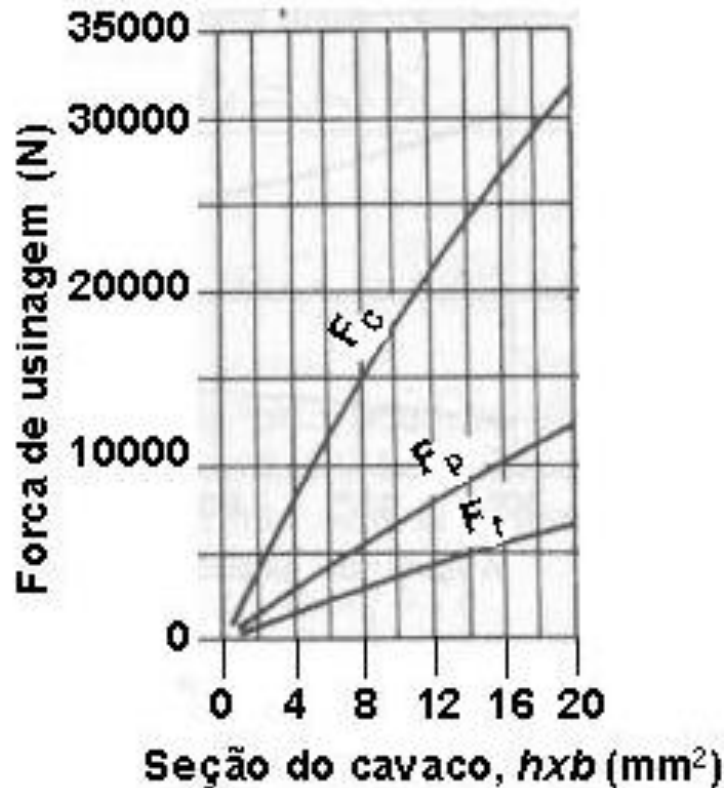
Potência de usinagem em torneamento

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60000}$$

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{60 \times 10^{-6}}$$

$$P_{mc} = \frac{P_c}{\eta_c}$$

$$P_{mf} = \frac{P_f}{\eta_f}$$



$$F_c : F_p : F_f \approx 4,5 : 2,5 : 1$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Cálculo teórico das componentes da força de usinagem em torneamento

Determinação teórica da pressão específica de corte em torneamento.

KIENZLE

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{-z}$$

$$F_C = k_s \cdot h \cdot b = (k_{s1} \cdot h^{-z}) \cdot h \cdot b \rightarrow F_C = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$$

$$F_f = k_{f1} \cdot h^{1-x} \cdot b$$

$$F_p = k_{p1} \cdot h^{1-y} \cdot b$$

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Material: ABNT 1020					Tratamento: Estado bruto de laminação (Normalizado)			Similar DIN: Ck 20			Fls. 2		
Análise química (%)						Características Mecânicas						$P_c = k_{s1} \cdot h^{1-z} \cdot b$ $P_a = k_{a1} \cdot h^{1-x} \cdot b$ $P_p = k_{p1} \cdot h^{1-y} \cdot b$ $h = a \cdot \text{sen } \alpha$ $b = p / \text{sen } \alpha$	
C	Si	Mn	P	S		Limite de resistência σ_t	463	N/mm ²					
0,19	-	0,43	0,015	0,013		Limite de escoamento σ_e	224	N/mm ²					
						Alongamento ($l_0=5d_0$) δ	27	%					
						Estricção γ	60,4	%					
						Dureza	129	HB					
Características para cálculo da força de usinagem P_c, P_a, P_p													
Material Ferramenta	Geometria da Ferr.						Velocidade de corte m/min	k_{s1} N/mm ²	$1-z$	k_{a1} N/mm ²	$1-x$	k_{p1} N/mm ²	$1-y$
	γ	α	λ	χ	ϵ	r mm							
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	50	1480	0,790	420	0,420	350	0,420
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	100	1400	0,807	350	0,400	330	0,450
MD P20	6	8	5	60	90	1,0	150	1340	0,810	320	0,430	280	0,430

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE

Calcular as forças de Corte, avanço, passiva e a potência de corte

Operação: torneamento cilíndrico externo

$$\chi = 90^\circ,$$

$$\alpha = 6^\circ,$$

$$\gamma = 10^\circ,$$

Metal duro (MD),

$$a_p = 2,0 \text{ mm},$$

$$f = 0,5 \text{ mm/rev},$$

ABNT 1060,

$$\phi = 250,0 \text{ mm},$$

$$v_c = 50 \text{ m/min}.$$

