



SEM 0560 Processos de Fabricação por Usinagem

Professor:

Alessandro Roger Rodrigues

Renato Goulart Jasinevicius



Processos de Fabricação por Usinagem

Aula Processo: Torneamento

Definições

Tornos e partes componentes dos tornos

Máquinas para produção

O Processo e as Operações de Torneamento

Sequências de operações

Cinemática do Processo

Geometria das Ferramentas de Torneamento

Parâmetros de Corte

Condição de operação

Introdução

Qual a semelhança entre as peças apresentadas?





Processo: Torneamento

Definições:

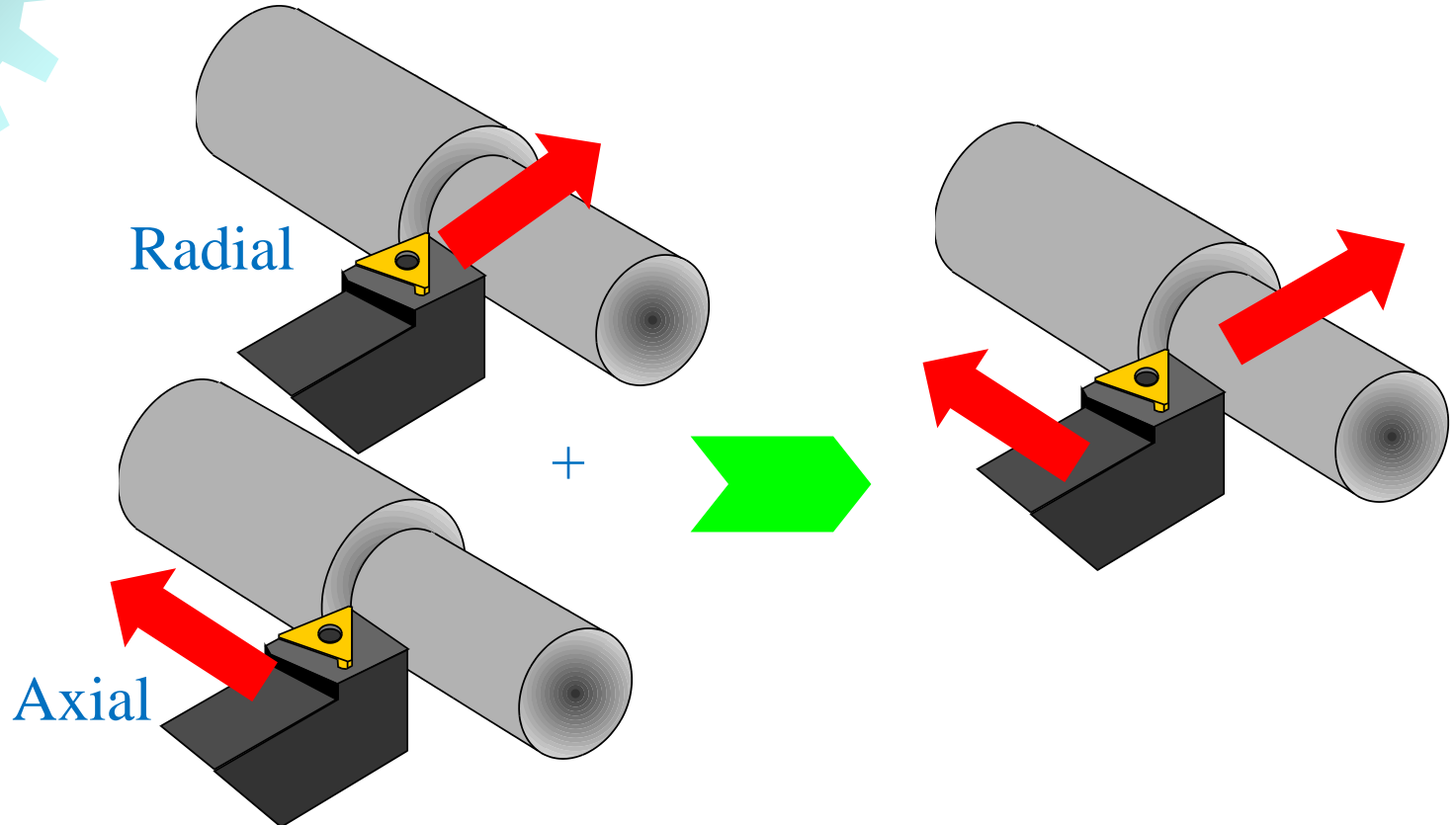
Torneamento pode ser definido como um processo mecânico de usinagem, destinado à obtenção de superfícies de revolução com o auxílio de uma ou mais ferramentas monocortantes.

Torneamento é o processo de usinagem para superfícies cilíndricas externas e cônicas com uma ferramenta com geometria monocortante.

O processo usa uma máquina ferramenta denominada Torno.

Processo: Torneamento

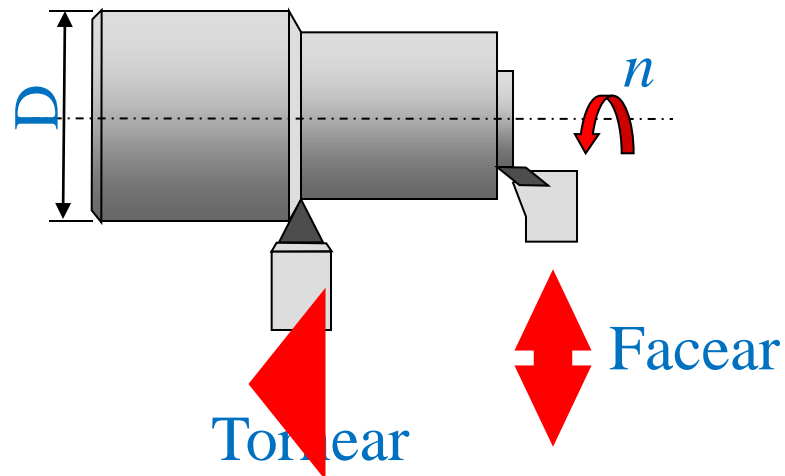
- A peça é rotacionada em um eixo (spindle) e a ferramenta é avançada radialmente, axialmente ou simultaneamente em ambas direções, para gerar a superfície desejada.



Processo: Torneamento

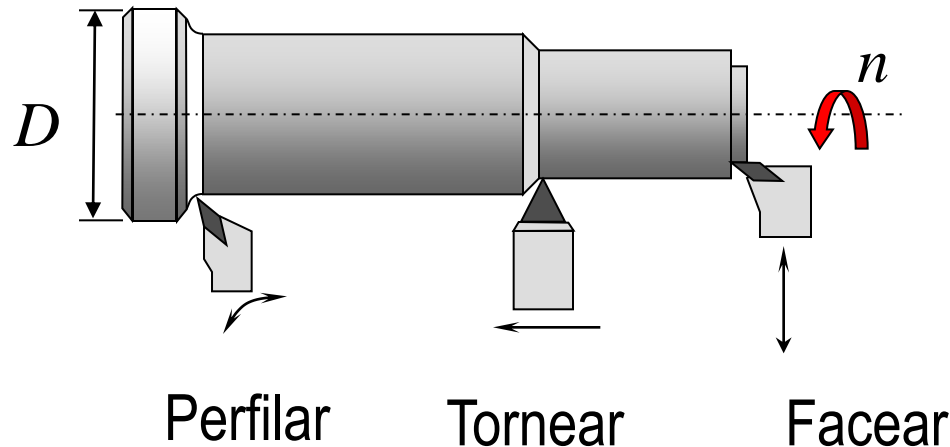
Mais especificamente a ferramenta é aplicada para geração de superfície cilíndricas externas orientada preferencialmente paralela ao eixo da peça.

A geração de superfície orientadas preferencialmente perpendicular ao eixo da peça é denominado faceamento



Processo: Torneamento

- No torneamento a direção do movimento de avanço é predominantemente axial com relação ao eixo de rotação da máquina (eixo árvore ou *spindle*).
- No faceamento, o avanço radial é o movimento predominante.
- Superfícies chanfradas ou perfiladas exigem os dois modos de avanço simultaneamente, denominado de perfilamento.



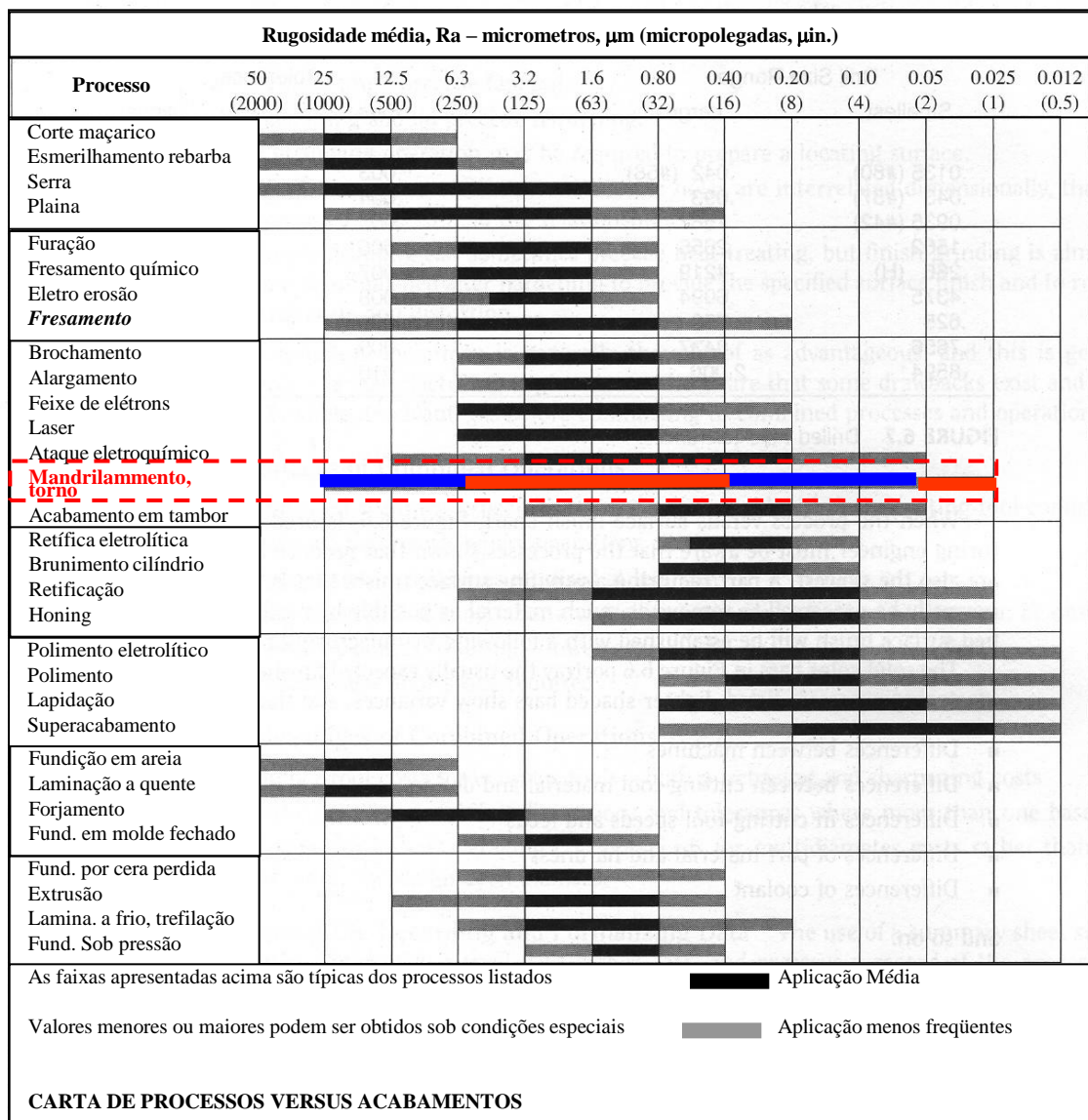


Processo: Torneamento

Operações de torneamento

- Ferramenta monocortante;
- Ferramenta fixa em suporte e peça rotacional;
- Velocidade de corte constante na operação cilíndrica e variável na operação de faceamento

Acabamento no Processo de Torneamento



Rugosidade Ra (μm)	Graduação de Rugosidade
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Tolerâncias Processo de Torneamento



Diâmetro < 25,4 : 13 – 25 μm (IT6-IT7)

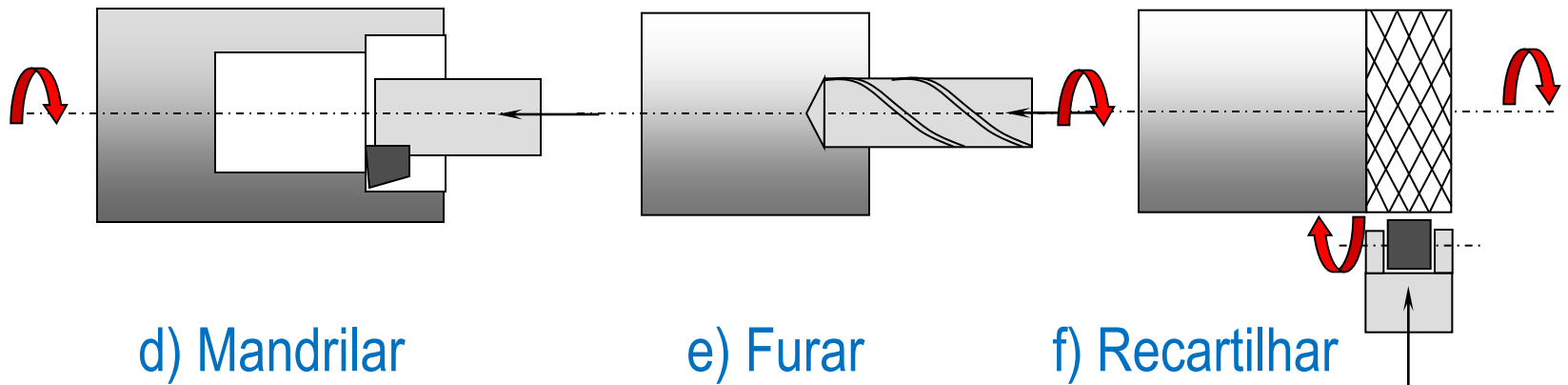
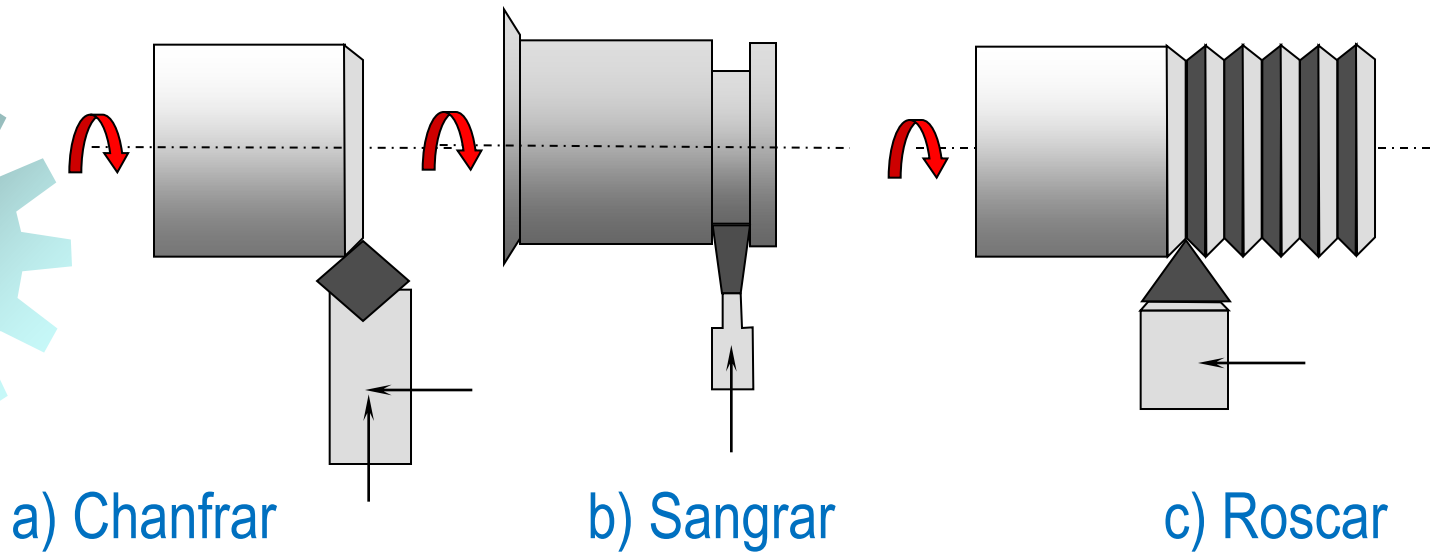
25,4 < Diâmetro < 50,8 : 50 μm (IT8-IT9)

Diâmetro > 50,8 : 75 – 125 μm (IT10)

Tolerâncias de furação
geralmente expressas como
intervalos (por exemplo :
+0.127/-0,0254).

		± Tolerâncias						
		0,013 mm	0,025 mm	0,050 mm	0,075 mm	0,125 mm	0,250 mm	1,250 mm
Torneamento, mandrilamento								
Diâmetro , < 25,4 mm								
25,4 < Diâmetro < 50,8 mm								
Diâmetro > 50,8 mm								
Furação								
Diâmetro , < 0,254 mm								
2,54 ≤ Diâmetro < 6,35 mm								
6,35 ≤ Diâmetro < 12,7 mm								
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm								
Diâmetro > 25,4 mm								
Alargamento								
Diâmetro , < 12,7 mm								
12,7 ≤ Diâmetro ≤ 25,4 mm								
Diâmetro > 25,4 mm								
Fresamento								
Periférico								
Face								
Topo ou Frontal								
Chavetamento								
Aplainamento								
Brochamento								
Serrar								

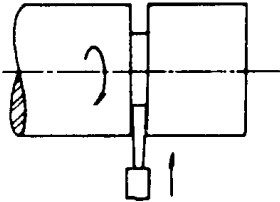
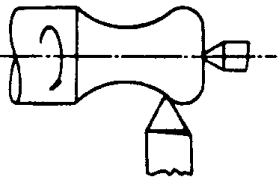
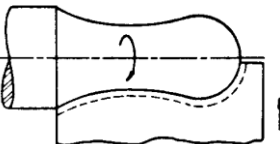
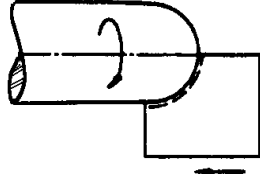
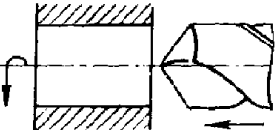
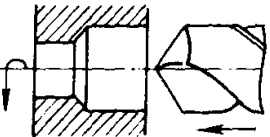
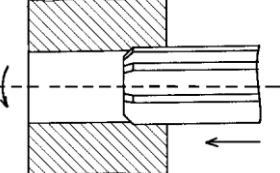
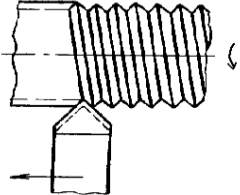
Operações realizadas no Torneamento



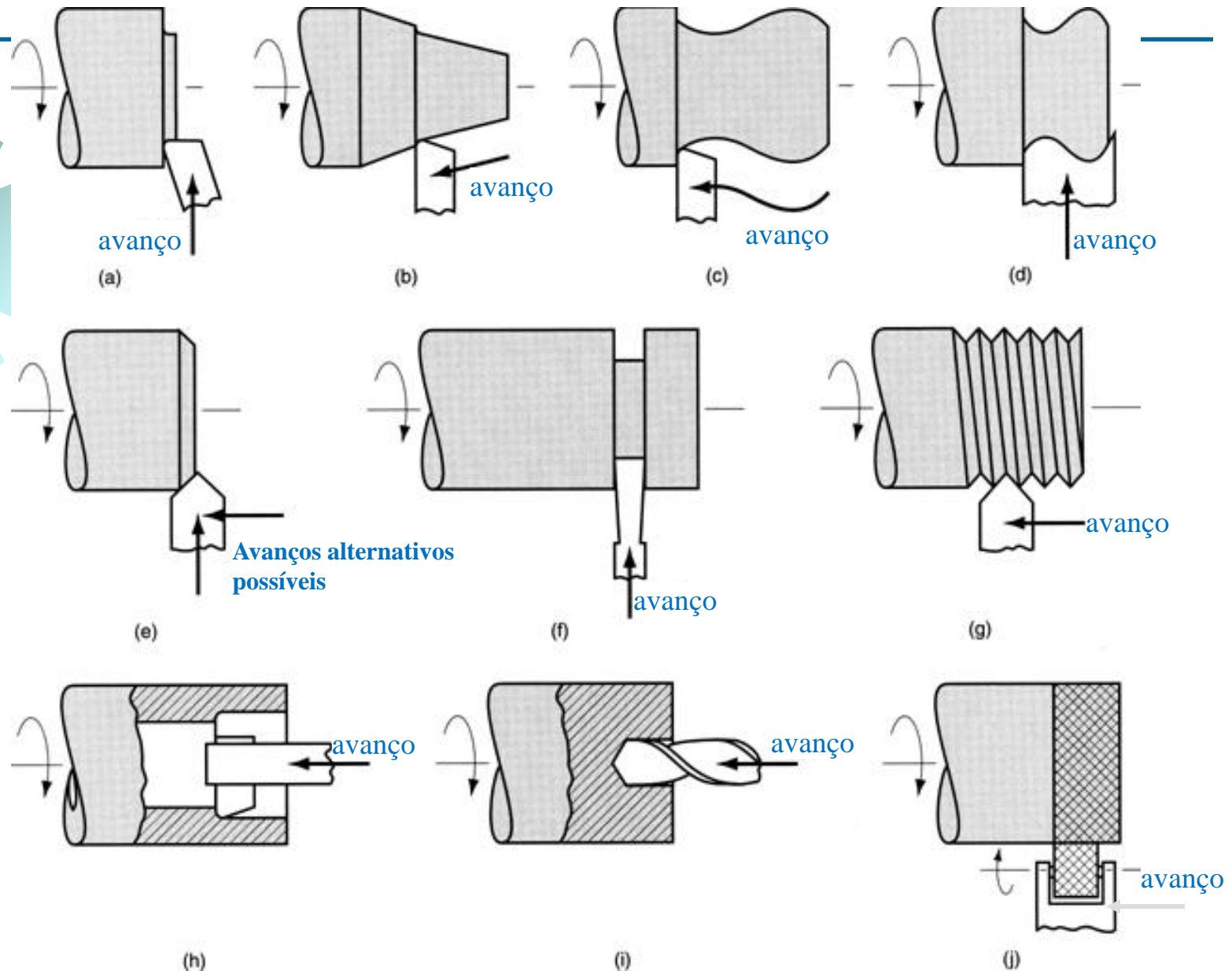
Operações de Torneamento

Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema	Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema
a - Torneamento Cilíndrico Externo com ferramenta reta		b - Torneamento Cilíndrico Interno ou Mandrilamento com um bit fixado em uma barra	
c - Torneamento Cônico Externo com ferramenta reta		d - Torneamento Cônico Interno com barra de mandrilar	
e - Torneamento de Faceamento com peça presa na placa ou entre centros		f - Sangramento Radial Externo com ferramenta de sangramento externo	
g - Sangramento Radial Interno com ferramenta de sangramento interno		h - Sangramento Axial com ferramenta de sangramento axial	

Operações de Torneamento

Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema	Operações de Torneamento e Ferramentas Usadas	Esquema
i - Corte com uma ferramenta bedame		j - Torneamento Curvilíneo com ferramenta reta de ponta arredondada	
k - Perfilamento Radial com ferramenta de forma		m - Perfilamento Axial com ferramenta de forma	
n - Furação com broca helicoidal		o - Alargamento de um furo com broca helicoidal	
p - Alargamento de um furo com alargador		q - Roscamento Exter-no com ferramenta de roscar de ponta única	

Componente do Avanço em Operações de Torneamento





EXEMPLOS DE ALGUMAS SEQUÊNCIAS DE OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO

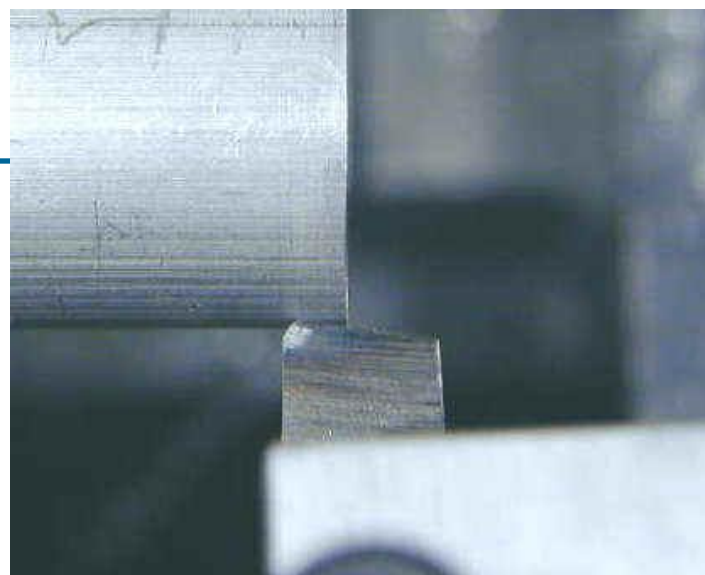


TORNEAMENTO CILÍNDRICO EXTERNO

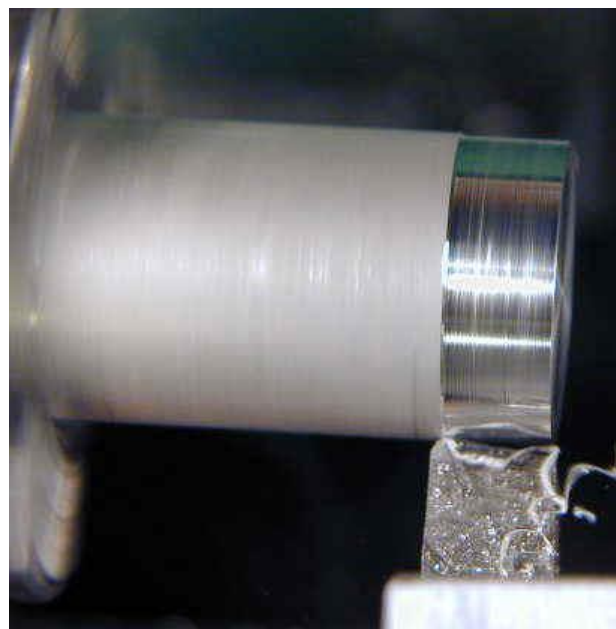
Fixação da peça



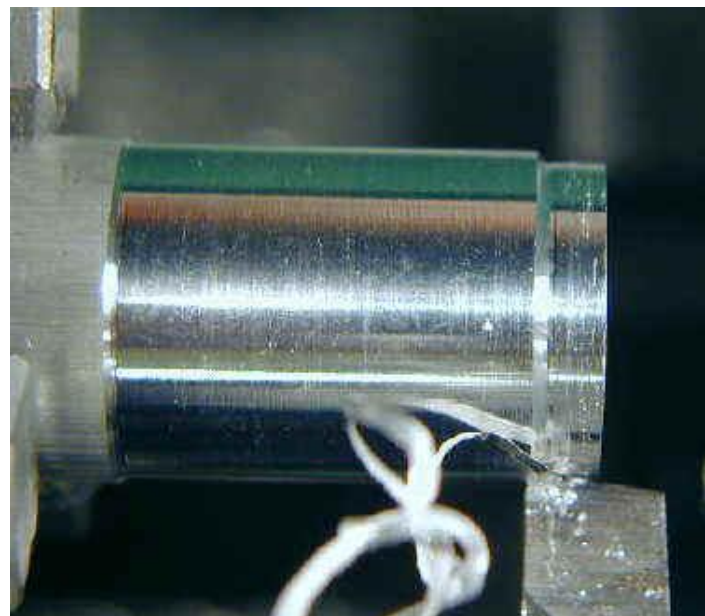
Ajuste da Ferramenta



Primeiro Passe



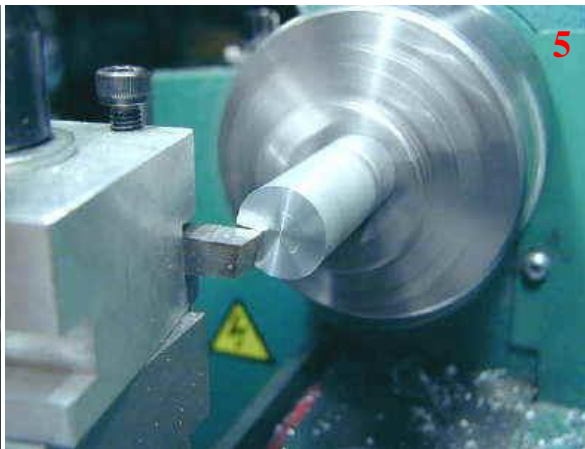
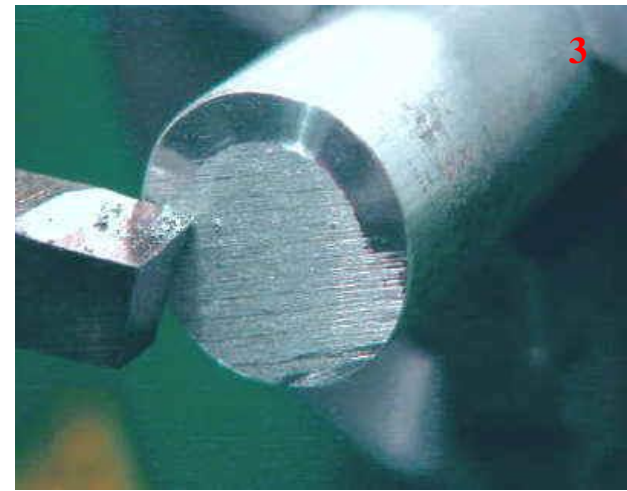
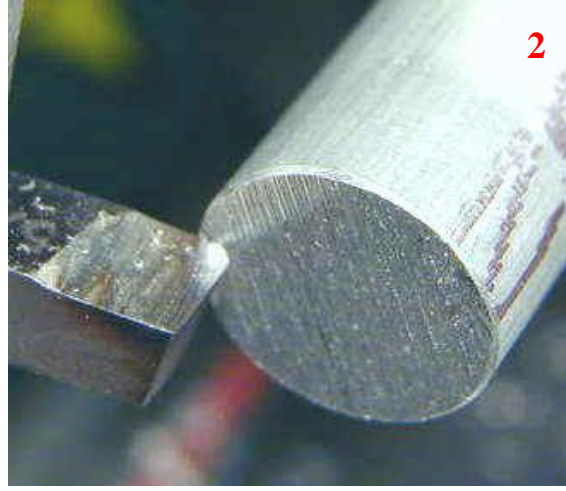
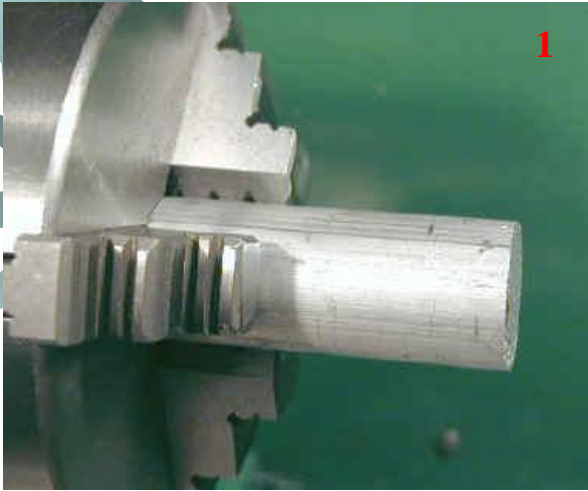
Segundo Passe





TORNEAMENTO DE FACEAMENTO

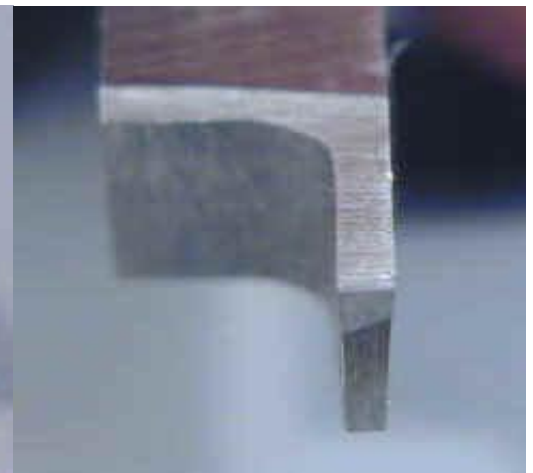
Seqüência de uma Operação de Faceamento

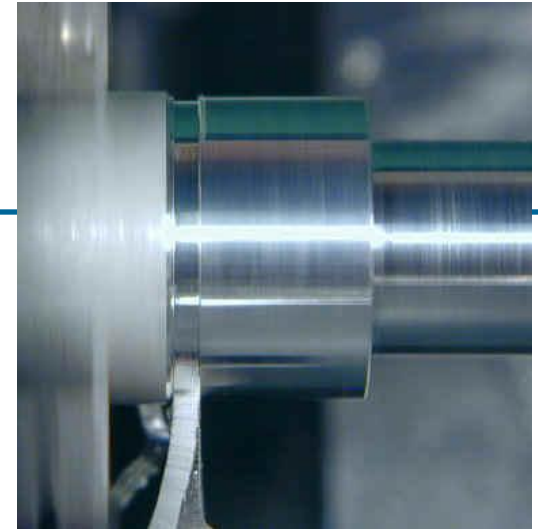
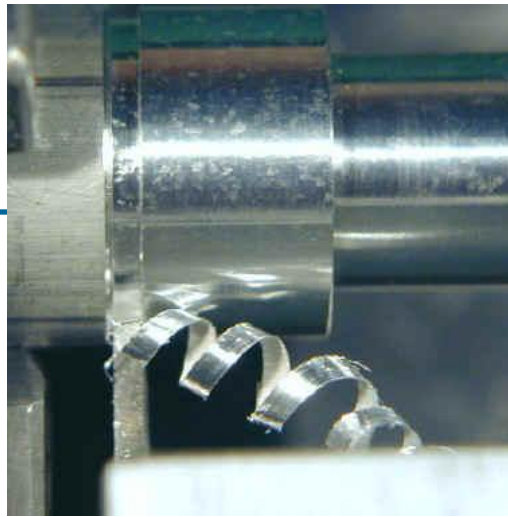
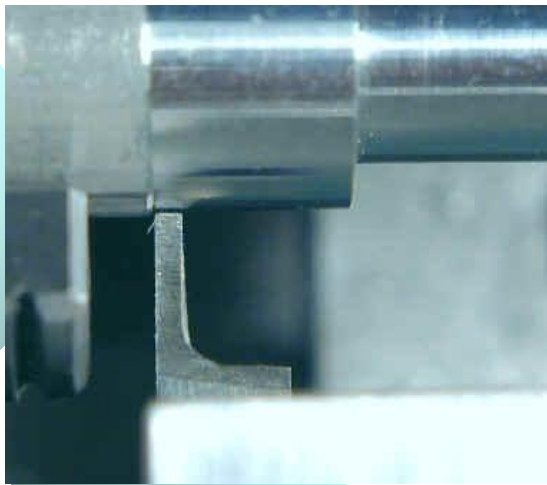




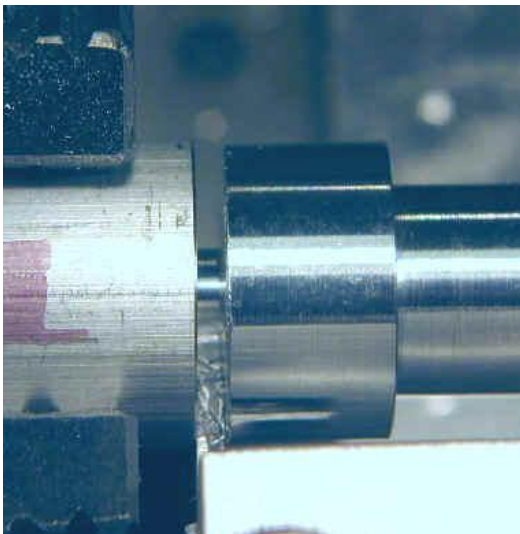
TORNEAMENTO DE CORTE E SANGRAMENTO

Operação de Corte e Sangramento





Sequência de Corte

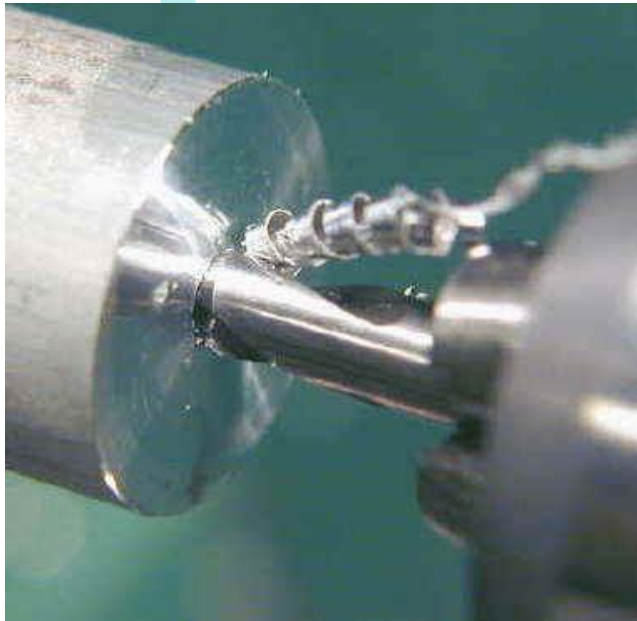




OPERAÇÃO DE FURAÇÃO



Seqüência de Furação

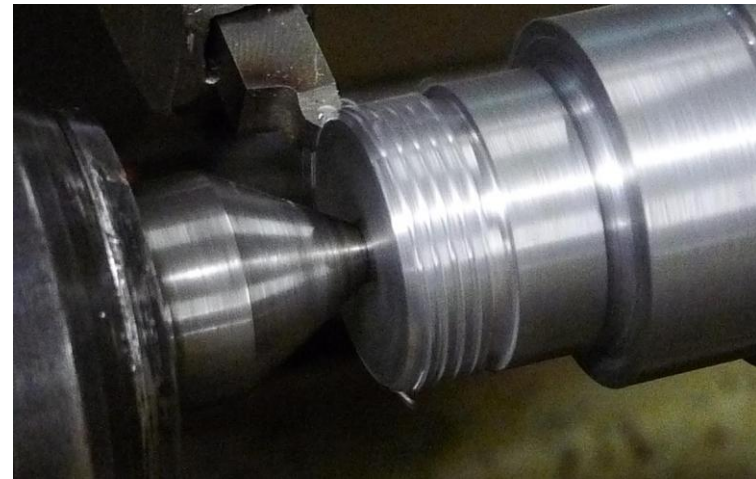
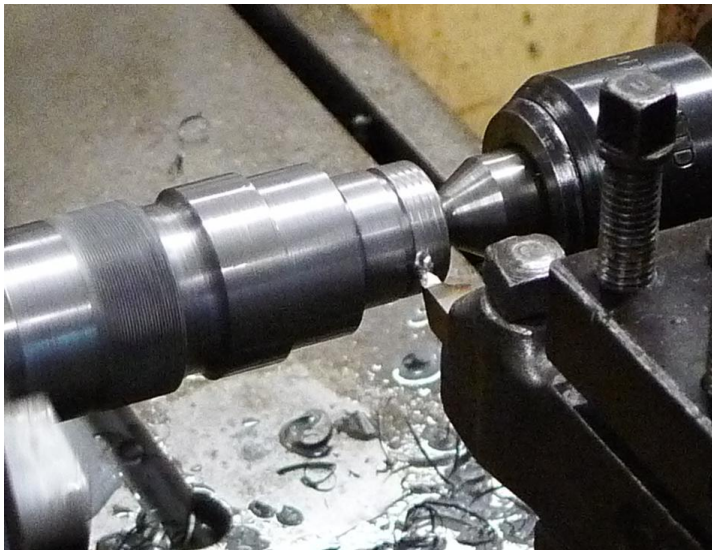
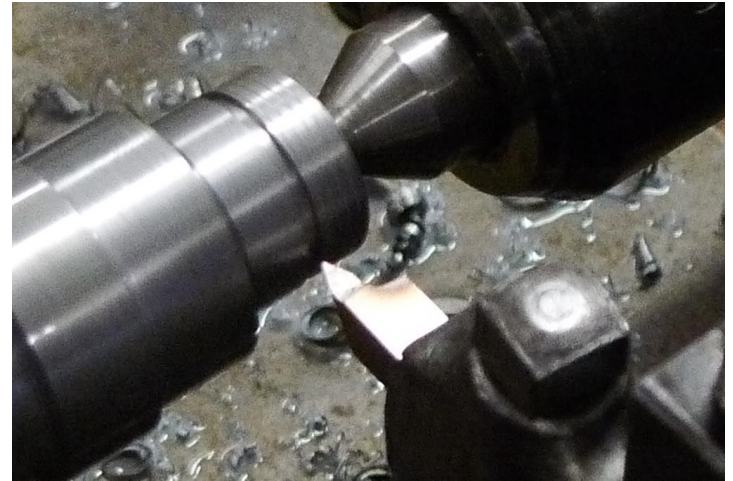




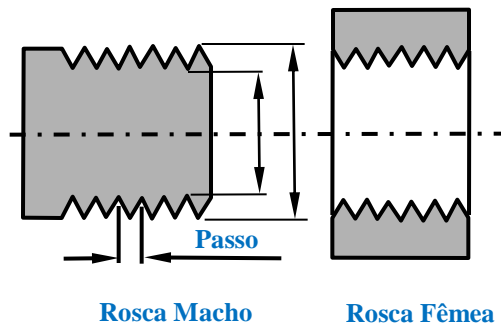
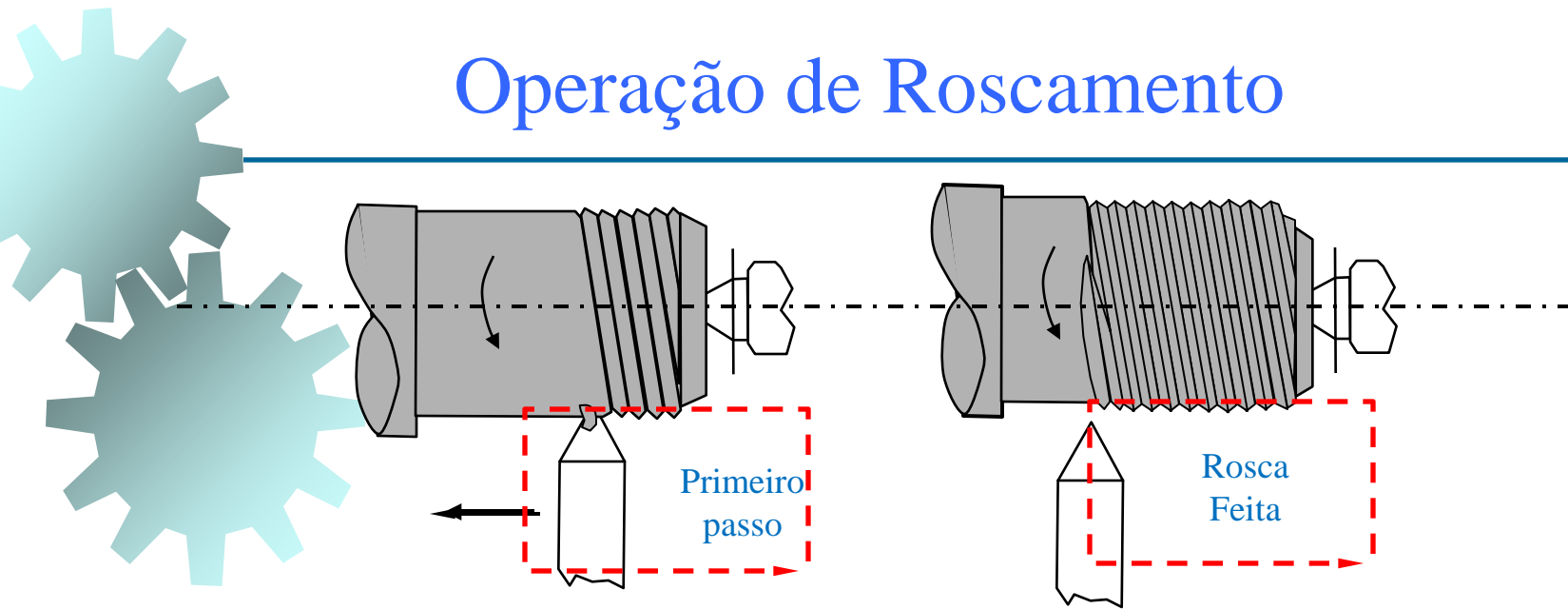
Operação de Fabricação de rosca



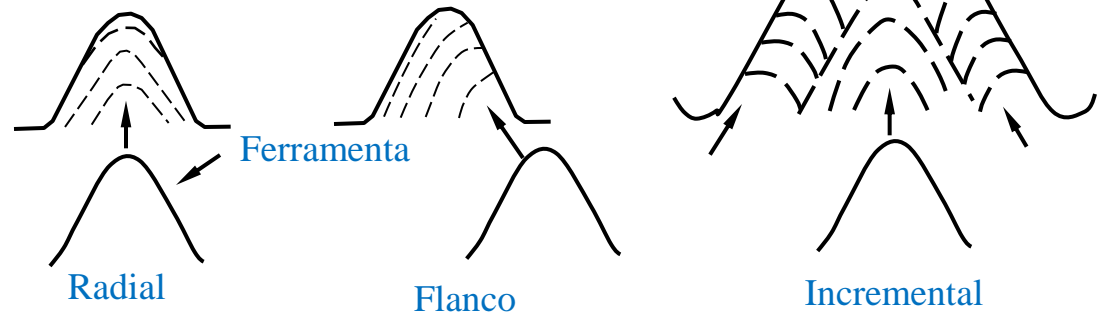
Operação de Roscamento



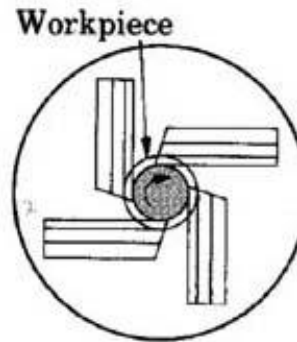
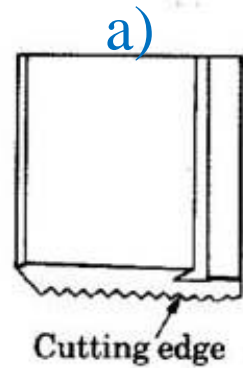
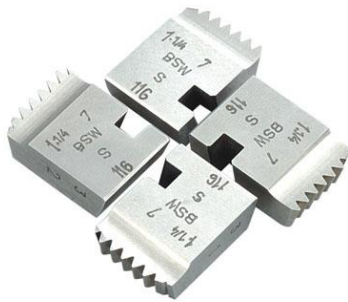
Operação de Roscamento



Estratégias de corte dos Filetes



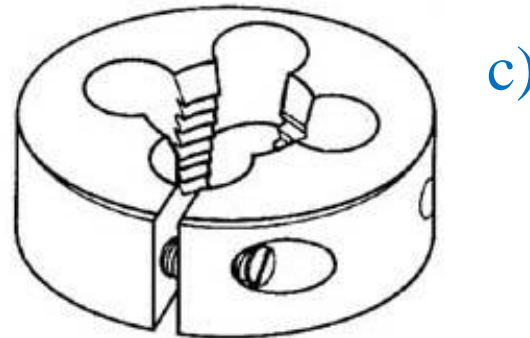
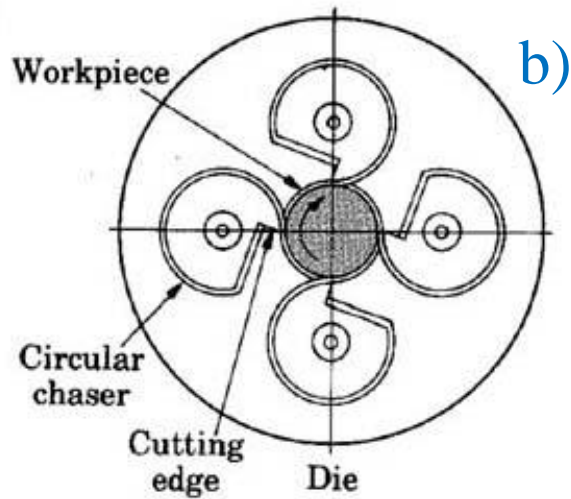
Operação de Roscamento



a) Pente reto de abrir rosca

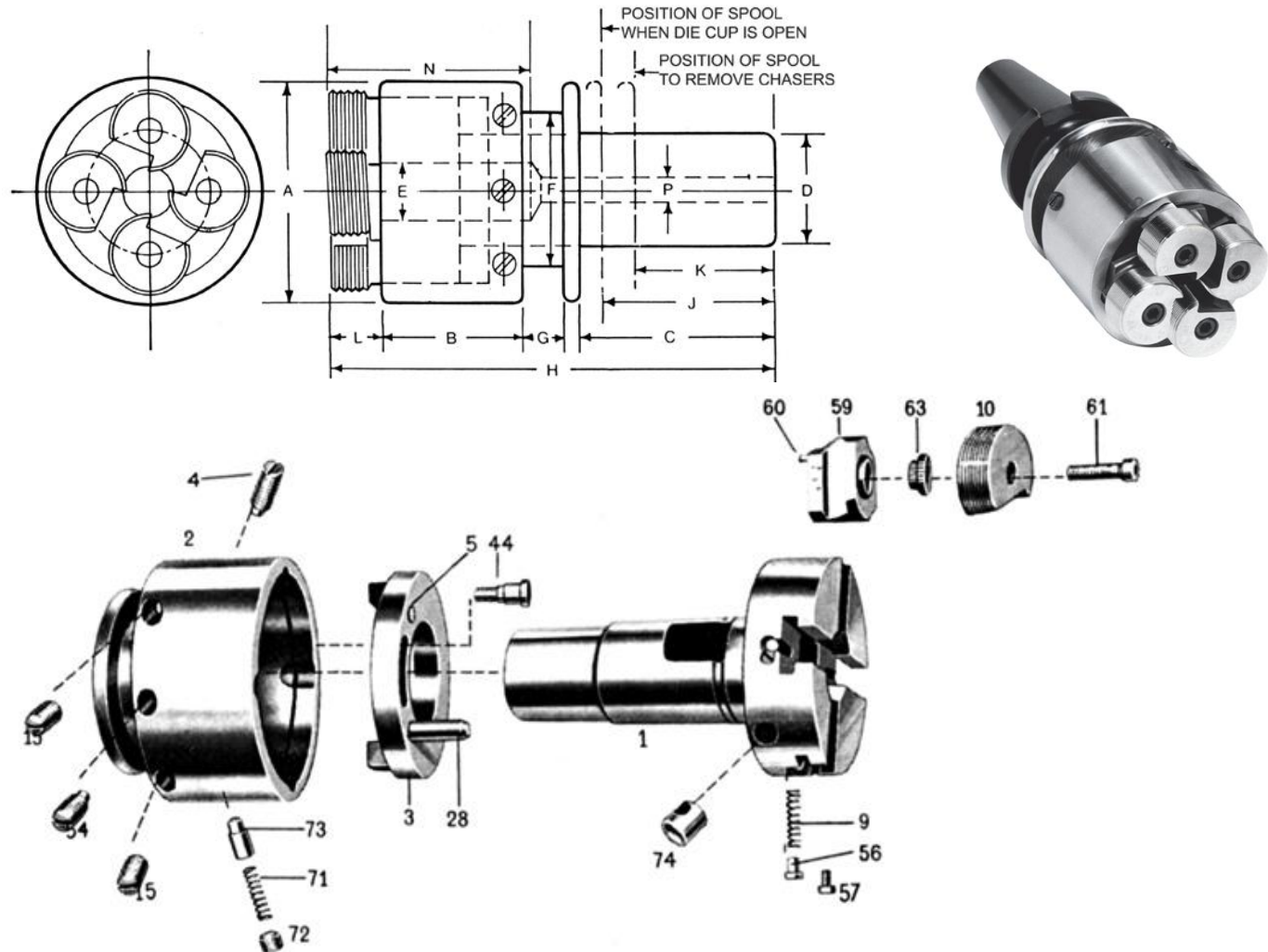
b) Pente circular de abrir rosca

c) Cossinete



Operação de Roscamento

b) Pente circular de abrir rosca



Operação de Roscamento

c) Cossinete

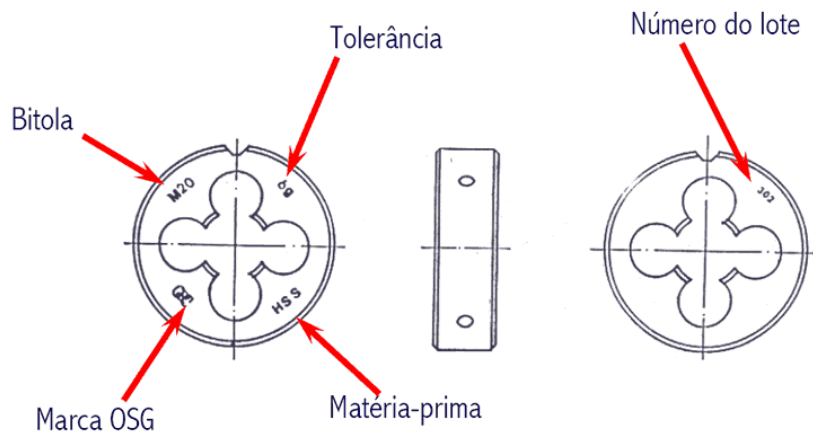


Figure 9-26. Types of dies.

Operação de Roscamento

Rosca externa em torno com cossinete





Operação de Roscamento

Considerações de projeto:

- Fazer saída de ferramenta para o comprimento da rosca.
- Chamfrar as extremidades da parte roscada para reduzir rebarbas.
- Não interromper seções roscadas com canais, furos, etc.
- Use ferramentas padrão para fazer as roscas
- As paredes das peças devem ser espessas o suficiente para suportar as forças de corte e de fixação.
- Projete a peça para se possa completar as operações de corte com um *único set-up*.



OPERAÇÃO DE RECARTILHAMENTO

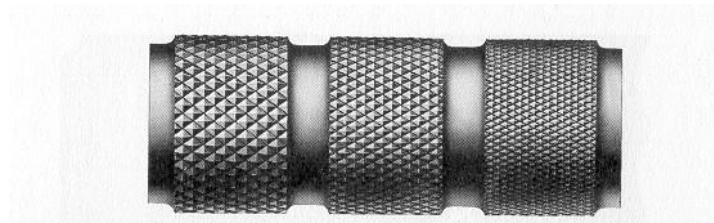


OPERAÇÃO DE RECARTILHAMENTO

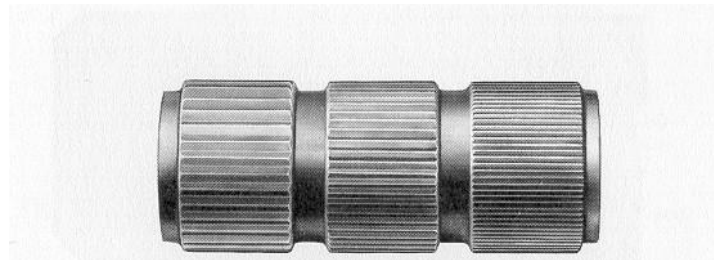
- Usado para criar padrão de textura rugosas em superfícies cilíndricas
- Feitas em peças onde há necessidade de atrito maior (manopla ,etc.)

OPERAÇÃO DE RECARTEILHAMENTO

- Tipos:
- Recartilhamento Angular
 - cria um padrão de ranhuras piramidal
- Recartilhamento linear
 - cria um padrão de ranhuras longitudinais retas



Padrões de recartilhamento cruzados grande, médio e fino

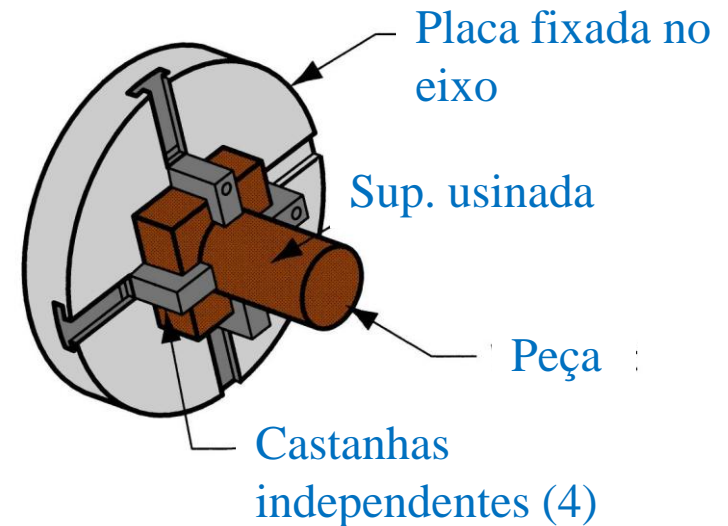
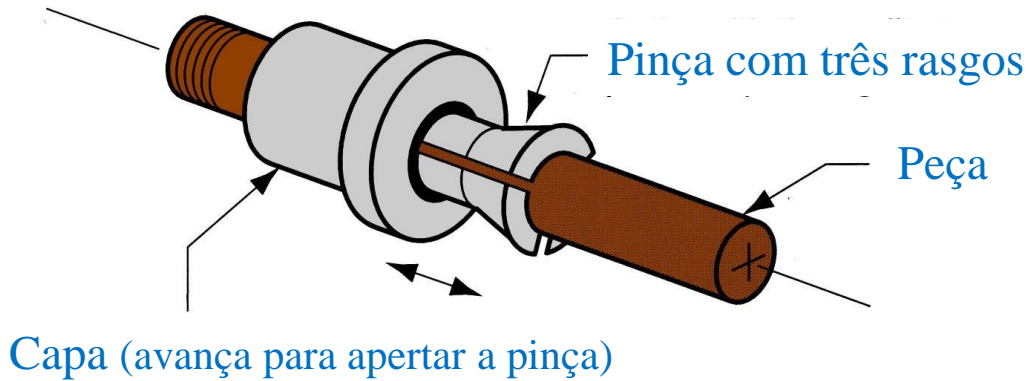
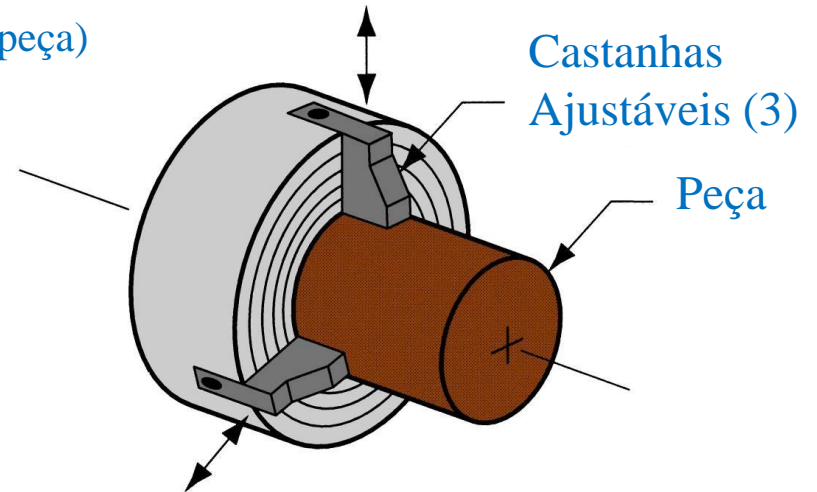


Padrões de recartilhamento paralelos com passo grande, médio e fino

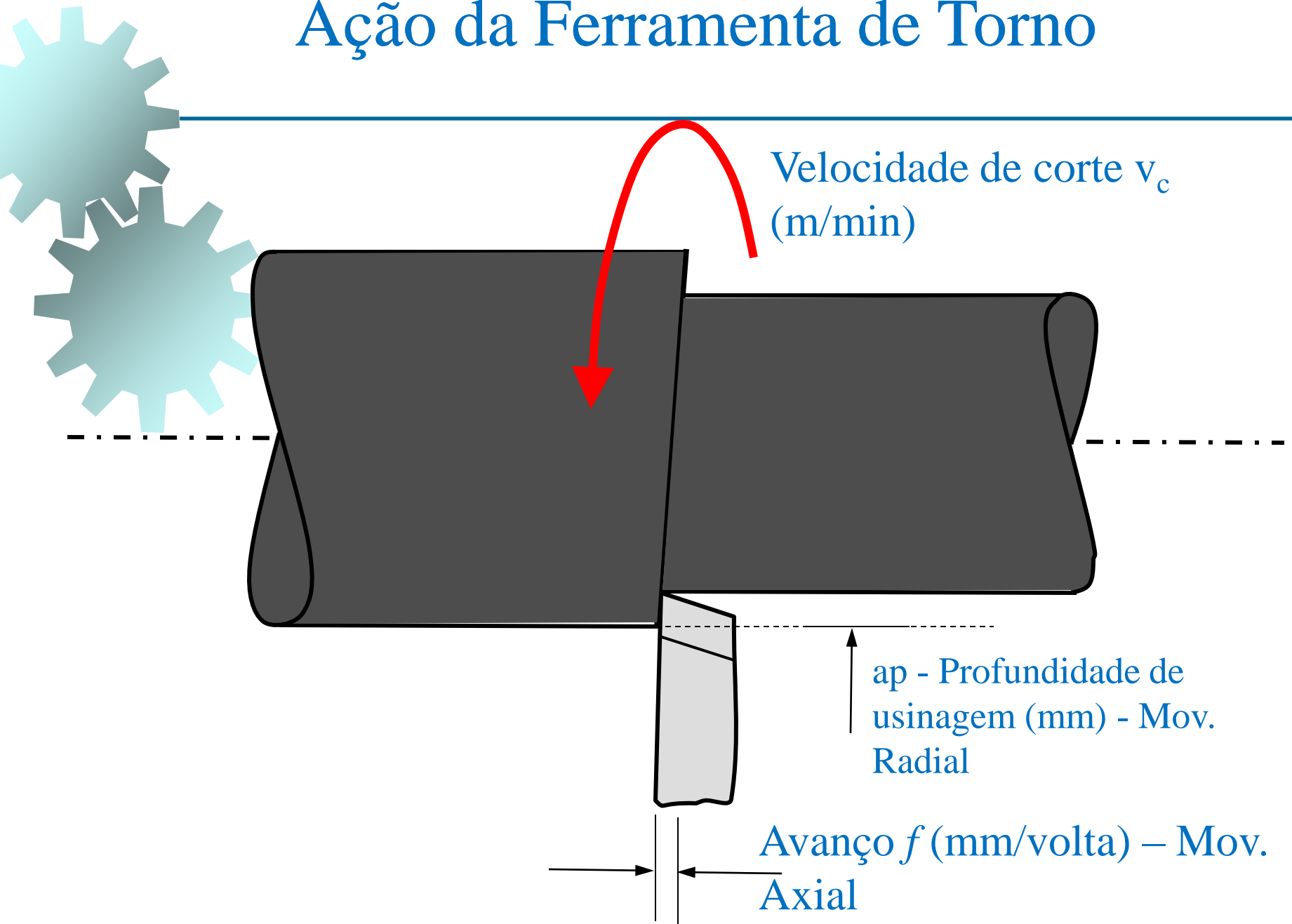
Operação de Recartilhamento



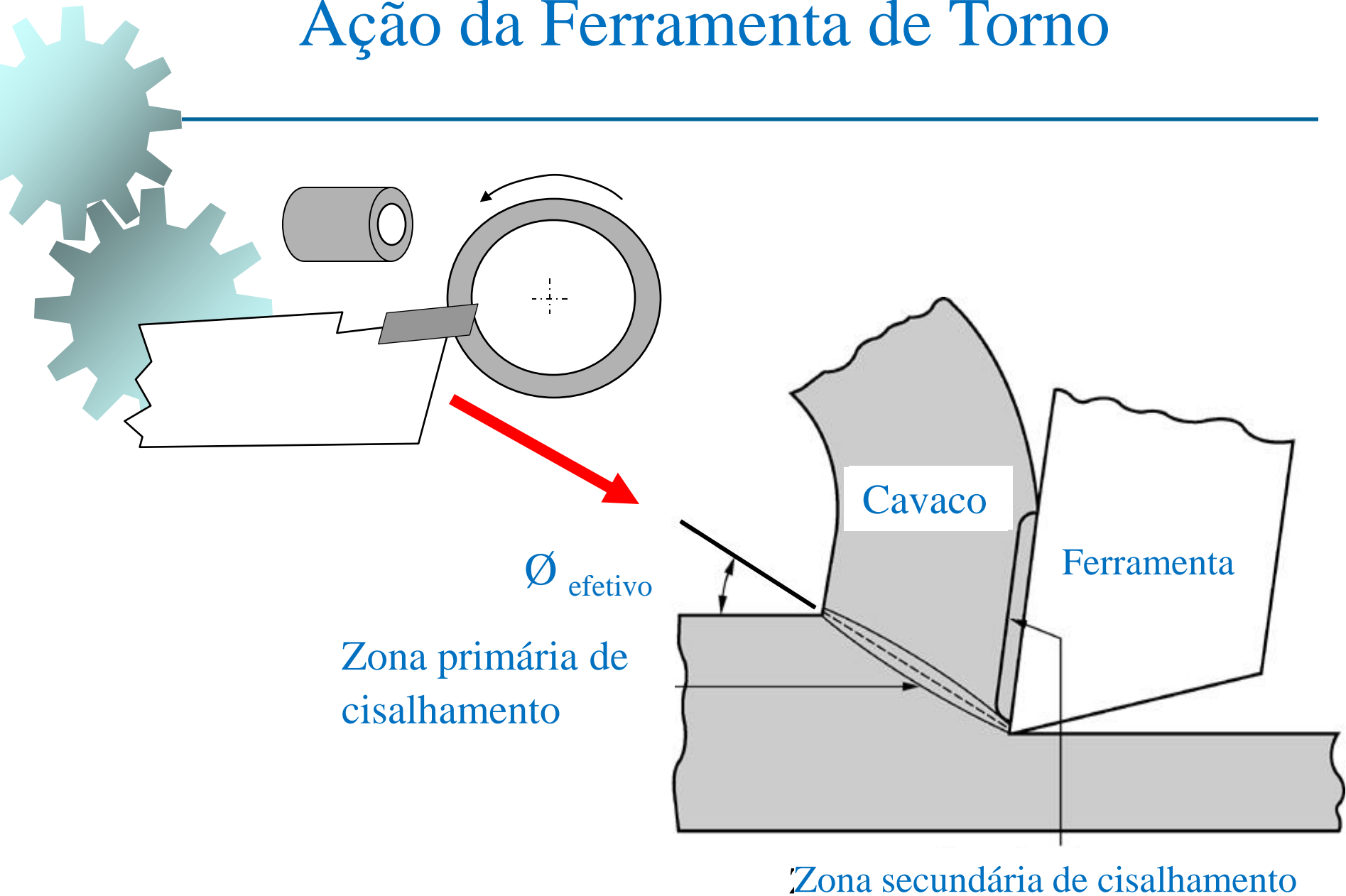
Fixação da Peça no Torno



Ação da Ferramenta de Torno



Ação da Ferramenta de Torno

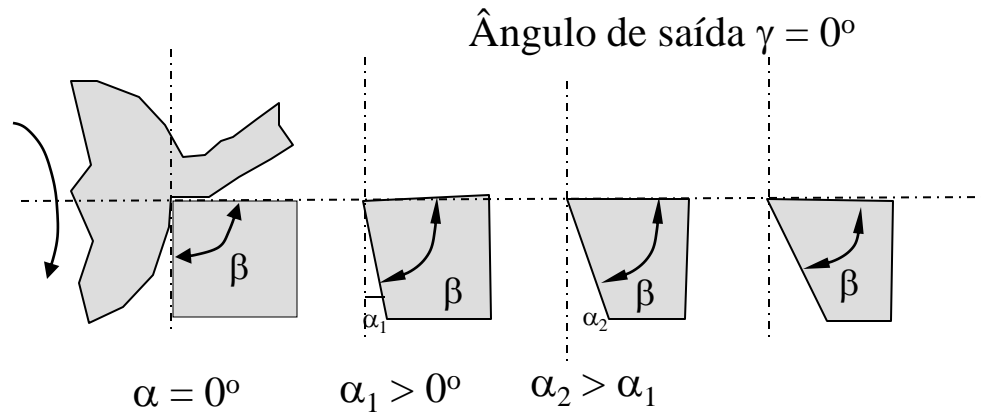




Influência da Geometria no Mecanismo de Corte

Influência da Geometria

α – ângulo de folga, ele pode gerar maior ou menor atrito entre a superfície de folga e a superfície recém formada e pode melhorar a estabilidade da aresta. Geralmente varia de 2° a 12°



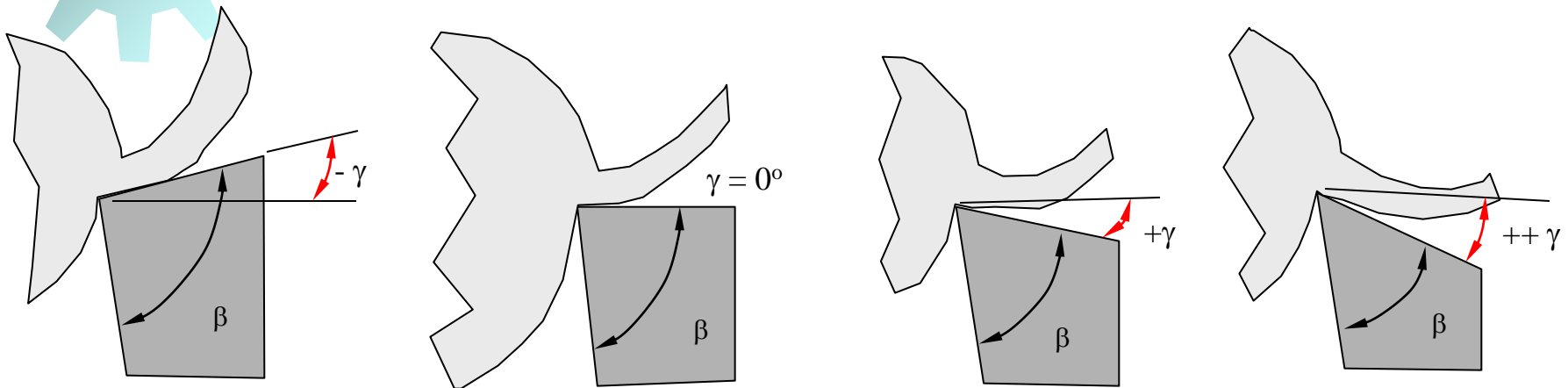
Menor atrito

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

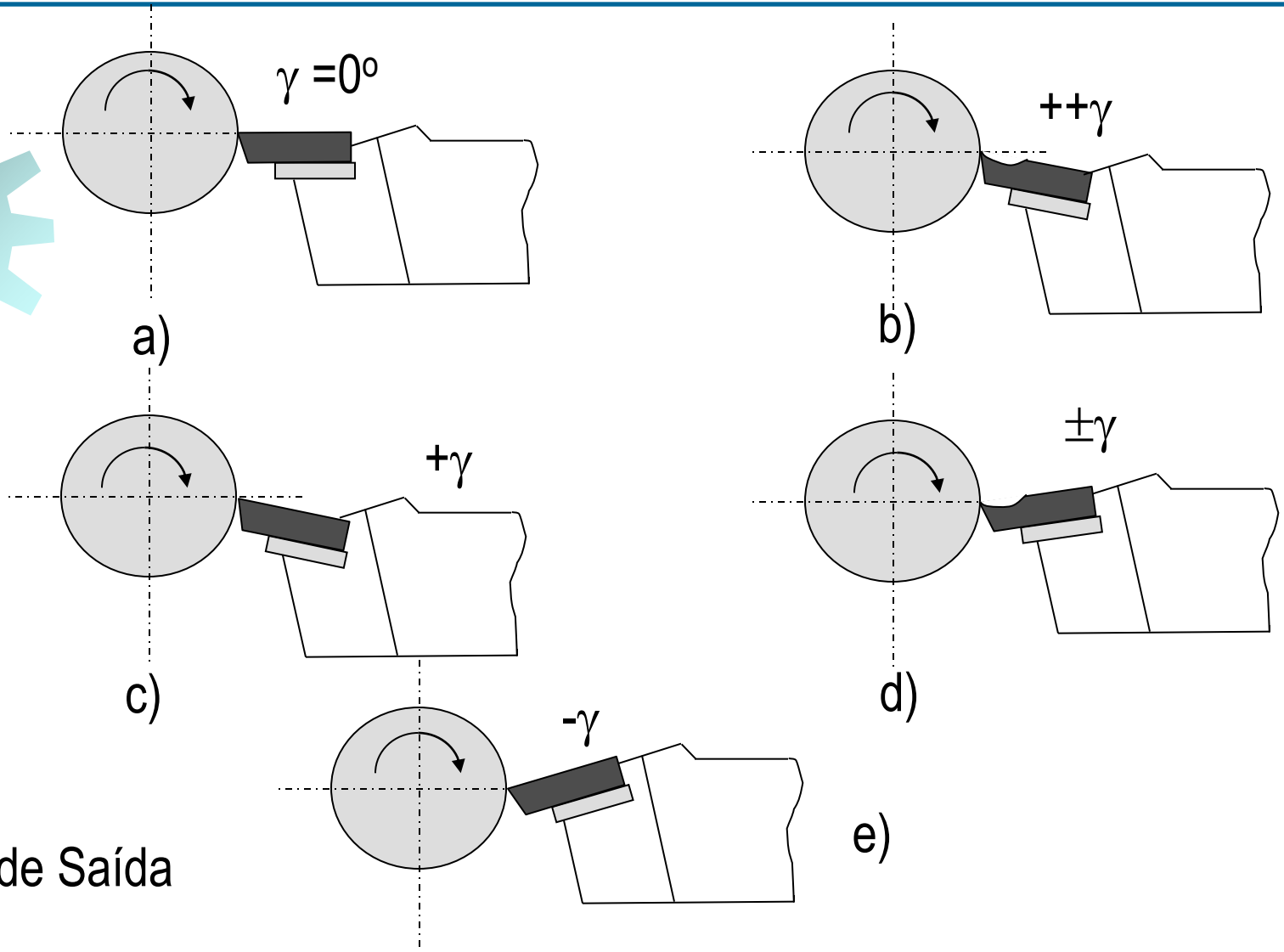
Influência da Geometria

γ – ângulo de saída, afeta a formação do cavaco, diminuindo ou aumentando o atrito do cavaco com a superfície de saída, resultando em mudança no ângulo do plano de cisalhamento. Isso implica em redução ou aumento nas forças de corte. Geralmente varia de -10° a 20°

$\alpha = \text{constante}$

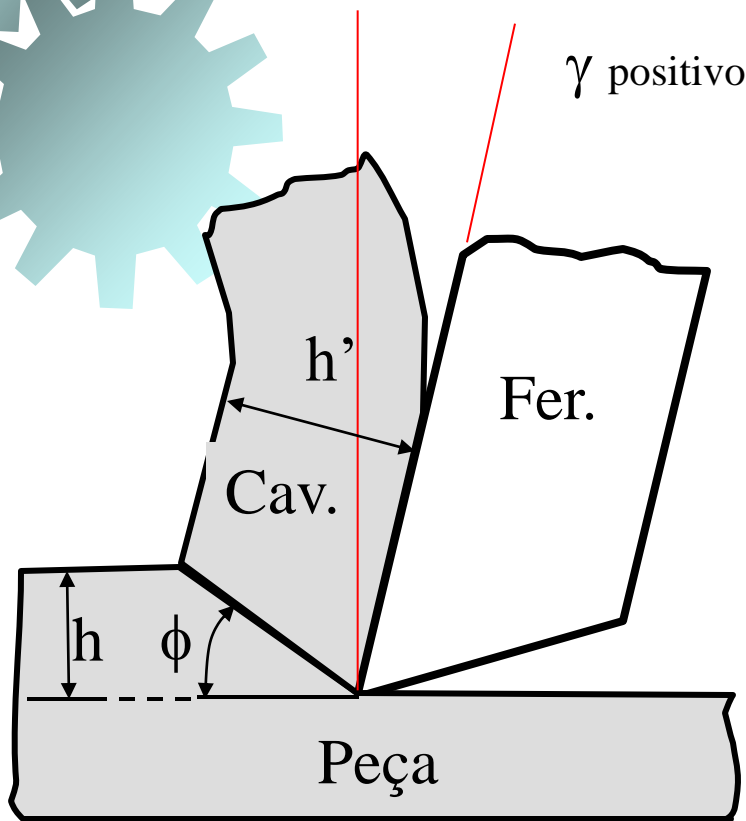


Influência do ângulo de saída

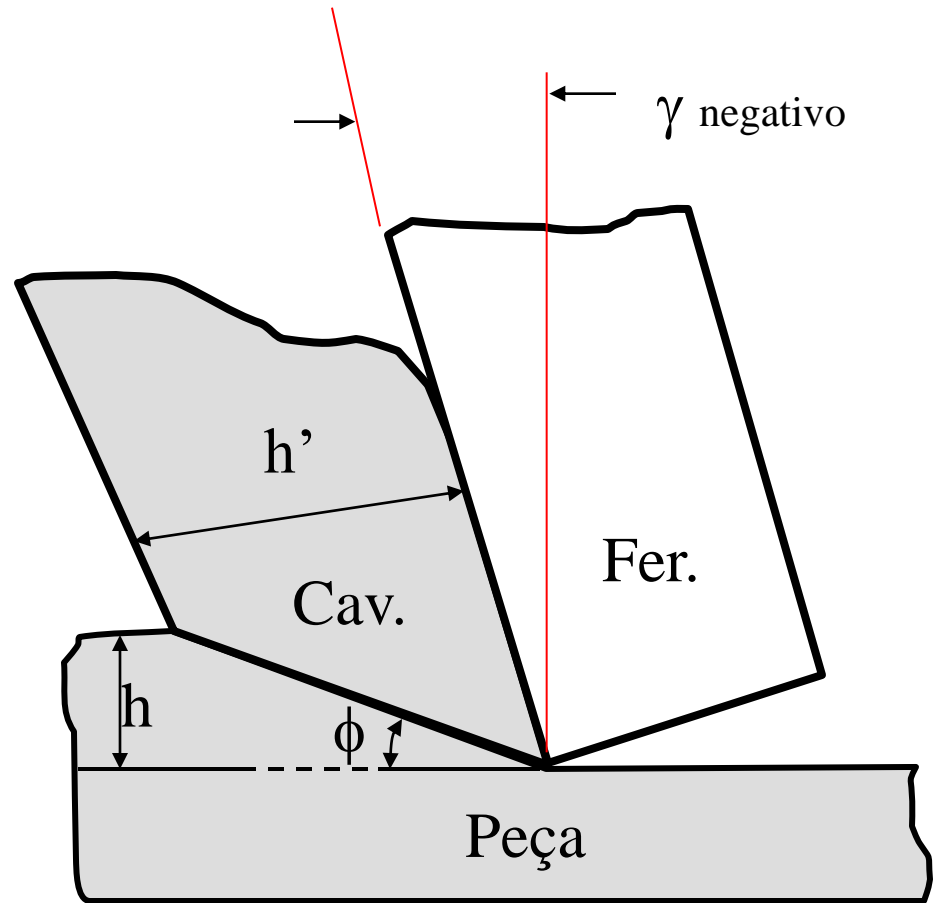


Ângulo de Saída

Influência do Ângulo de Saída



Recalque



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

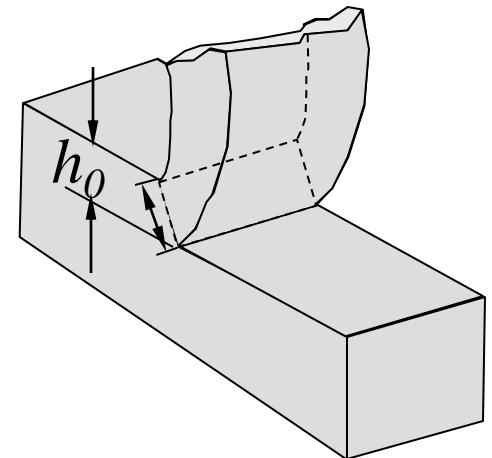
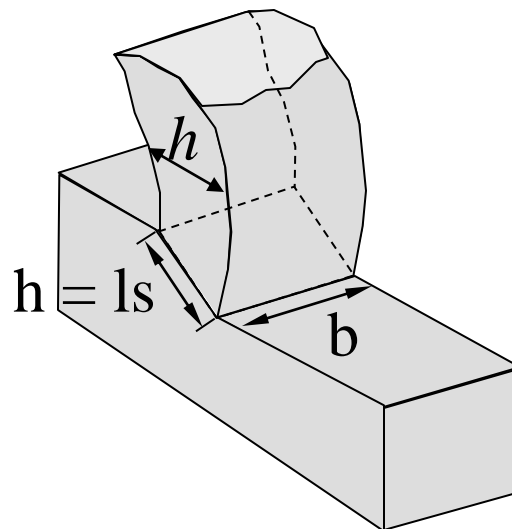
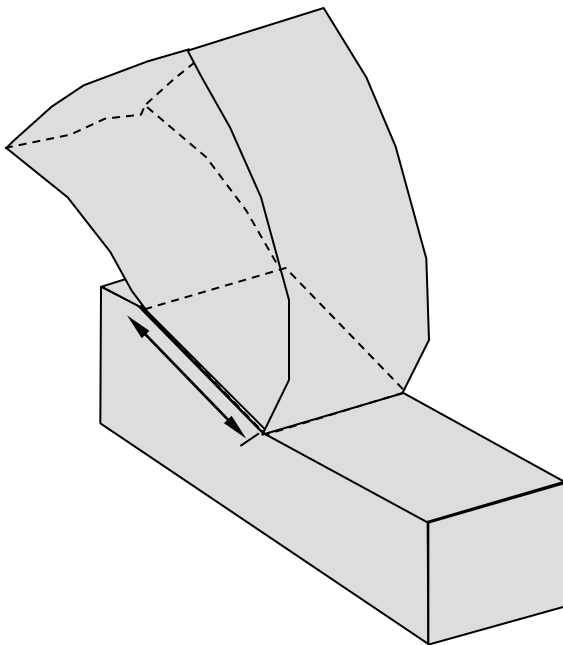
Influência do Ângulo de Saída

γ – ângulo de saída, a variação desse ângulo irá afetar a área do plano de cisalhamento. Onde:

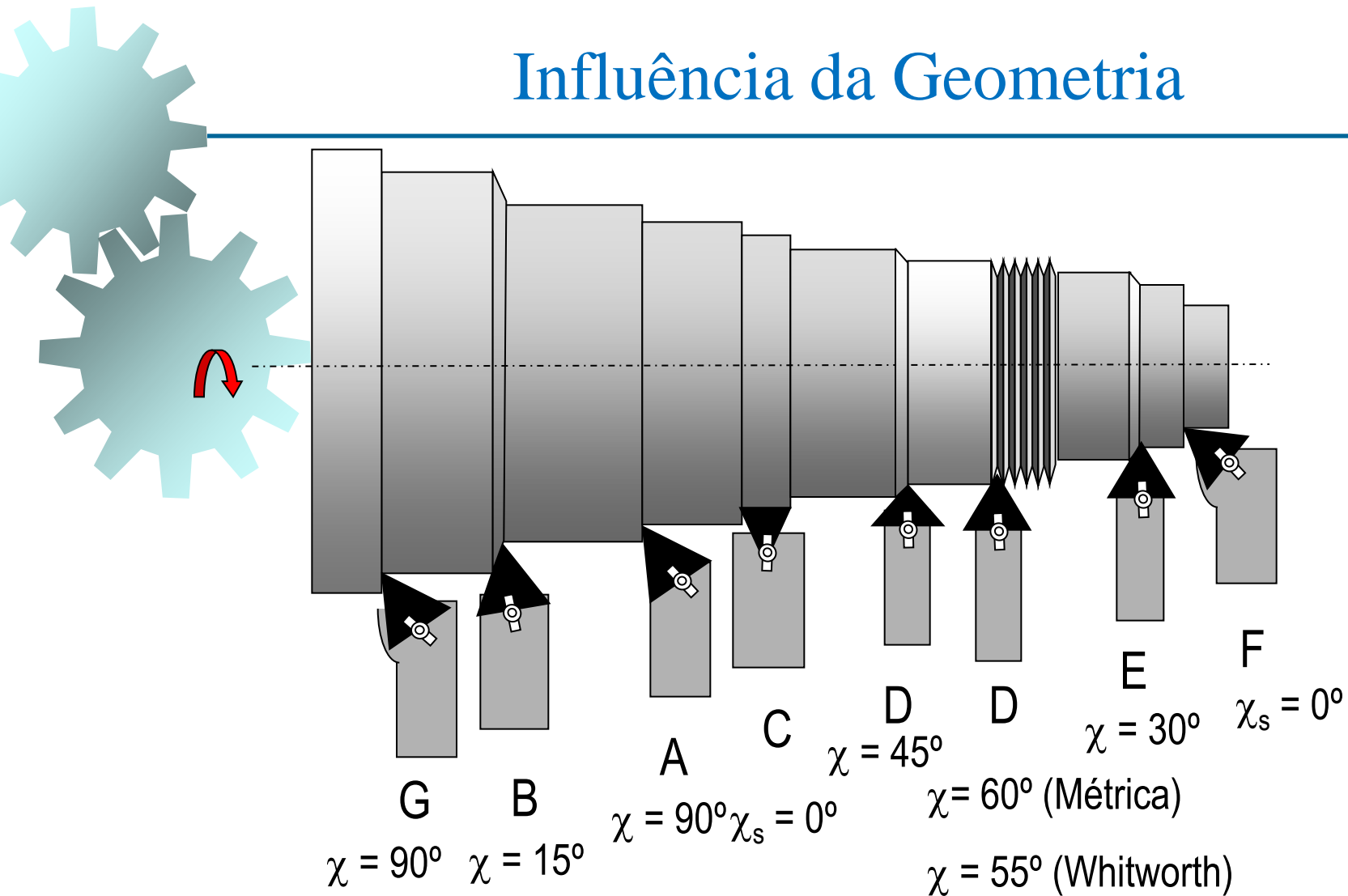
h é a espessura do cavaco;

b largura de corte

l_s comprimento do plano de cisalhamento

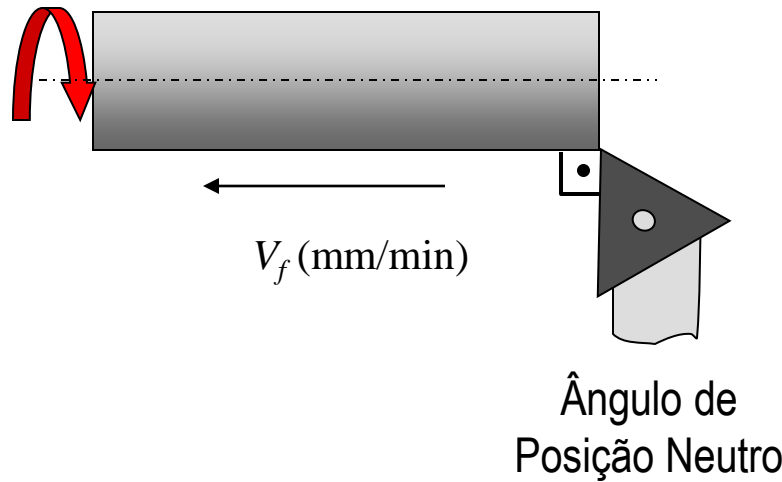


Influência da Geometria



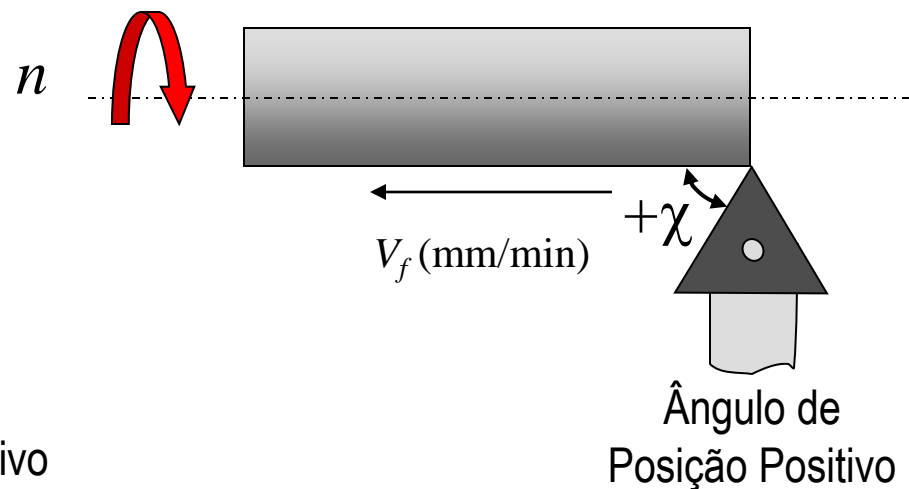
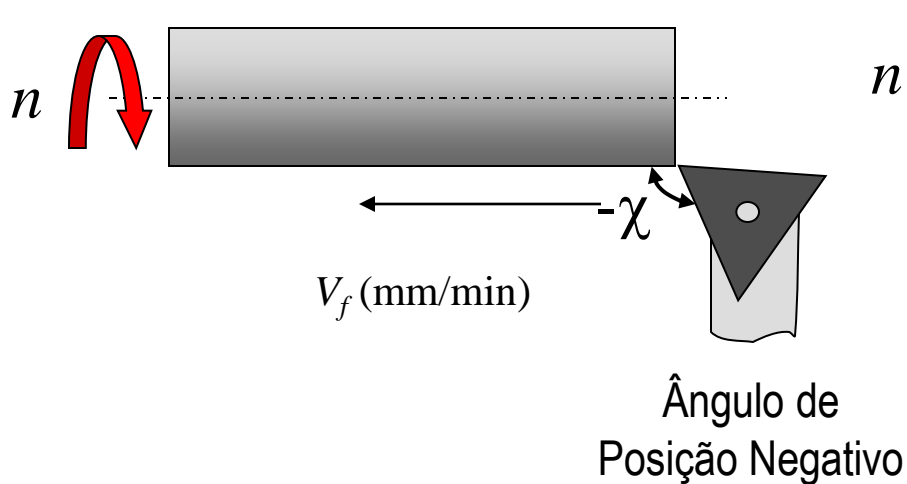
Ferramentas de torno com haste reta e haste deslocada e diferentes ângulos de Posição

Influência do ângulo de Posição



Velocidade de avanço:

$$V_f = f \cdot n$$

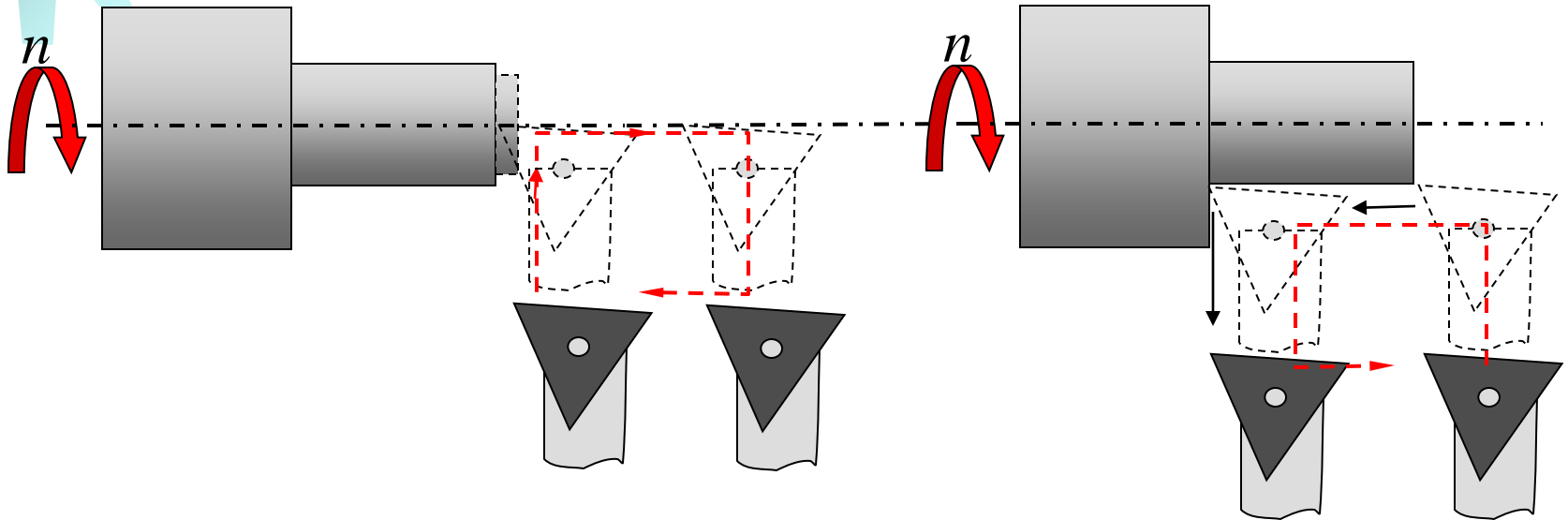


Influência do ângulo de Posição

Ângulo de Posição Negativo

χ_{negativo} adequado para usinagem com **escalonamento** ou canto, **faceamento**.

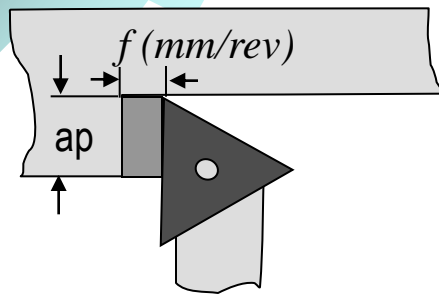
Deve ser evitado: forças de corte tendem a “puxar” o inserto fora do assento, levando a erros de dimensionais



Faceamento

Escalonamento

Influência do ângulo de Posição

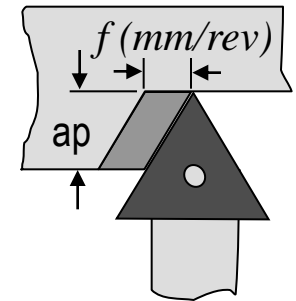


$\chi: 90^\circ$

$$h = f$$

$$b = ap$$

Ângulo de Posição
 χ
Espessura do cavaco

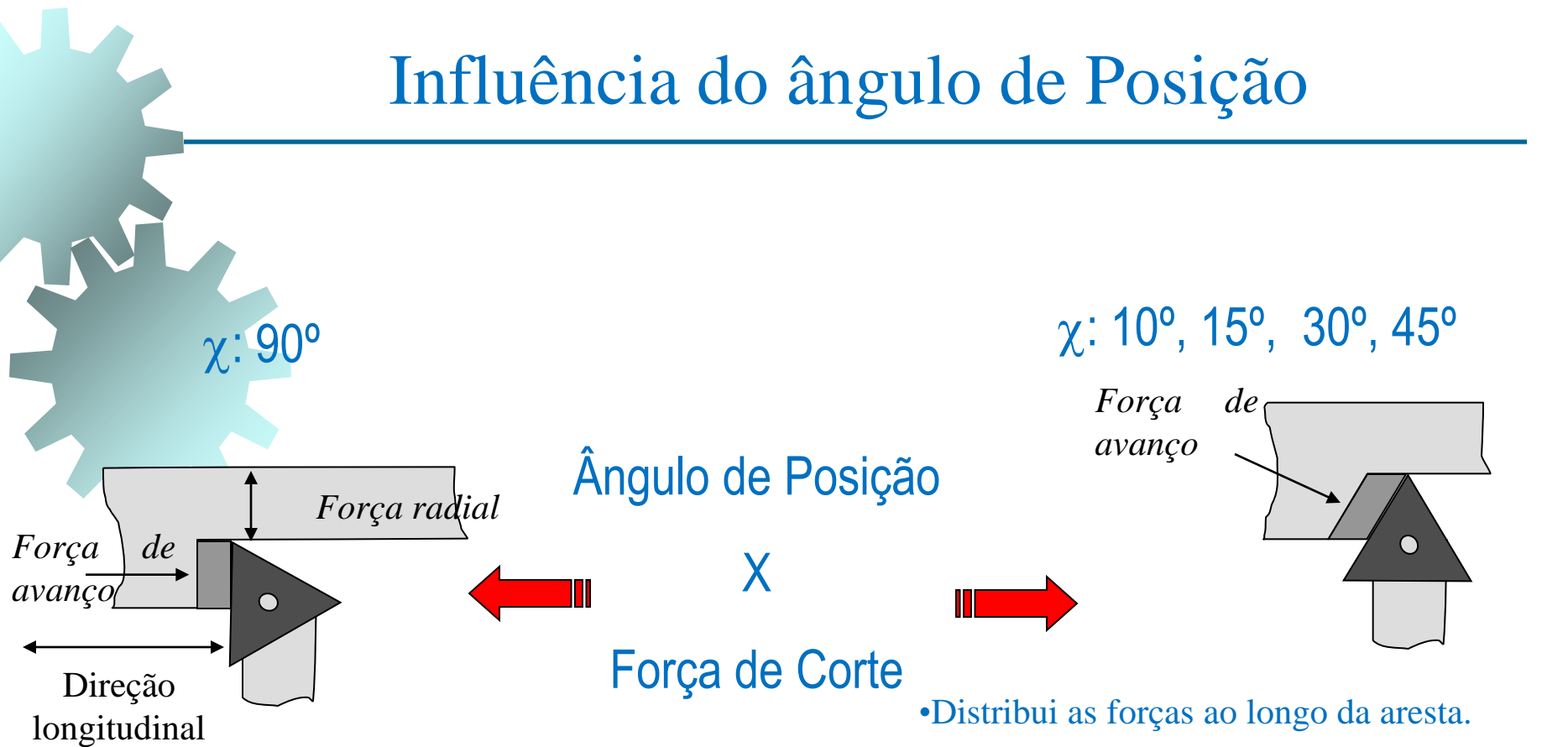


$\chi: 10^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$

$$h = f \cdot \sin \chi$$

$$b = \frac{ap}{\sin \chi}$$

Influência do ângulo de Posição



- Distribui as forças ao longo da aresta.
- Quanto maior χ , maior pode ser f .
- Desgaste menor.
- Quanto maior χ , maior chance de "chatter"
- χ negativo adequado escalonado, canto, faceamento

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

$$h = f \cdot \sin \chi$$

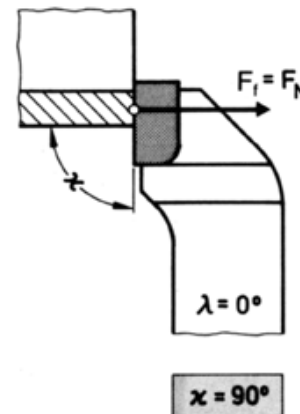
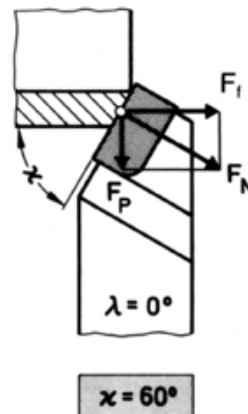
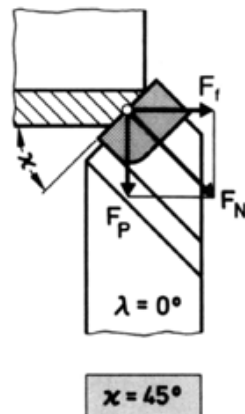
$$b = \frac{ap}{\sin \chi}$$

Influência do ângulo de Posição

Aço 1045: $k_{s1} = 205 \text{ kgf/mm}^2$, $1-z = 0,899$

($a_p = 2,5 \text{ mm}$, $f = 0,5 \text{ mm/rev}$)

Ângulo de posição χ	seno (χ)	h (mm)	h^{1-z}	b (mm)	Área de corte (mm ²)	F_c (N)
10	0,174	0,087	0,111	14,368	1,25	3280
15	0,259	0,129	0,159	9,652	1,25	3150
30	0,500	0,250	0,288	5,000	1,25	2941
45	0,707	0,354	0,393	3,536	1,25	2841
90	1,000	0,500	0,536	2,500	1,25	2748

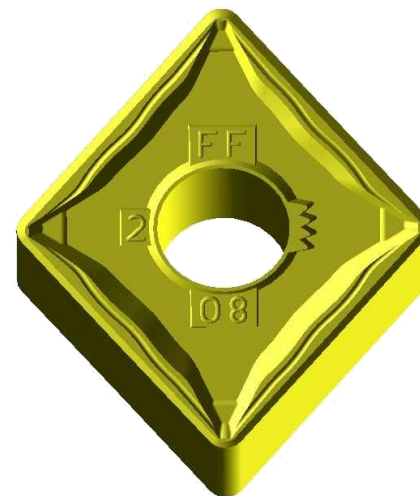


$$h = f \cdot \text{sen} \chi$$

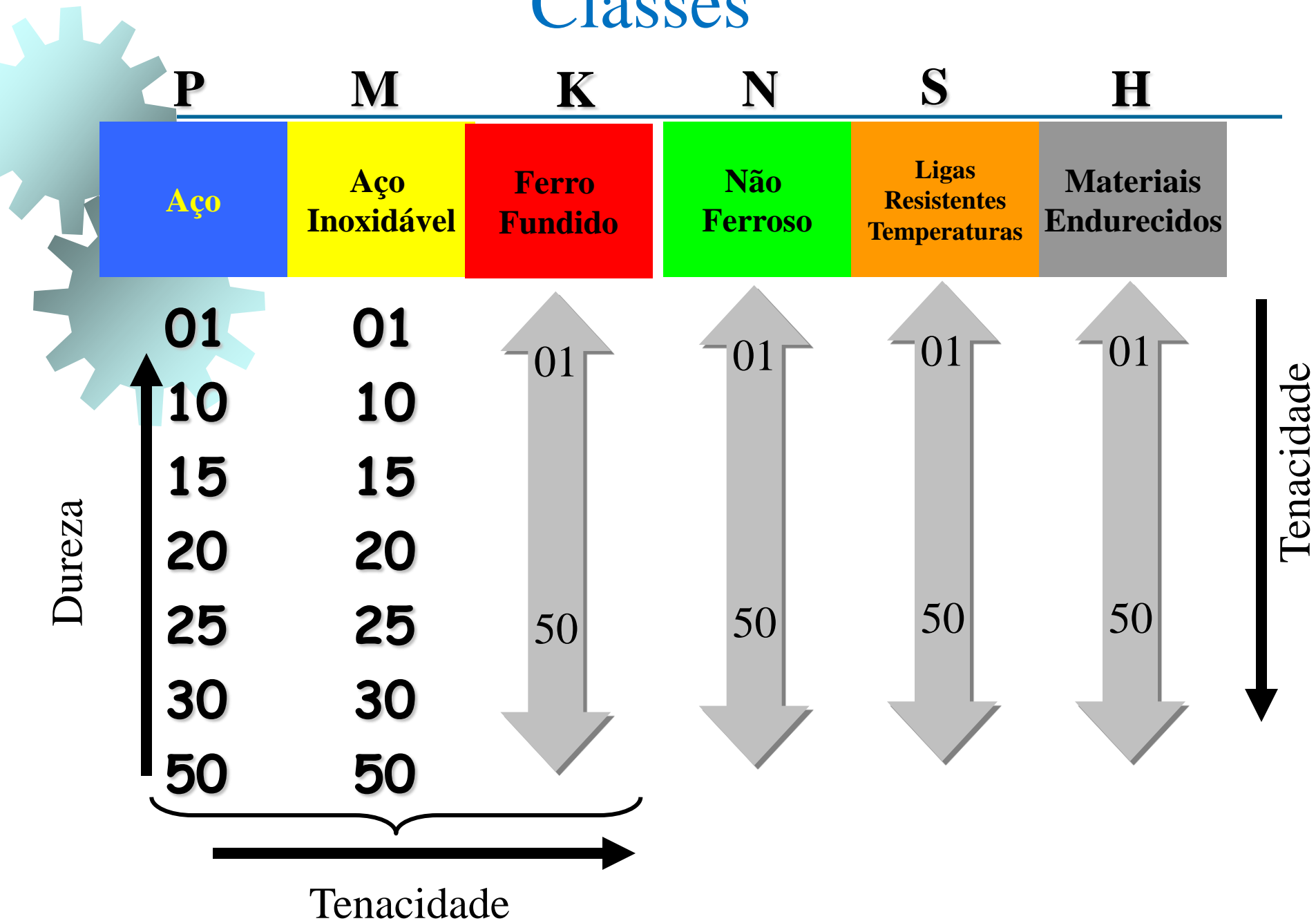
$$b = \frac{a_p}{\text{sen} \chi}$$

Pastilhas de Metal Duro

- Excelente resistência, permitindo usinar com altas velocidades.
- Diversas formas e geometrias padronizadas
- Diversas classes de M.D. para materiais e condições diferentes de usinagem
- Baixo custo de reposição
- Dispensa reafiação



Classes



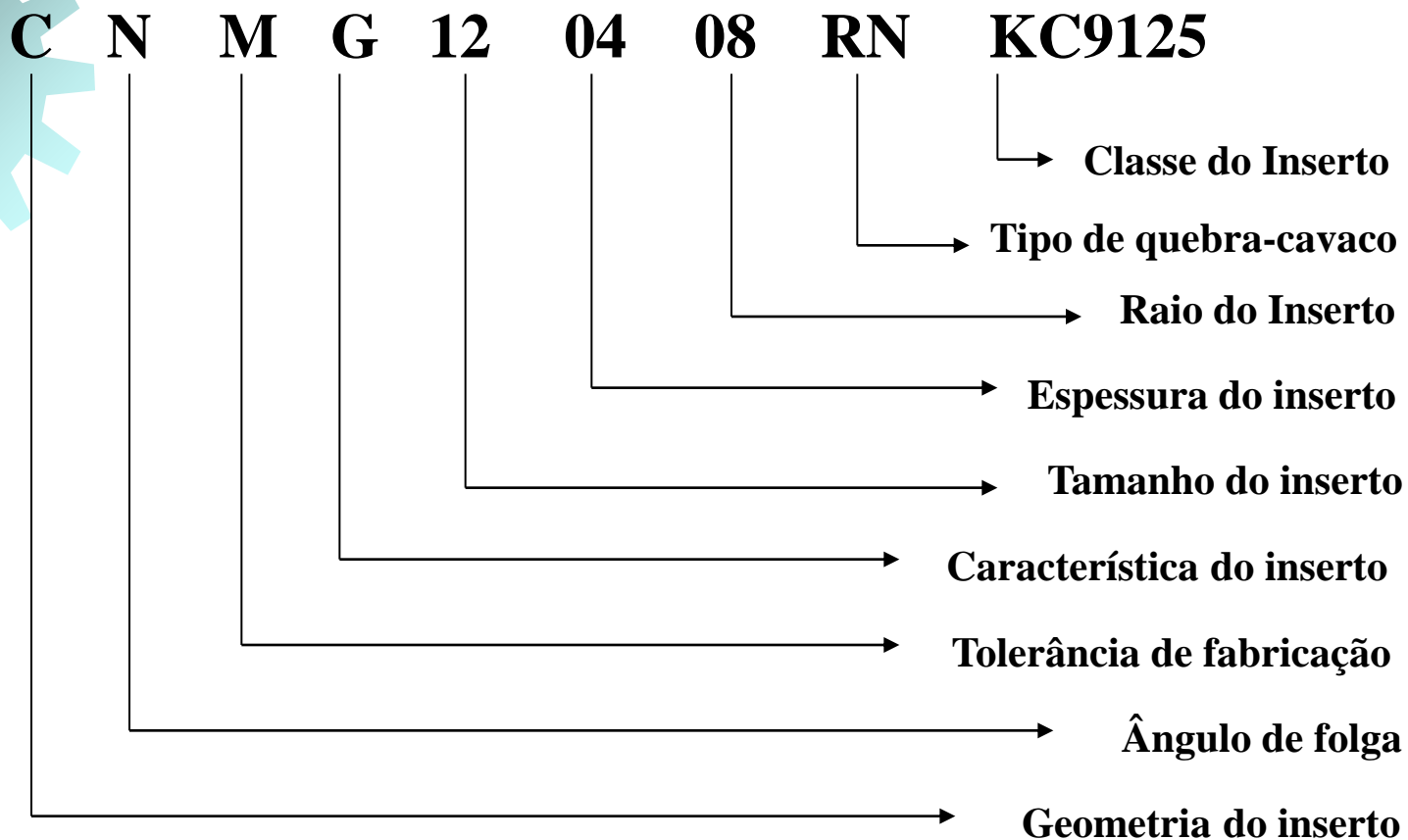


Como identificar os Insertos(Pastilhas)?

Existem NORMAS Internacionais :

- **ISO - Internacional**
- **ANSI - Americana**

Codificação ISO - Insertos




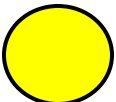









Formato dos Insertos

<i>Letra ref. inserto</i>	<i>Descrição da forma do inserto</i>	<i>Ângulo de ponta do inserto (°)</i>
R	REDONDO	N/A
O	OCTAGONAL	135
H	HEXAGONAL	120
P	PENTAGONO	108
S	QUADRADO (“SQUARE”)	90
C	DIAMANTE	80
T	TRIÂNGULO	60
D	DIAMANTE	55
V	DIAMANTE	35

Formato do Inserto



R	redondo			
C	rombico		100°	equilateral
Q	quadrado		90°	equilateral
W	hexagonal irregular		80°	irregular
C	rombico		80°	equilateral
T	Triangular		60°	equi-angular
D	rombico		55°	irregular
V	rombico		35°	irregular

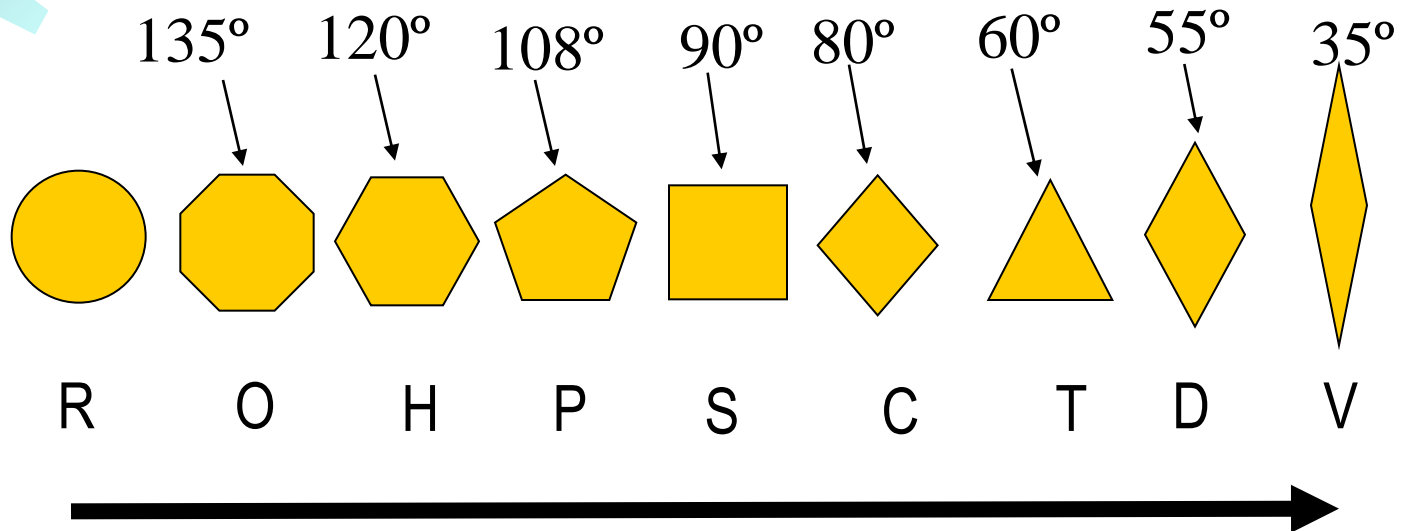


resistência

Formato dos Insertos

Insertos de Metal Duro

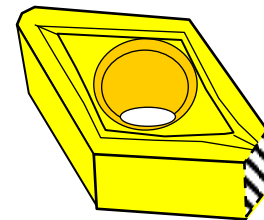
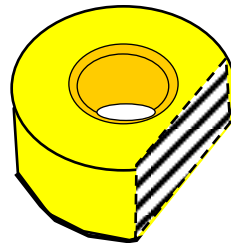
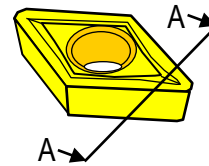
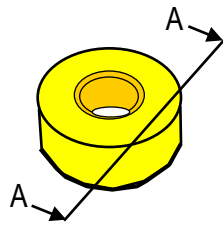
Aumenta a resistência



Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

Formato dos Insertos

Insertos de Metal Duro



A-A

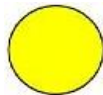
A-A

Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

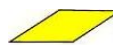
Formato do Inserto

Fatores que afetam
a escolha

R



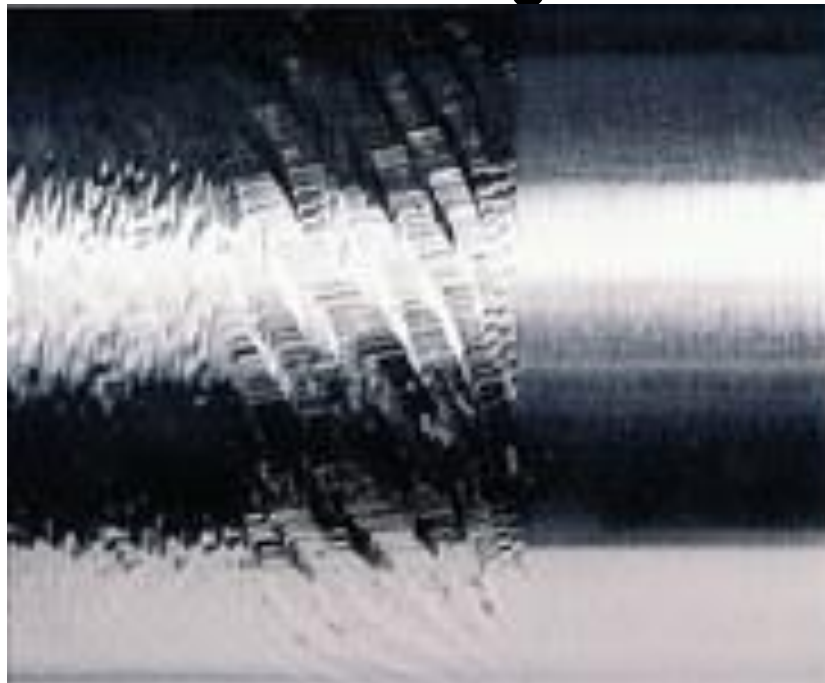
35°

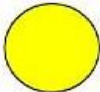






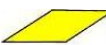


Vibração



Melhor recomendação



Fatores que afetam a escolha	R	100	90	80	80	60	55	35
								
Desbaste pesado	●	●	●	⊗	⊗	⊗		
Desbaste leve e semi-acabamento		⊗	⊗	●	●	●	●	
Acabamento				⊗	⊗	●	●	●
Torneamento e faceamento				●	⊗	⊗	●	●
Perfilamento				⊗	⊗	⊗	●	●
Versatilidade operacional	⊗			●	⊗	⊗	●	⊗
Potência limitada				⊗	⊗	●	●	●
Tendência a vibração					⊗	●	●	●
Materiais Endurecidos	●	●	●					
Corte Interrompidos	●	●	●	⊗	⊗	⊗		



Melhor recomendação



Aceitável

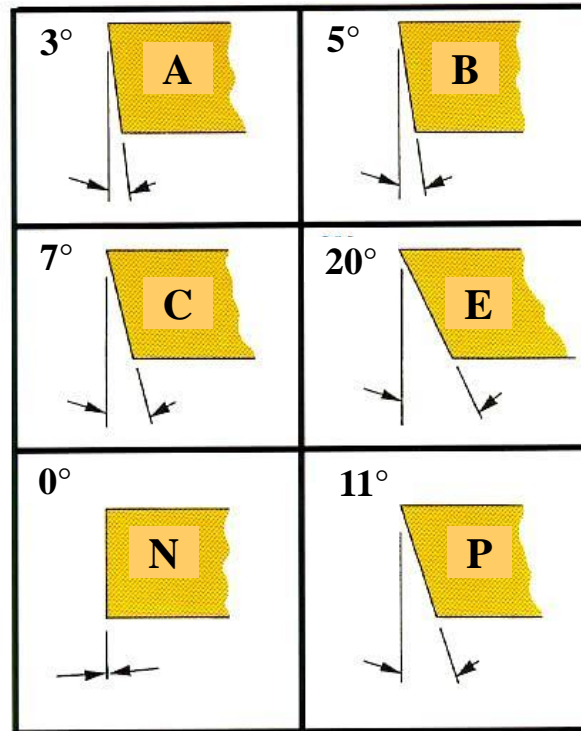
Ângulo de folga



T **N** M G - 4 3 2



T **N** M G - 22 04 08



Tolerância

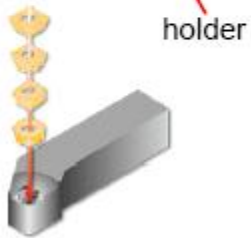
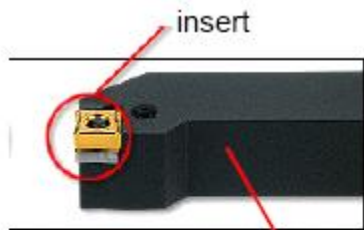
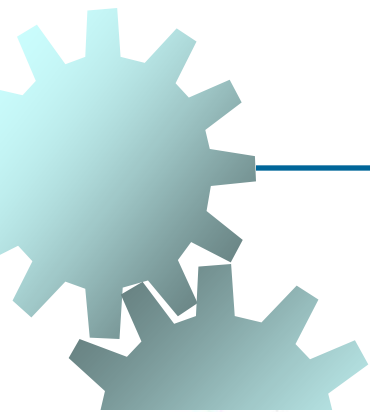


T N M G - 4 3 2

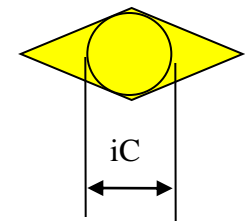
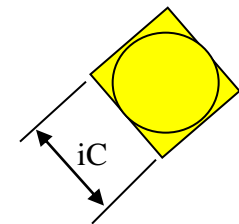
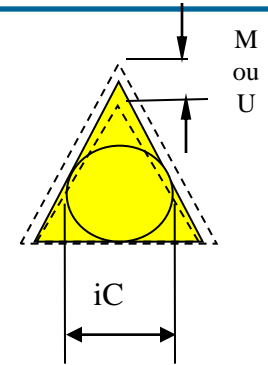


T N M G - 22 04 08



Tolerância



<i>Circulo Inscrito</i>	Tolerância da Classe	
iC (mm)	M	U
3,97	±0,05	±0,08
5,0 ±0,05		
5,56		
6,0		
6,35		
8,0		
3,525	±0,08	±0,13
1,0		
12,0	±0,10	±0,18
12,7		
15,875	±0,10	±0,18
16,0		
19,05		
20,0		
25,0	±0,13	±0,25
25,4		
31,75	±0,13	±0,25
32,0		




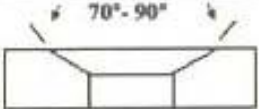

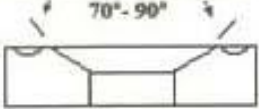


Característica do Inserto: quebra cavaco



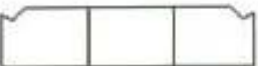
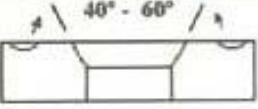



T N M G - 4 3 2

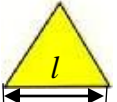
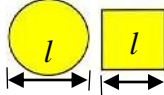
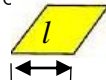

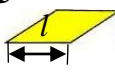
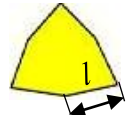


T N M G - 22 04 08

	A
	B
	G
	H
	M
	N

	*P
	R
	*S
	T
	W
special design	X

Tamanho da aresta de corte l (mm)

d (iC) →	6.35 (1/4")	9.52 (3/8")	12.70 (1/2")	15.88 (5/8")	19.05 (3/4")	25.40 (1")
	11	16	22	27	33	44
	06	09	12	15	19	25
55° 	07	11	15	19		
80° 	06	09	12	16	11	25
35° 	11	16	22			
	04	06	08	10	13	17

iC = Círculo Inscrito

Espeçura “S”



T N M G - 4 **3** 2

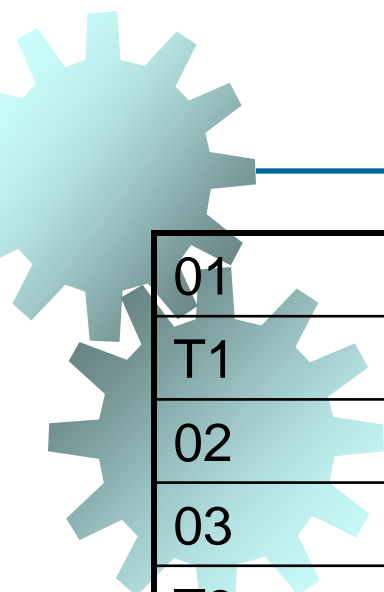
T N M G - 22 **04** 08

CPGM - 16 **T3** 08

$1/8 = .125 = 3.18\text{mm} = 03$

$5/32 = .156 = 3.97\text{mm} = T3$

Espeçura “S”



01	S= 1,59
T1	S= 1,98
02	S= 2,38
03	S= 3,18
T3	S= 3,97
04	S= 4,76
05	S= 5,56
06	S= 6,35
07	S= 7,94
09	S= 9,52
10	S= 10,00
12	S= 12,00

T N M G - 22 04 08



T N M G - 4 3 2



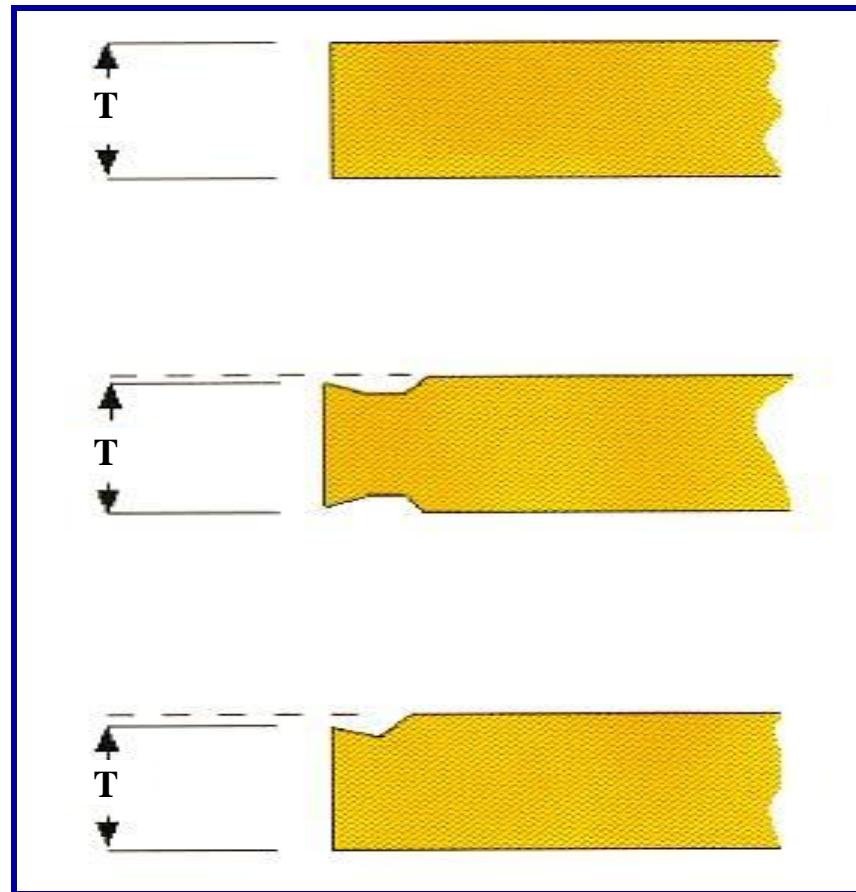
CPGM - 16 T3 08



$1/8 = .125 = 3.18\text{mm} = 03$

$5/32 = .156 = 3.97\text{mm} = T3$

Espessura do Inserto


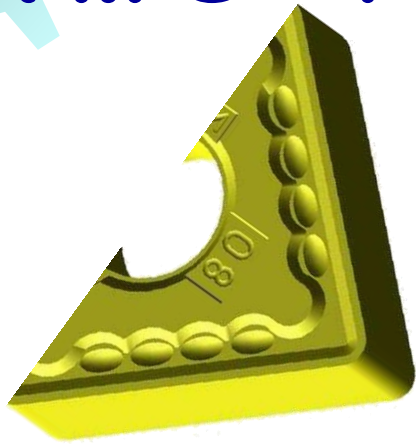


Raio de Ponta



T N M G - 4 3 **2**

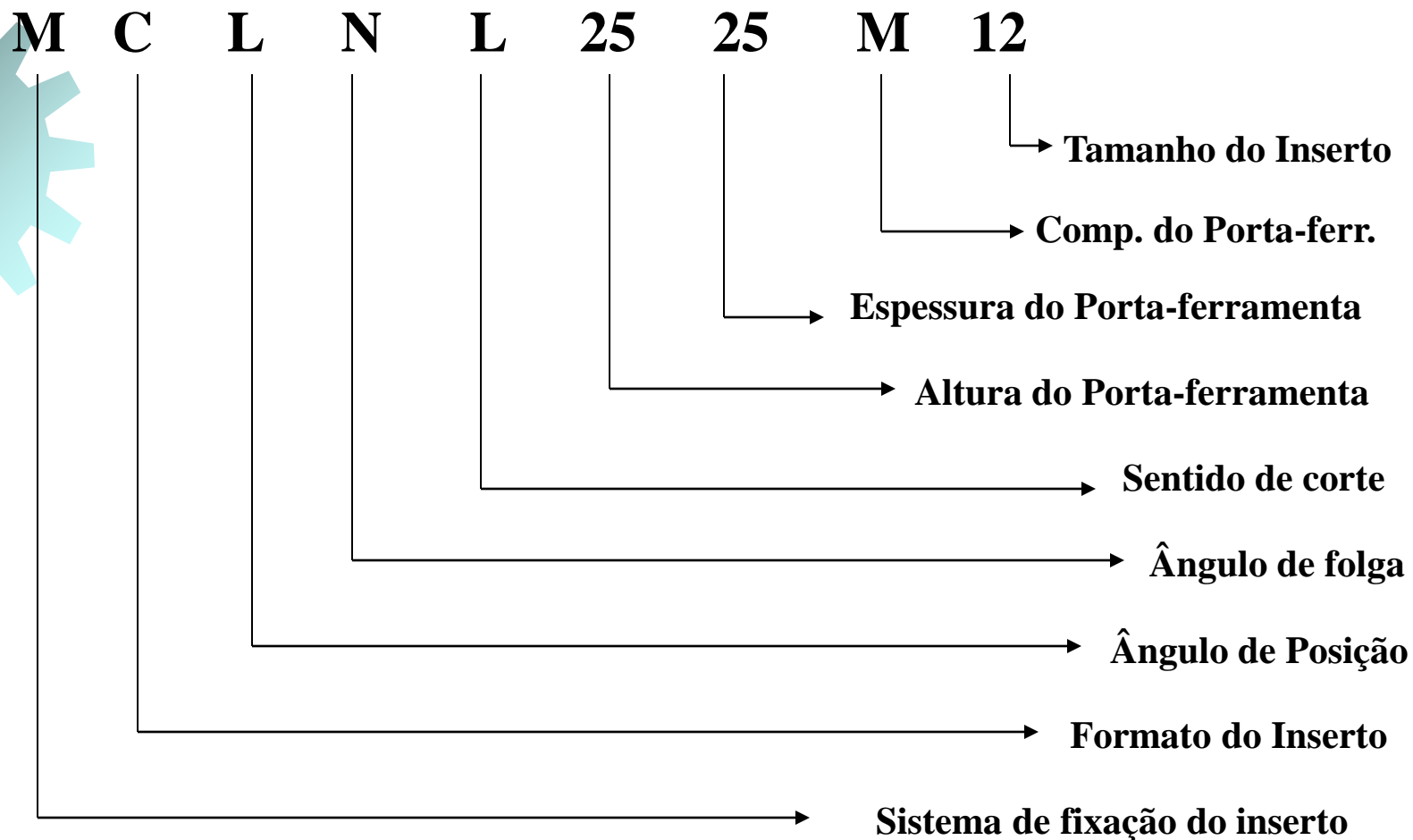
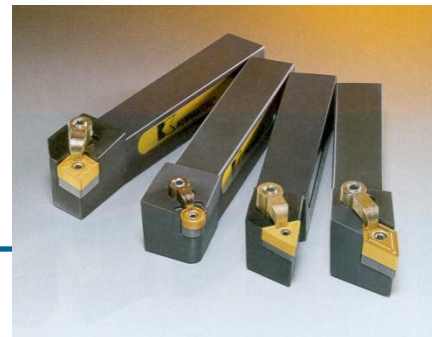
T N M G - 22 04 **08**



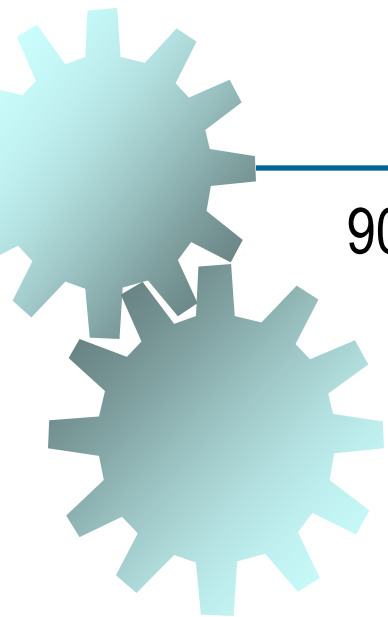
00	$r_e = \odot$
04	$r_e = 0,4$
08	$r_e = 0,8$
12	$r_e = 1,2$
16	$r_e = 1,6$
24	$r_e = 2,4$

Codificação ISO

Porta-ferramenta Externo



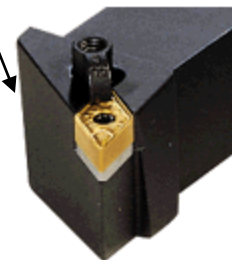
Ferramentas para torneamento



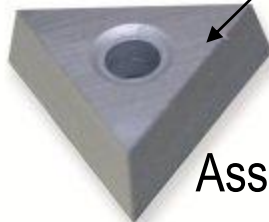
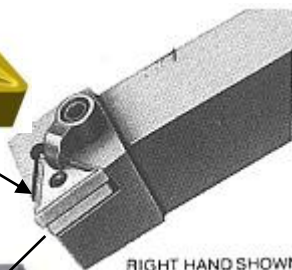
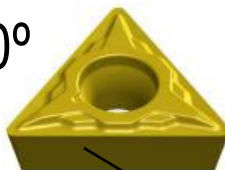
90°



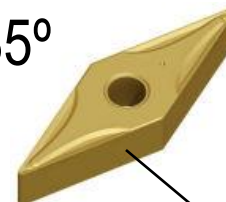
55°



60°



35°

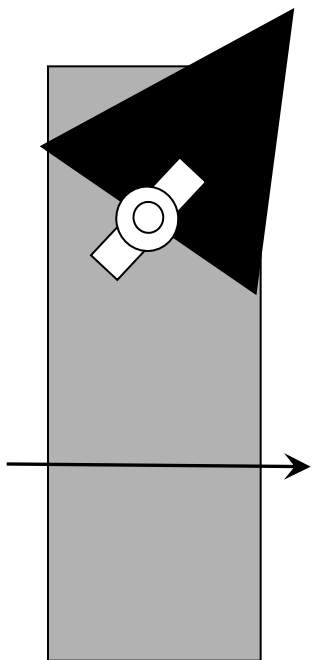


Assento para inserto de MD

Ferramentas para torneamento

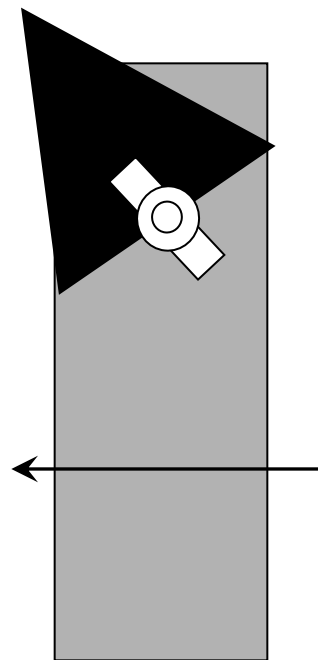
Ferramentas de torno

Ferramenta esquerda



Corta da esquerda para
direita

Ferramenta direita



Corta da direita para
esquerda



Ferramentas para Torno



Tornear e Chanfrar



Facear 75°



Rosquear 55°



Mandrilar e facear
90°



Recartilhar



Porta matriz para
cossinete

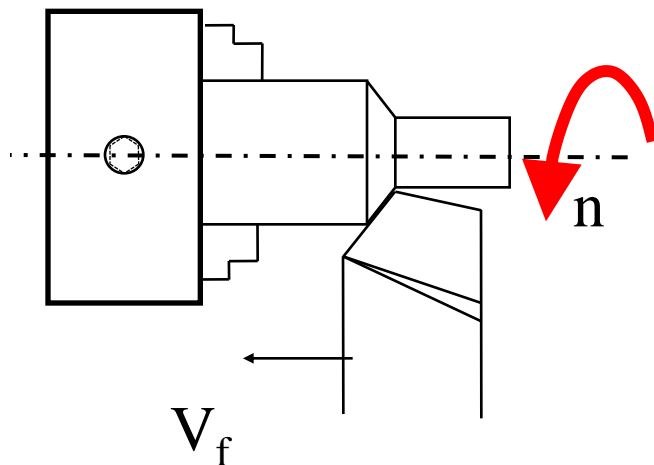
<http://tool.wttool.com>

Parâmetros de Corte

Existem dois movimentos de corte:

- o movimento primário de corte
- movimento de avanço.

Em um torno, o movimento primário de corte é rotativo e é transmitido à peça através do eixo árvore. A peça é presa na placa do torno que por sua vez está fixada ao eixo árvore.



$$V_f = f \cdot n$$



Parâmetros de Corte

- Velocidade de Corte (V_c)
- Avanço (f)
- Profundidade de usinagem (a_p)

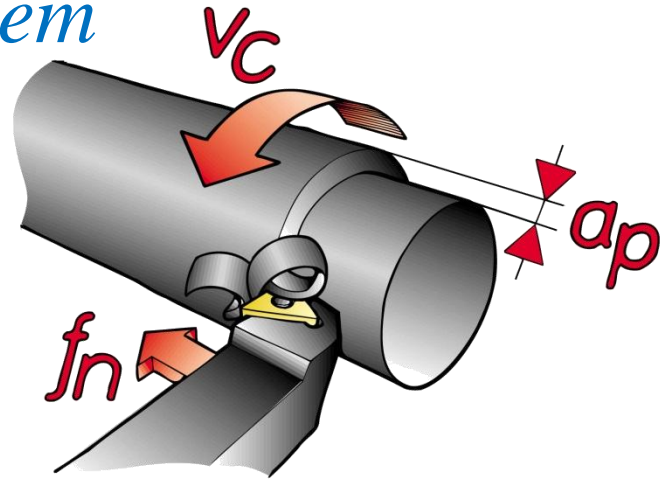
Parâmetros de Corte

Notação

V_c : Velocidade de Corte

f : Avanço

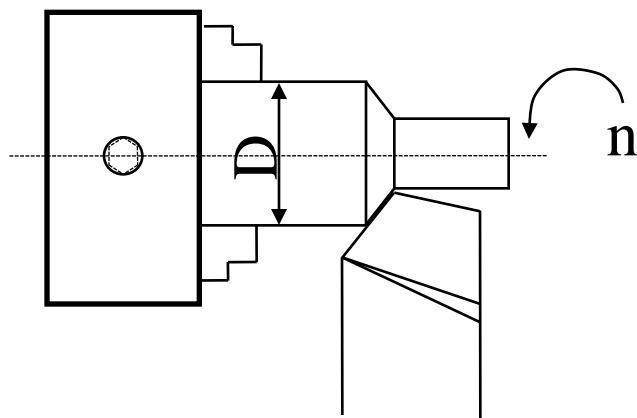
a_p : Profundidade de usinagem



Definição de Velocidade de Corte (V_c)

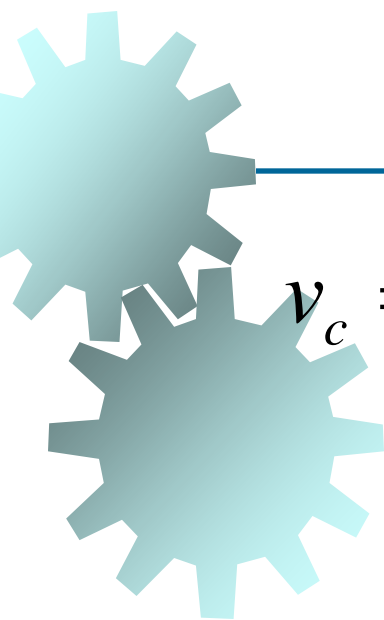
Em torneamento, é a velocidade tangencial da peça, medido em metros por minutos (m/min).

“É a velocidade com que a peça passa pela Ferramenta (Torneamento)”



$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Fórmula para determinar a V_c


$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$


**exemplo: Peça com \varnothing 200,0 mm
360 rpm**

$$V_c = \frac{rpm \times diâmetro \times \pi}{1000} = \frac{rpm \times diâmetro}{318}$$

$$V_c = \frac{360 \times 200,0 \times 3,1416}{1000} = \frac{360 \times 200,0}{318}$$

$$V_c = 226 \text{ m/min}$$

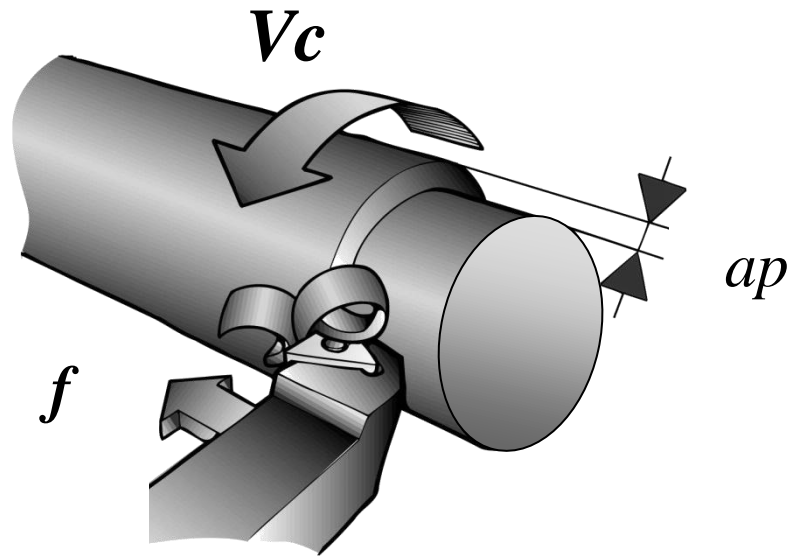
$$rpm = \frac{V_c \times 1000}{diâmetro \times \pi} = \frac{V_c \times 318}{diâmetro}$$



Velocidades de Corte Recomendadas (aproximadas)

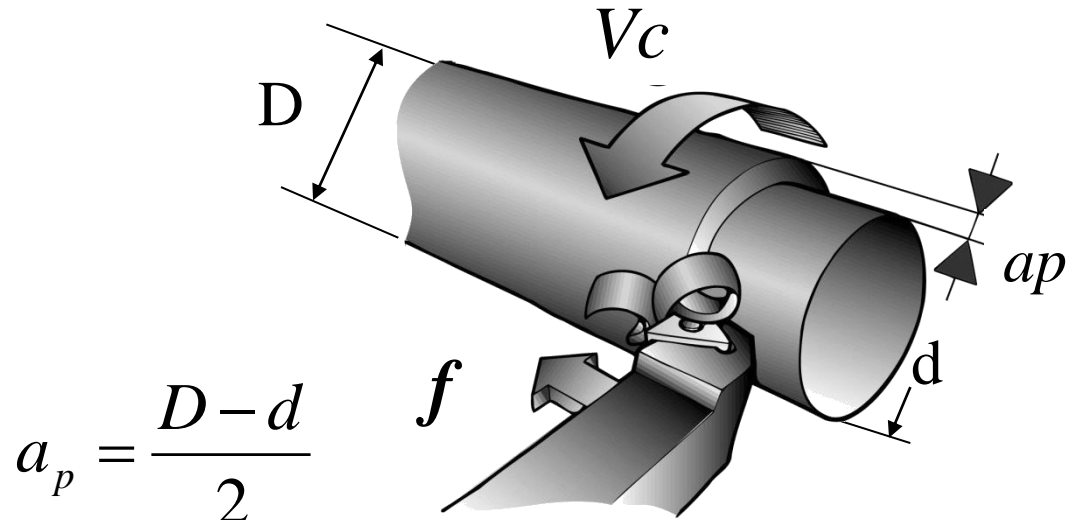
Material da Peça	Velocidade de Corte (m/min)	
	Aço Rápido	Metal Duro
Ligas de Alumínio	180-240	300-420
Ligas de Magnésio	240	600
Ligas de Cobre	30-120	60-300
Aços	30-60	60-180
Aços Inoxidáveis	10-30	60-120
Ligas de Titânio	10-60	30-120
Ferro Fundido	10-30	30-120
Termoplásticos	90-120	120-180

Definição de Avanço (f)



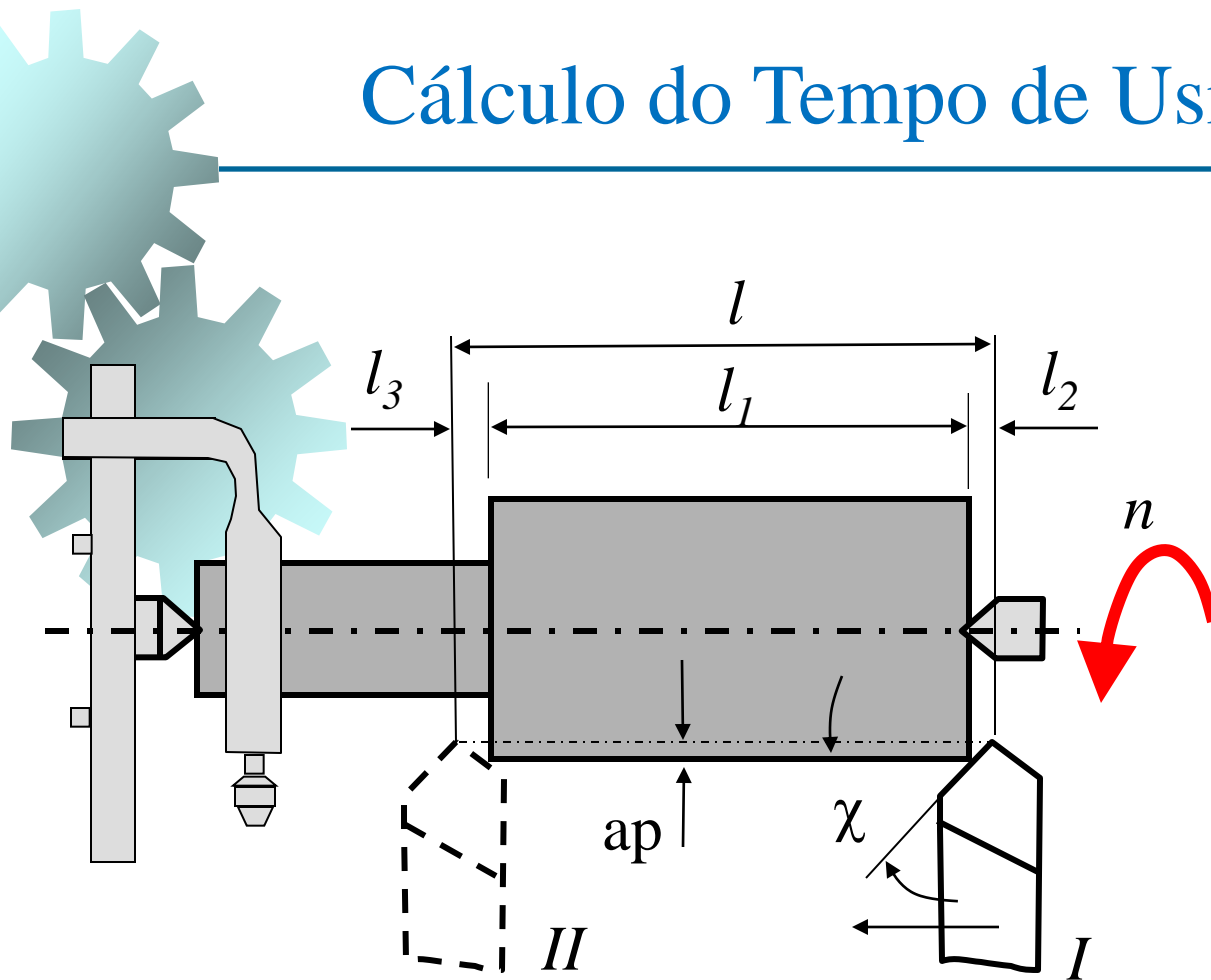
A quantidade relativa de movimento da ferramenta na peça em cada revolução, ciclo ou unidade de tempo. Normalmente medido em milímetros por rotação (mm/rot.).

Definição de Profundidade de usinagem (a_p)



A distância entre o fundo do corte e a superfície da peça, medido perpendicularmente à superfície da peça em milímetros.

Cálculo do Tempo de Usinagem

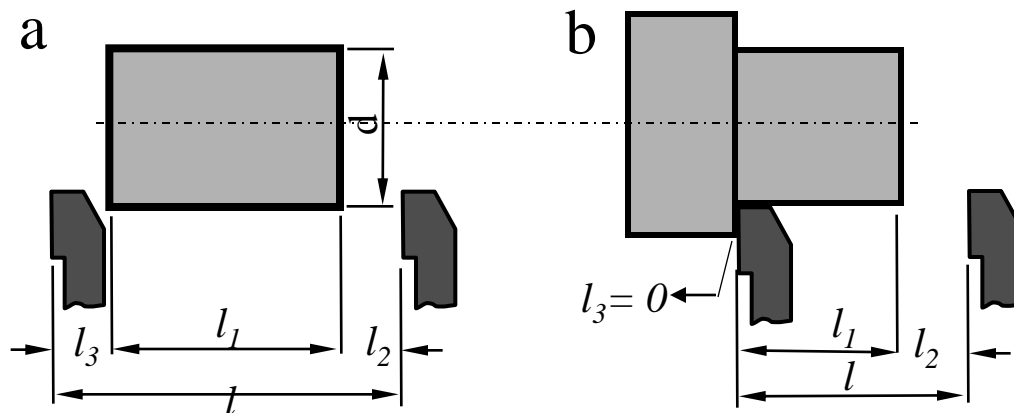


$$t_c = \frac{l}{V_f}$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3$$

$$V_f = f \times n$$

Cálculo do Tempo de Usinagem



Para efeito de cálculo, nessa disciplina, consideraremos que:

a) $l_2 = l_3 = 2$ mm entre pontos

b) $l_2 = 2$ e $l_3 = 0$ com escalonamento

Exemplo

Torneamento externo no comprimento de 100mm, diâmetro de 45mm, com $V_c=180\text{m/min}$ e $f=0,3\text{mm/rev}$.

Solução:

$$l = l_1 + l_2 + l_3 = 100 + 2 + 2 = 104\text{mm}$$

$$V_f = f \times n \quad \text{e} \quad n = (1000V_c)/(\pi D) = 1273 \text{ rpm}$$

$$V_f = 0,3 \times 1273 = 382 \text{ mm/min}$$

$$t_c = 104/382 = 0,27 \text{ min}$$



Condições de operação

As condições de operação controlam 3 *variáveis* importante no corte dos metais:

1. Taxa de remoção de material
2. Vida da ferramenta e
3. Acabamento

Condições de operação

Cada uma dessas variáveis pode ser estimada através das seguintes fórmulas:

1. $Q = V_c * a_p * f$ (mm³/min) – Taxa de remoção
2. $V_c * T^y = C$ – Vida da Ferramenta
3. $R_{teorica} = f^2 / 8R_p$ - Acabamento da peça

Onde:

V_c – velocidade de corte (mm/min),

f avanço (mm/rev);

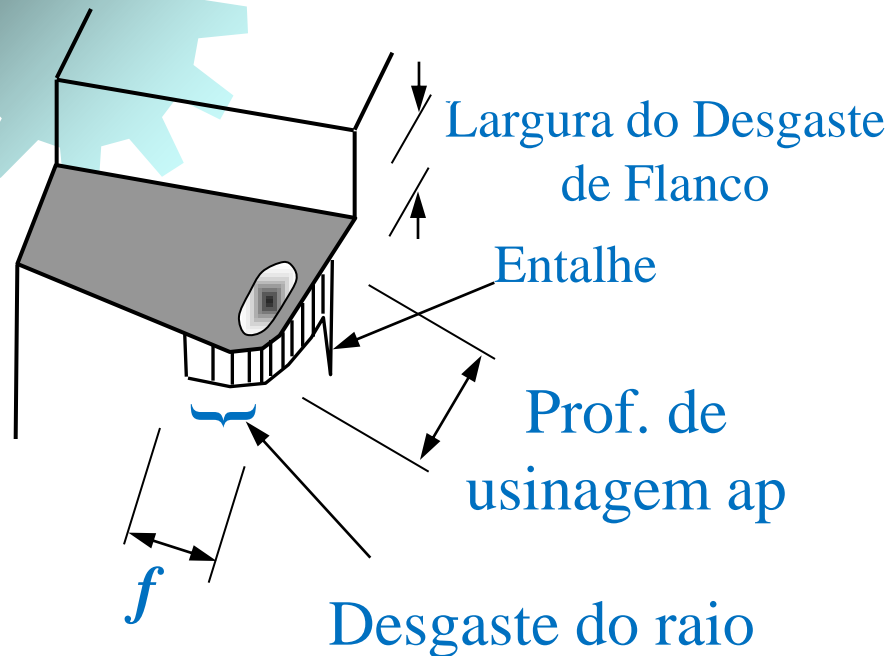
a_p prof. de usinagem (mm),

T é a vida da ferramenta (min),

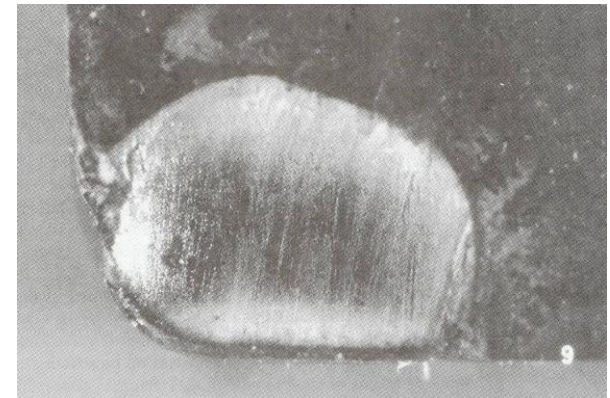
C é a velocidade de corte para uma vida de 1 min (m/min).

Condições de operação

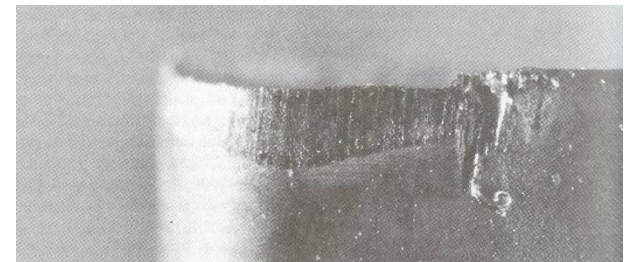
Estimativa de Vida de ferramenta



Desgaste de Cratera



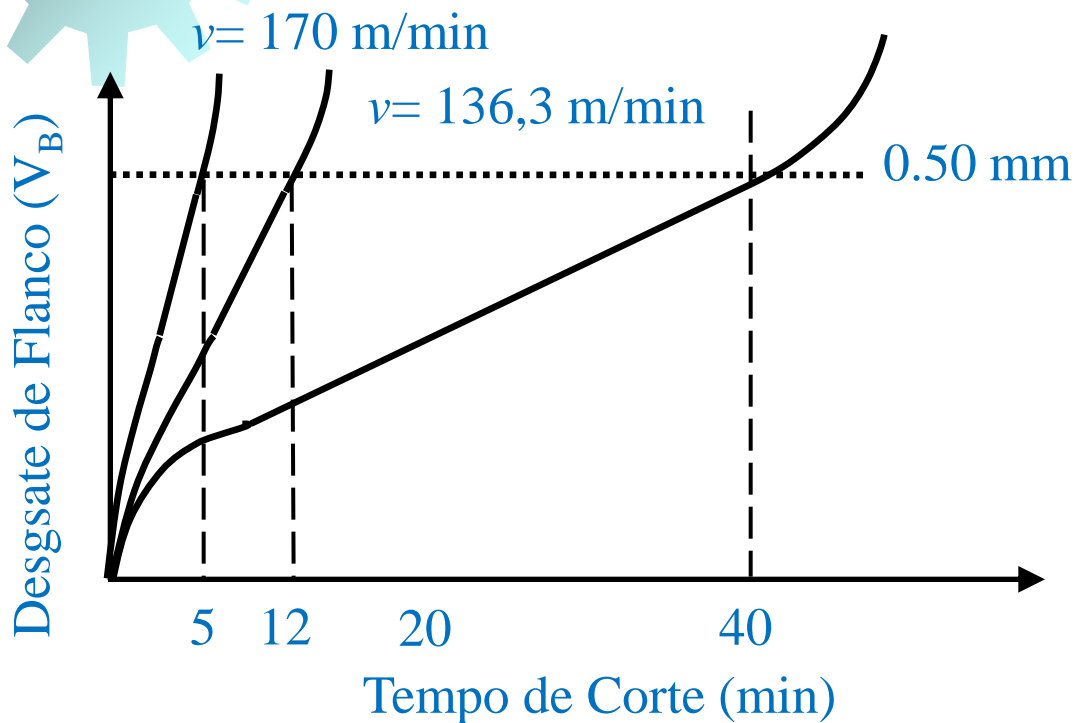
Desgaste de flanco



Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Critério de Desgaste – Flanco $VB = 0,5\text{mm}$ $v = 100\text{ m/min}$



$$vT^y = C$$

$v = \text{velocidade}$

$T = \text{tempo}$

ou

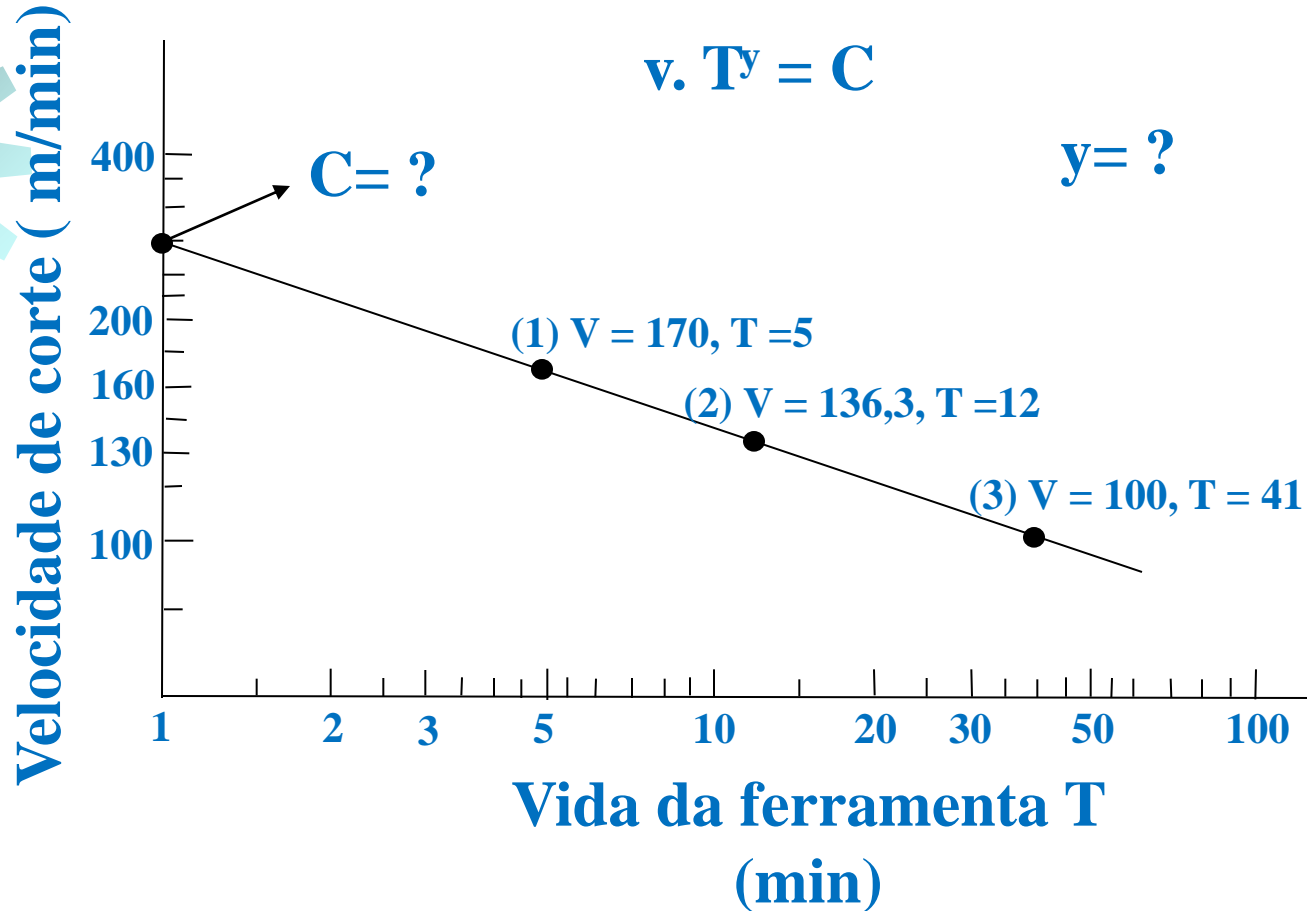
$$Tv^x = K$$

onde

$$y = \frac{1}{x}$$

Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta





Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Para Determinar o valor de C e y no gráfico anterior, selecione dois dos três pontos da curva e resolva a equação simultaneamente

Solução:

Escolha os dois pontos extremos: $v=170 \text{ m/min}$, $T = 5 \text{ min}$, e $v = 100 \text{ m/min}$, $T=41 \text{ min}$, temos que:

$$170(5)^y = C \quad 100(41)^y = C \quad \Rightarrow 170(5)^y = 100(41)^y$$

$$\ln(170) + y(\ln 5) = \ln(100) + y(\ln 41) \Rightarrow 0.5306 = 2.1041y$$

$$y = 0.5306 / 2.1041 = 0.25217 \quad \Rightarrow C = 170(5)^{0.25217} = 255 \text{ m/min}$$



Condições de operação

Estimativa de Vida de ferramenta

Como determinar o valor de K e x a partir dos dados de y e C ?

Solução: Sabemos que $v \cdot T^y = C$ e $y = 1/x$, portanto se elevarmos toda a equação a $1/y$ teremos:

$$V^{1/y} \cdot T^{y/y} = C^{1/y}, \text{ mas } x = 1/y.$$

Sendo assim teremos

$$V^x \cdot T = C^x.$$

Dado que $T \cdot v^x = K$, pode se concluir que:

$$K = C^x$$

Em estudos de usinabilidade utiliza-se V_{60} ao invés de C .

Tabela X.3 pg 466 (Ferraresi)

$$\bar{y} = 0.3 \text{ para MD}$$

$$\bar{y} = 0.15 \text{ para AR}$$

Condições de operação

Valores de y para formula de Taylor para diversos materiais de ferramenta ($v_c T^y = C$)

(valores aprox. em operações de torneamento $f = 0,25$ mm/ver e $a_p = 2,5$ mm. O Termo “Não aço” refere-se a Alumínio, latão e ferro fundido

Muitas vezes os valores recomendados para V_c referem-se a uma vida de 15 min.

$$v_8 = v_{15} \cdot 1,25$$

$$v_{30} = v_{15} \cdot 0,8$$

$$v_{60} = v_{15} \cdot 0,6$$

Material de Ferramenta/material da peça	y	C
Aços rápidos Não ferrosos Aços	0,1	120 70
Ligas fundidas Não ferrosos Aços	0,1 0,1	70 20
Metal duro Sem Cobertura Não ferrosos Aços	0,25 0,1	900 500
Metal duro com Cobertura Não aço Aços	- 0,25	- 700
Cerâmica Não aço Aços	- 0,6	- 3000
CERMET Não aço Aços	- 0,25	- 600

Condições de operação

Table 7.8 Cutting speeds v_c for steels at turning with cemented carbide for $T = 15$ min (v_{c15} values)

Material	Strength or hardness in N/mm ²	Cutting material	a_p in mm	Feed f in mm						Wear criterion	Transformation factors for		
				0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0		$T = 8$	$T = 30$	$T = 60$
S 185–S 275 JR C 15–C 22 mild- and case hardening steel	400—500	P 10	1	450	420	400	380	—	—	VB 0,2 K 0,3	1,25	0,80	0,60
			2	420	400	370	350	—	—				
			4	—	370	350	330	310	300				
		P 20	1	440	400	390	380	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	380	350	330	310	290	—				
			4	350	330	310	290	270	250				
		P 30	1	—	—	—	—	—	—	VB 0,5 K 0,3			
			2	—	350	330	300	280	—				
			4	—	320	300	280	240	220				
E 295 C 35–C 45, Ck 35 mild steel and case hardening, heat-treated steel 16MnCr5 20MnCrS5 tool and heat-treated steel	500—800 1600—2000 HB	P 10	1	370	340	320	300	—	—	VB 0,2 K 0,3	1,20	0,80	0,65
			2	340	310	290	280	260	—				
			4	320	290	280	260	240	—				
		P 20	1	320	290	270	250	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	290	270	250	230	210	—				
			4	280	250	230	210	190	180				
		P 30	1	—	—	—	—	—	—	VB 0,5 K 0,3			
			2	—	260	230	200	180	—				
			4	—	240	210	190	170	150				
E 335 Ck 45, Ck 60 mild- and heat-treated steel 50CrV4 42CrMo4 50CrMo4 heat-treated steel	750—900 1000—1400	P 10	1	330	290	260	230	—	—	VB 0,2 K 0,3	1,15	0,85	0,70
			2	310	270	240	220	200	—				
			4	280	250	220	200	180	170				
		P 20	1	300	270	240	220	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	270	240	220	200	180	—				
			4	250	220	200	180	160	140				
		P 30	1	—	—	—	—	—	—	VB 0,5 K 0,3			
			2	—	220	190	160	140	120				
			4	—	200	170	140	130	110				

Condições de operação

Table 7.9 Cutting speeds v_c for cast steel, grey cast iron and non-ferrous metals for turning for $T = 15$ min (v_{c15} values)


Material	Strength or hardness in N/mm ²	Cutting material	a_p in mm	Feed f in mm						Wear criterion	Transformation factors for		
				0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0		$T = 8$	$T = 30$	$T = 60$
GE 200–GE 240 cast steel	300—450	P 10	1	380	350	320	300	—	—	VB 0,3 K 0,3	1,20	0,80	0,65
			2	360	330	300	280	—	—				
			4	330	300	280	260	230	210				
		M 20	1	—	—	220	190	180	—	VB 0,3 K 0,3			
			2	—	—	210	180	150	130				
			4	—	—	200	170	140	120				
GJL 100–GJL 400 grey cast iron	1400—1800 HB	M 10	1	300	270	250	230	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	280	250	230	210	190	—				
			4	270	250	230	210	200	180				
		K 10	1	230	200	180	160	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	210	190	170	150	130	—				
			4	190	170	150	130	110	100				
GJL 100–GJL 400 grey cast iron	2000—2200 HB	K 20	1	150	130	110	100	—	—	VB 0,6			
			2	140	120	100	90	80	—				
			4	130	110	100	90	80	70				
CuZn42–CuZn37 brass	800—1200 HB	K 10 K 20	1	600	550	500	—	—	—	VB 0,4 K 0,3			
			2	550	500	450	420	400	—				
			4	500	480	450	420	400	380				
Al alloy 9–13 % Si	600—1000 HB	SS	1	120	90	70	50	40	35	VB 0,4 K 0,3			
			2	100	80	60	40	30	30				
			4	—	—	—	—	—	—				
		K 10	1	550	500	480	450	—	—				
			2	500	480	460	420	380	340				
			4	—	—	400	370	340	300				

Condições de operação

Table 7.10 Cutting speeds for turning with ceramic tools
(excerpt from company documentation, Degussa, Frankfurt)

Material	Strength R_m (N/mm ²)	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
Mild steels: E 295–E 360 Tempering steels: C 35, CK 35, C 45, CK 45 a.o.	500 ... 800	0,3–0,5 0,1–0,3	300–100 500–200	roughing finishing
Tempering steels: C 60, CK 60, 40 Mn 4, 30 Mn 5, 37 MnSi 5, 34 Cr 4, 41 Cr 4, 25 CrMo 4, 34 CrMo 4, a.o.	800 ... 1000	0,2–0,4 0,1–0,3	250–100 400–200	roughing finishing
Tempering steels: 42 MnV, 42 CrMo 4, 50 CrMo 4, 36 CrNiMo 4, 34 CrNiMo 6 a.o.	1000 ... 1200	0,2–0,4 0,1–0,3	200–100 350–200	roughing finishing
Unalloyed cast steel GE 260 Alloyed cast steel G 20 Mn 5 G 24 MnMo 5 G 22 CrMo 5 a.o.	500 ... 600	0,3–0,6 0,1–0,3	300–100 500–200	roughing finishing

Condições de operação



Material	Hardness HRC	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
Hot forming tool steels, Die steels	45–55	0,05–0,2	150–50	Finish-turning
Cold work steels, ball bearing steels	55–60	0,05–0,15	80–30	Finish-turning
Cold work steels, High speed steels	60–65	0,05–0,1	50–20	Finish-turning

Table 7.10 Cutting speeds for turning with ceramic tools
(excerpt from company documentation, Degussa, Frankfurt)

Material	Brinell-hard- ness HB	Feed f (mm)	Cutting speed v_c (m/min)	Type of machining
GJL 100–GJL 250	1400 ... 2200	0,3–0,8 0,1–0,3	300–100 400–200	Roughing Finishing
GJL 300 Special cast iron 40 GG alloyed	2200 ... 3500	0,2–0,6 0,1–0,3	250–80 300–100	Roughing Finishing
Brass: Ms 63, (CuZn 37)	800	0,3–0,8 0,1–0,3	500–300 1000–400	Roughing Finishing
Aluminium alloys	600 ... 1200	0,3–0,8 0,1–0,3	1000–600 2000–800	Roughing Finishing



Condições de operação

Table 7.11 Cutting speeds for turning with diamond
(excerpt from company documentation, Winter & Sohn, Hamburg)

Material	f in mm	a_p in mm	v_c in m/min
Al alloy (9–13 % Si)	0,04	0,15	300–500
Al- extrusion special alloy 12 % Si–120 HB	0,25	0,4	200–500
Electrolyte copper	0,05–0,1	0,05–0,4	140–400
Brass	0,03–0,08	0,5–1,4	80–400
Plastics PTFE with 20% glass fibre	0,12–0,18	0,5–3,0	130–170



Condições de operação

Acabamento de Superfície através de torneamento

Valores de referência: 0,025 até 25 μm Ra

Valores comuns: 0,40 até 6,3 μm Ra (N5 a N9)

<i>Rugosidade Ra (μm)</i>	Graduação de Rugosidade
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1



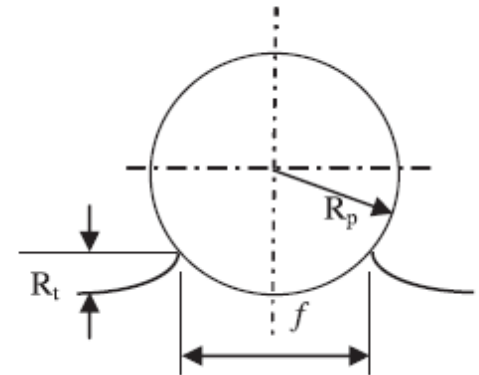
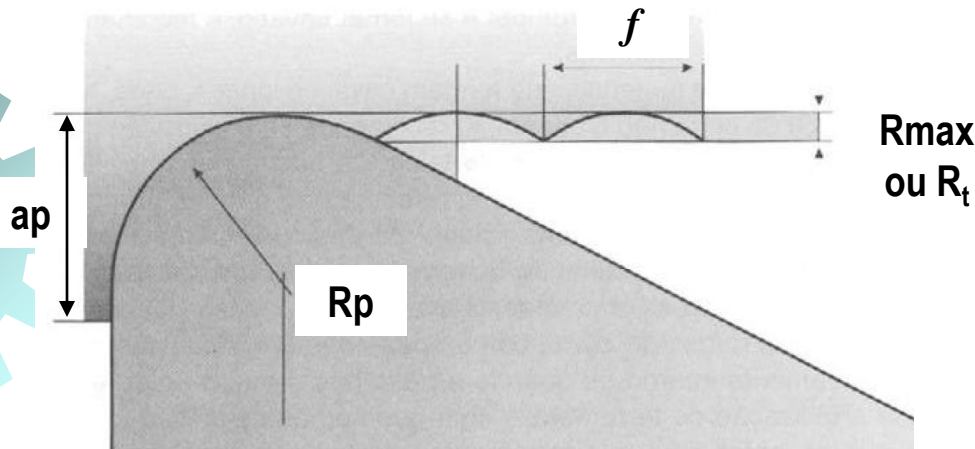
Condições de operação

Os valores de acabamento podem, teoricamente, ser calculados através da seguinte equação:

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8 \cdot R_p}$$

onde f é o avanço (mm/rev) e R_p é o raio de ponta da ferramenta

Condições de operação



Usando Pitágoras

$$R_p^2 = (R_p - R_t)^2 + \frac{f^2}{4}$$

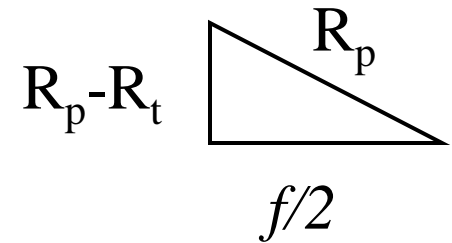
$$R_p^2 = R_p^2 - 2R_p R_t + R_t^2 + \frac{f^2}{4}$$

R_t^2 é muito pequeno

para

$$R_t = \frac{f^2}{8R_p}$$

$R_p \gg f$



$$R_a = \frac{0,0321 \cdot f^2}{R_p}$$

Condições de operação

$$R_a = \frac{f^2}{18\sqrt{3} \cdot R_p}$$

$$R_a = \frac{0,0321 \cdot f^2}{R_p}$$

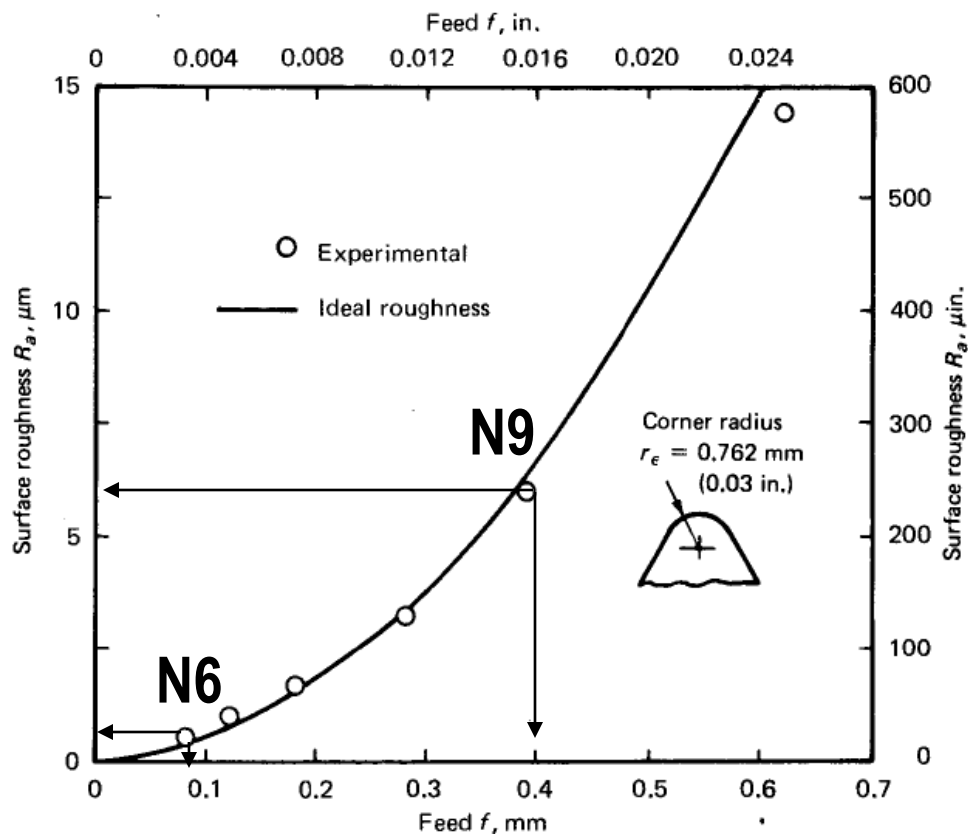
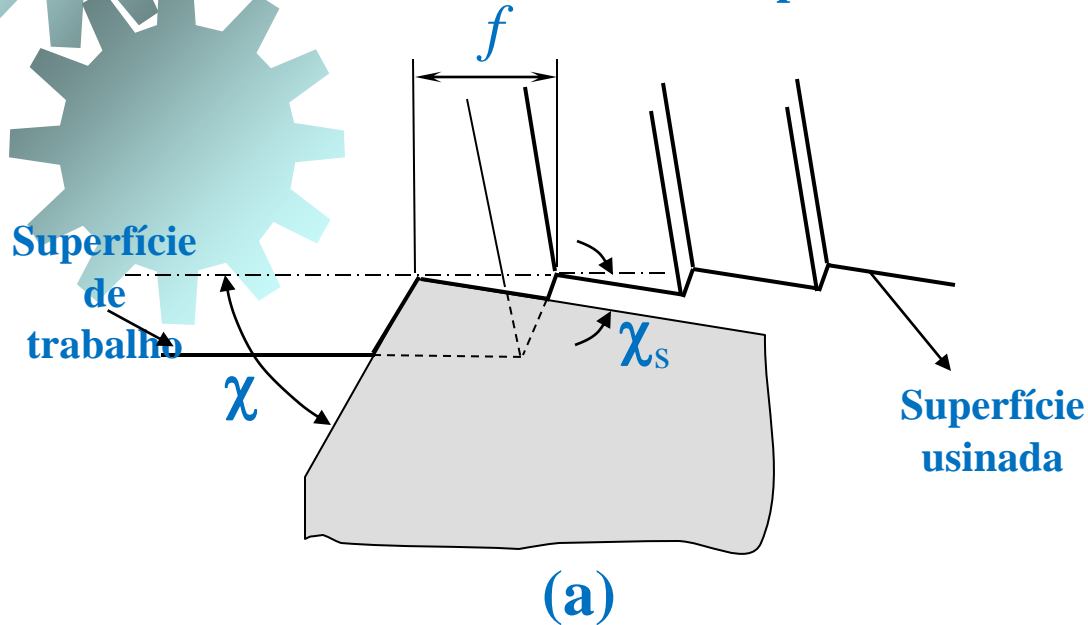


FIG. 5.8 Comparison of experimental results with an idealized model of surface roughness.

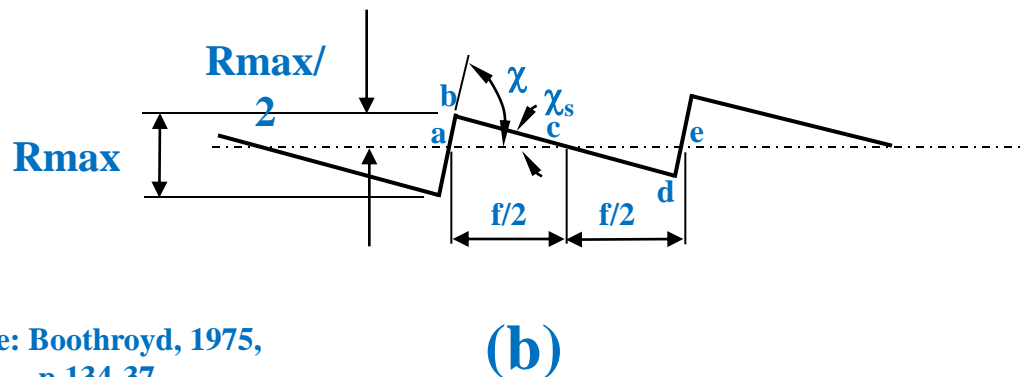
Condições de operação

Superfície ideal obtida com ferramenta com ponta seca



- A rugosidade pode ser representada por um índice muito usado denominando de média aritmética R_a .

- No perfil mostrado na figura (b), mostra a área sob análise, uma linha média é traçada paralela a direção da superfície e divide a superfície de tal forma que a soma da área formada acima sejam igual a soma das área formadas abaixo da linha.



- O valor da rugosidade R_a é dado pela soma dos valores absolutos de todas as áreas acima e abaixo da linha média dividido pelo comprimento amostral.

Superfície
de
trabalho



(b)

$$Ra = \frac{|abc| + |cde|}{f} \quad (1)$$

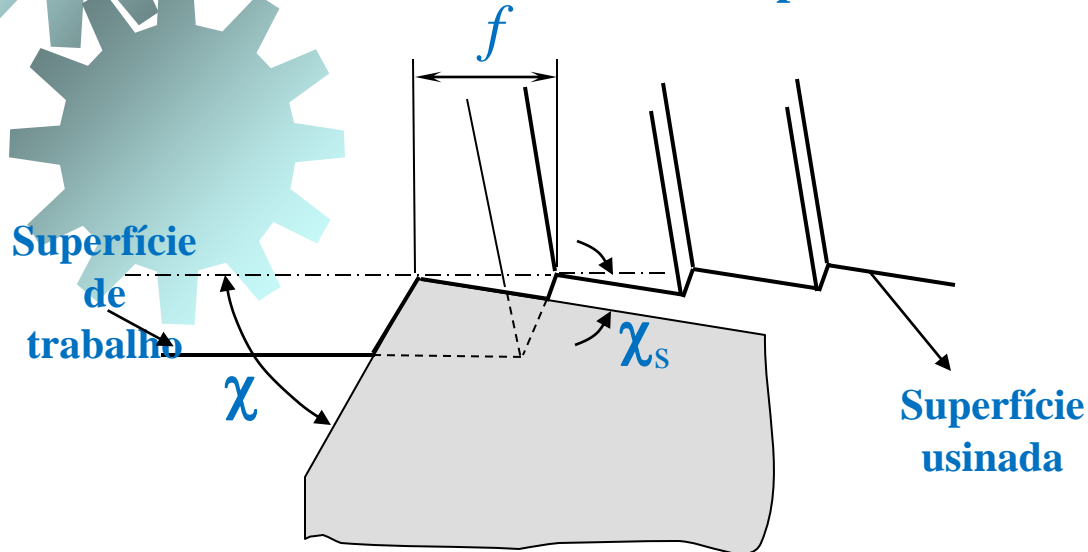
Dado que as áreas abc e cde sejam iguais, então

$$R_a = \frac{2}{f} |abc| = \frac{R_{\max}}{4} \quad (2)$$

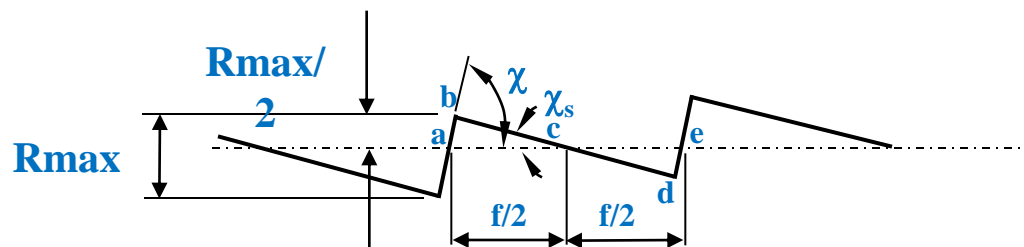
Onde $R_{\max}/2$ é a altura do triângulo abc.

Condições de operação

Superfície ideal obtida com ferramenta com ponta seca



(a)



(b)

É interessante observar que o valor da média aritmética da rugosidade para uma superfície tendo triângulos como irregularidades seja igual a $\frac{1}{4}$ da máxima altura das irregularidades.

Geometricamente,

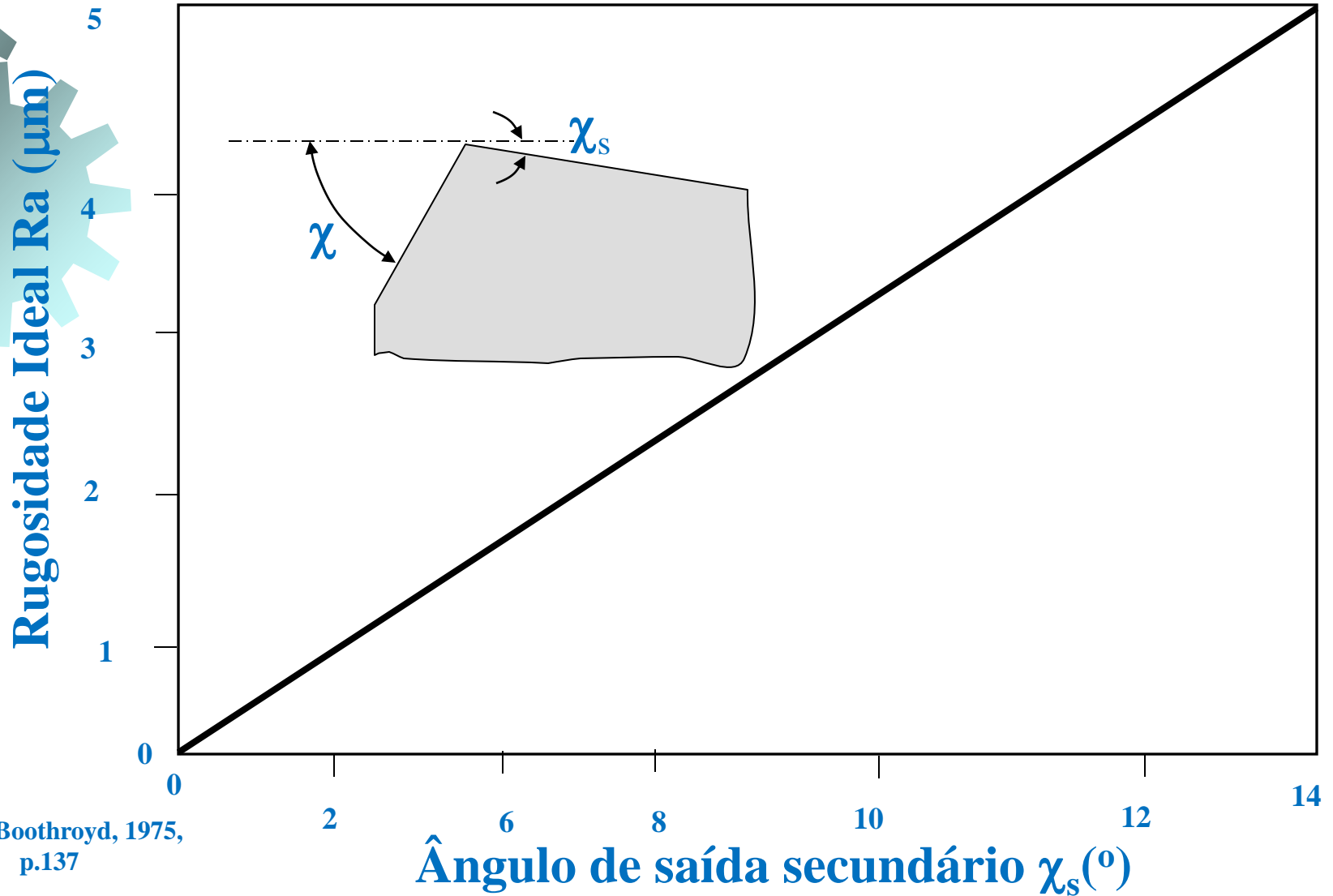
$$R_{max} = \frac{f}{\cot \chi + \cot \chi_s} \quad (3)$$

Substituindo a eq. (3) na eq. (2) tem-se:

$$R_a = \frac{f}{4(\cot \chi + \cot \chi_s)} \quad (4)$$

A eq. (4) mostra que o valor aritmético médio de tal superfície é diretamente proporcional ao avanço.

Condições de operação

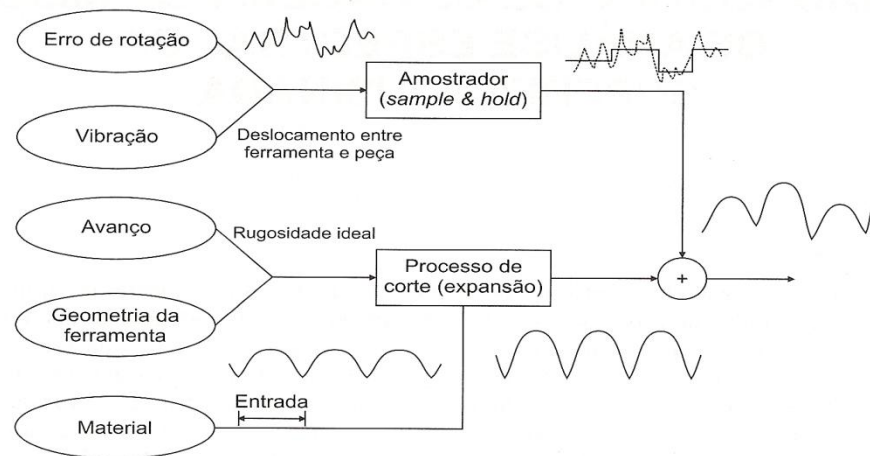


Fonte: Boothroyd, 1975,
p.137

Condições de operação

Outros fatores que pode contribuir para rugosidade da peça:

- 1) Ocorrência de vibração da Máquina**
- 2) Imprecisão nos movimentos da maquinas (folgas)**
- 3) Irregularidade do mecanismo de avanço**
- 4) Defeitos na estrutura do material**
- 5) Cavacos descontínuos na usinagem de materiais frágeis (duros)**
- 6) imperfeições em materiais dúcteis usinados com baixas velocidades de corte**
- 7) Danos causados pelo contato com cavaco.**



Condições de operação

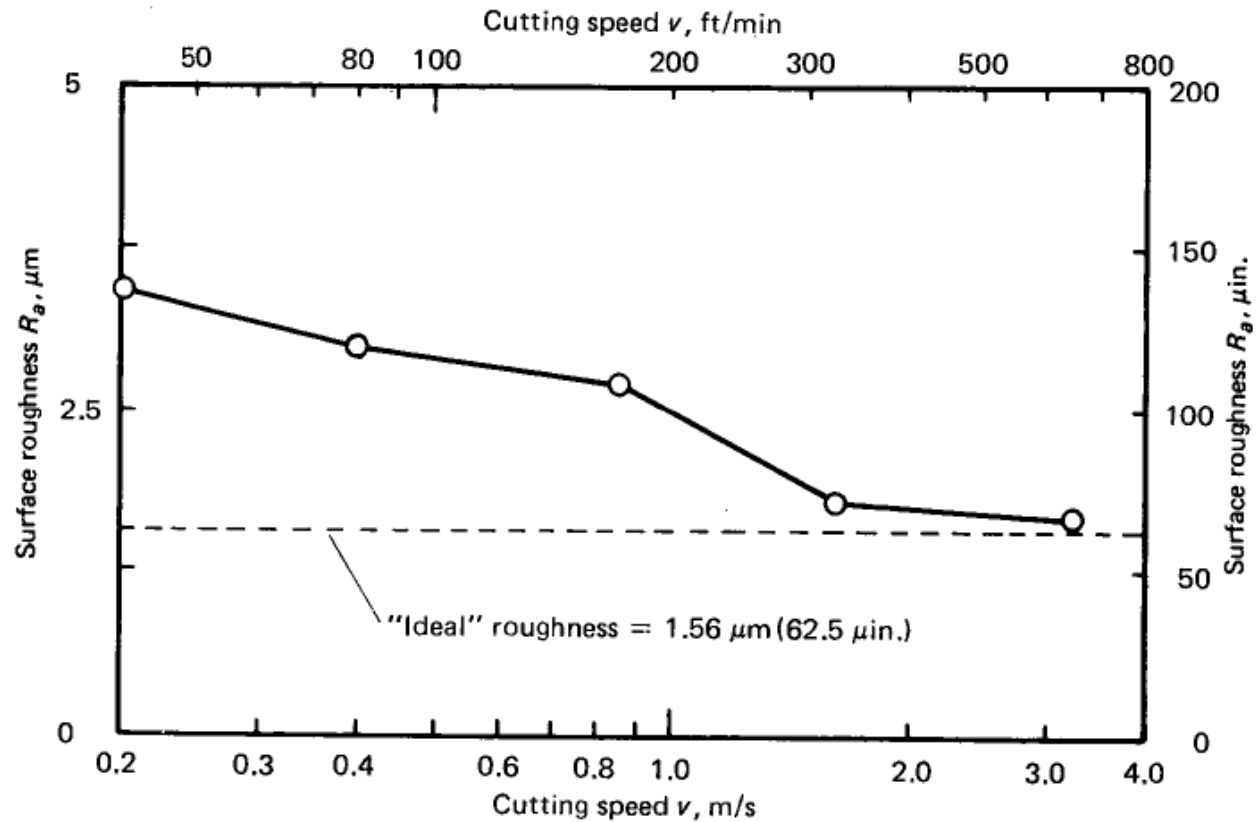


FIG. 5.9 Effect of cutting speed on the surface roughness of turned specimens of mild steel.

Condições de operação

Tabela 1 - Recomendações gerais para operações de torneamento

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Aço de baixo carbono	Carbeto sem cobertura	1,5 – 6,3	0,35	90	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	60 – 135
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,5 – 6,3	0,35	245 - 275	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	120 – 425
	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 6,3	0,35	185 - 200	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	90 - 245
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 6,3	0,35	105 - 150	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	60 – 230
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,5 – 6,3	0,25	395 – 440	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	365 – 550
	Cermet	1,5 – 6,3	0,30	215 - 290	0,5 – 7,6	0,15 – 1,1	105 – 455
Aços de Médio e alto carbono	Carbeto sem cobertura	1,2 – 4,0	0,30	75	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	45 – 120
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,2 – 4,0	0,30	185 – 230	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	120 – 410
	Carbeto com tripla cobertura	1,2 – 4,0	0,30	120 – 150	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	75 – 215
	Carbeto com cobertura de TiN	1,2 – 4,0	0,30	90 – 200	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	45 – 215
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,2 – 4,0	0,25	335	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	245 – 455
	Cermet	1,2 – 4,0	0,25	170 – 245	2,5 – 7,6	0,15 – 0,75	105 – 305

Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Ferro fundido cinzento	Carbeto sem cobertura	1,25 – 6,3	0,32	90	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	75 – 185
	Carbeto com cobertura de cerâmica	1,25 – 6,3	0,32	200	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	120 – 365
	Carbeto com cobertura de TiN	1,25 – 6,3	0,32	90 – 135	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	60 – 215
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	1,25 – 6,3	0,25	455 – 490	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	365 – 855
	Cerâmica SiN	1,25 – 6,3	0,32	730	0,4 – 12,7	0,1 – 0,75	200 – 990
Aço inoxidável austenítico	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 4,4	0,35	150	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	75 – 230
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 4,4	0,35	85 – 160	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	55 – 200
	Cermet	1,5 – 4,4	0,30	185 – 215	0,5 – 12,7	0,08 – 0,75	105 – 290
Ligas a base de Níquel	Carbeto sem cobertura	2,5	0,15	25 – 45	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	15 – 30
	Carbeto com cobertura de cerâmica	2,5	0,15	45	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	20 – 60
	Carbeto com cobertura de TiN	2,5	0,15	30 – 55	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	20 – 85
	Cerâmica – Al ₂ O ₃	2,5	0,15	260	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	185 – 395
	Cerâmica SiN	2,5	0,15	215	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	90 – 215
	CBN policristalino	2,5	0,15	150	0,25 – 6,3	0,1 – 0,3	120 – 185
Ligas de Titânio	Carbeto sem cobertura	1,0 – 3,8	0,15	35 – 60	0,25 – 6,3	0,1 – 0,4	10 – 75
	Carbeto com cobertura de TiN	1,0 – 3,8	0,15	30 – 60	0,25 – 6,3	0,1 – 0,4	10 – 100

Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Ligas de Alumínio como recebido	Carbeto sem cobertura	1,5 – 5,0	0,45	490	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	200 - 670
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 5,0	0,45	550	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	60 - 915
	Cermet	1,5 – 5,0	0,45	490	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	215 - 795
	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,45	760	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	305 - 3050
Silício	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,45	530	0,25 – 8,8	0,08 – 0,62	365 - 915
Ligas de Cobre	Carbeto sem cobertura	1,5 – 5,0	0,25	260	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	105 - 535
	Carbeto coberto com cerâmica	1,5 – 5,0	0,25	365	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	215 - 670
	Carbeto com tripla cobertura	1,5 – 5,0	0,25	215	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	90 - 305
	Carbeto com cobertura de TiN	1,5 – 5,0	0,25	90 - 275	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	45 - 455
	Cermet	1,5 – 5,0	0,25	245 - 425	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	200 - 610
	Diamante policristalino	1,5 – 5,0	0,25	520	0,4 – 7,51	0,15 – 0,75	275 - 915
Ligas de Tungstênio	Carbeto sem cobertura	2,5	0,2	75	0,25 – 5,0	0,12 – 0,45	55 - 120
	Carbeto com cobertura de TiN	2,5	0,2	85	0,25 – 5,0	0,12 – 0,45	60 - 150



Condições de operação

Material de trabalho	Ferramenta de Corte	Propósito para condições iniciais de corte			Condições para desbaste e acabamento		
		Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)	Profundidade de corte mm (ap)	Avanço mm/rev (f)	Velocidade de Corte m/min (Vc)
Termoplástico e termorígido	Carbeto com cobertura de TiN	1,2	0,12	170	0,12 – 5,0	0,08 – 0,35	90 – 230
	Diamante policristalino	1,2	0,12	395	0,12 – 5,0	0,08 – 0,35	150 - 730
Compósitos, reforçados com grafita	Carbeto com cobertura de TiN	1,9	0,2	200	0,12 – 6,3	0,12 – 1,5	105 - 290
	Diamante policristalino	1,9	0,2	760	0,12 – 6,3	0,12 – 1,5	550 - 1310



Aulas de Laboratório: Recomendações

1. Óculos de segurança **DEVEM** ser usados o tempo todo

2. Sapatos fechados (couro preferencialmente) – chinelo, sandálias sapatos abertos estão **PROIBIDOS**

3. Não usar roupas largas no laboratório.

4. Não usar dispositivos que tirem a atenção: celulares, iPods, etc.

5. Conduta profissional, incluindo a linguagem.

6. Relatem qualquer fator de insegurança aos técnicos e/ou professores

7. Nunca se aproximem da pessoa que esteja operando um equipamento pelo lado “CEGO”

8. Identifique perigos associados a máquina antes das operações.

9. Se você quebrar ou danificar algo, reportem-se ao Professor reponsável imediatamente.

10. Deixe organizado e limpo o local que você ocupou.

11. Cabelos longos devem ser usados permanentemente presos.