



SEM-0534

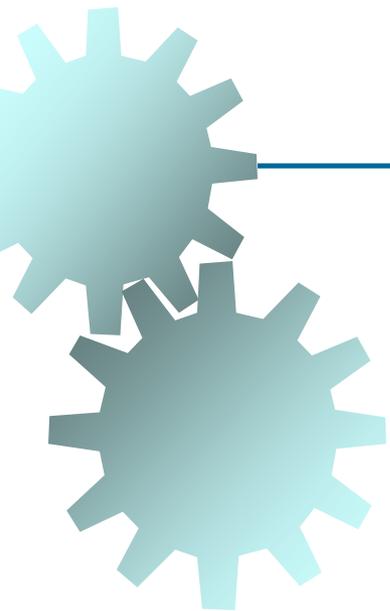
Processos de Fabricação Mecânica

Furação

Alargamento

Roscamento

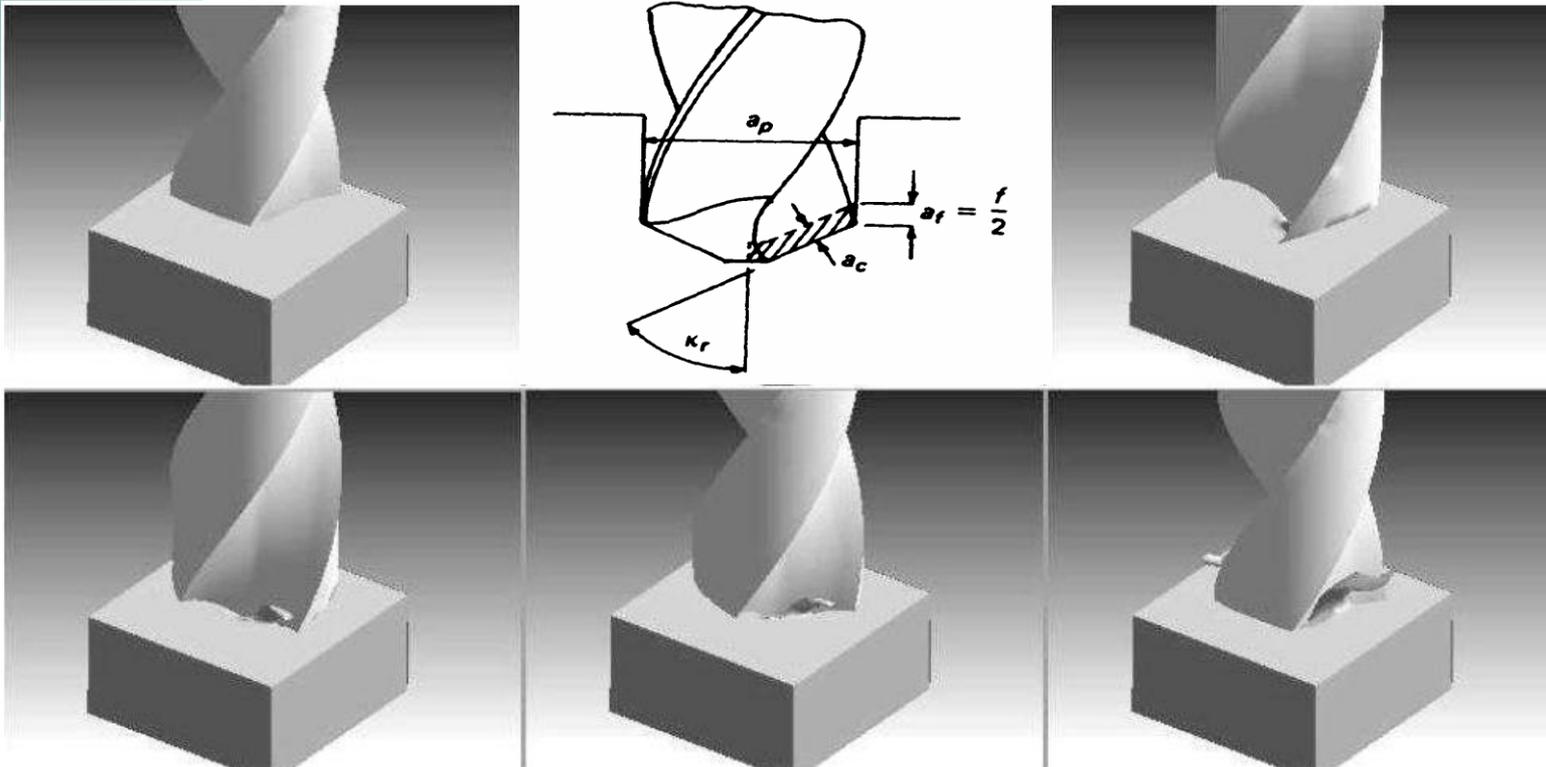
Mandrilamento



Processo de Furação

FURAÇÃO - Definição

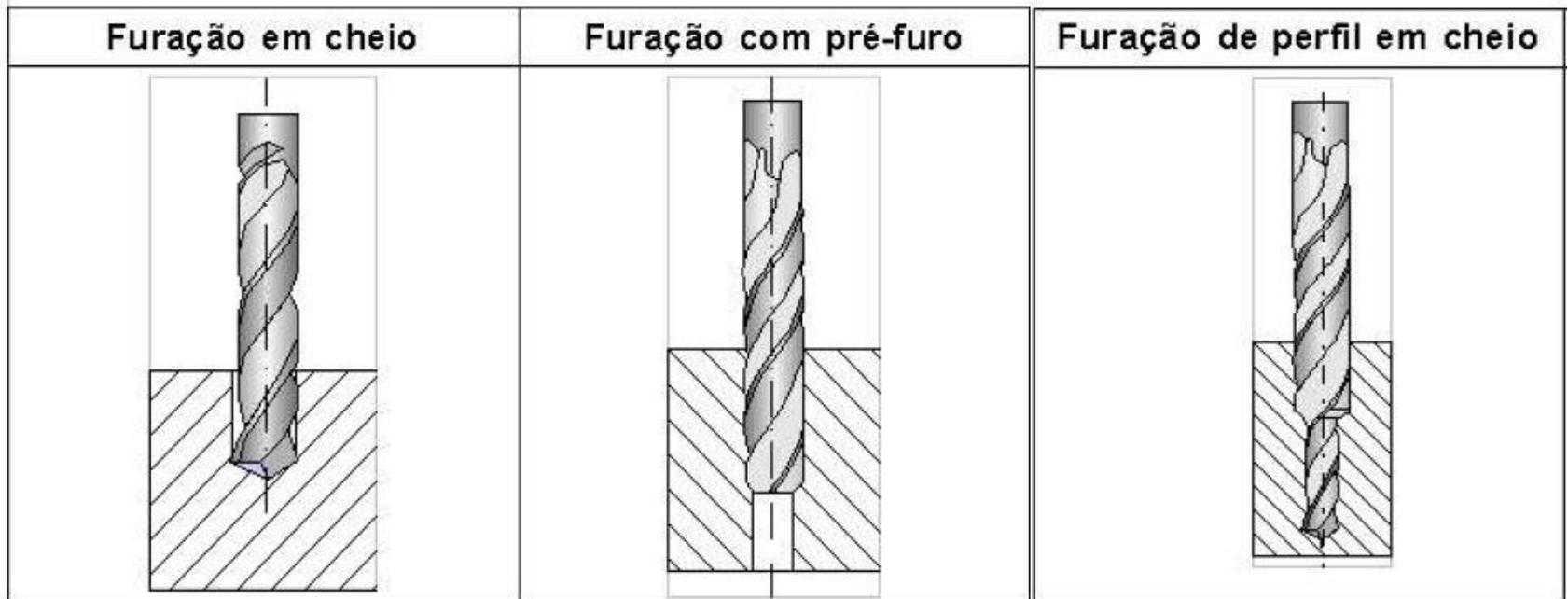
Processo de usinagem onde movimento de corte principal é rotativo, e o movimento de avanço é na direção do eixo.



Simulação do processo de furação (www.deform.de)

Furação - Generalidades

Tipos de Operações



Furação – Partes da Broca

Tipos de Brocas

Broca helicoidal com haste cilíndrica

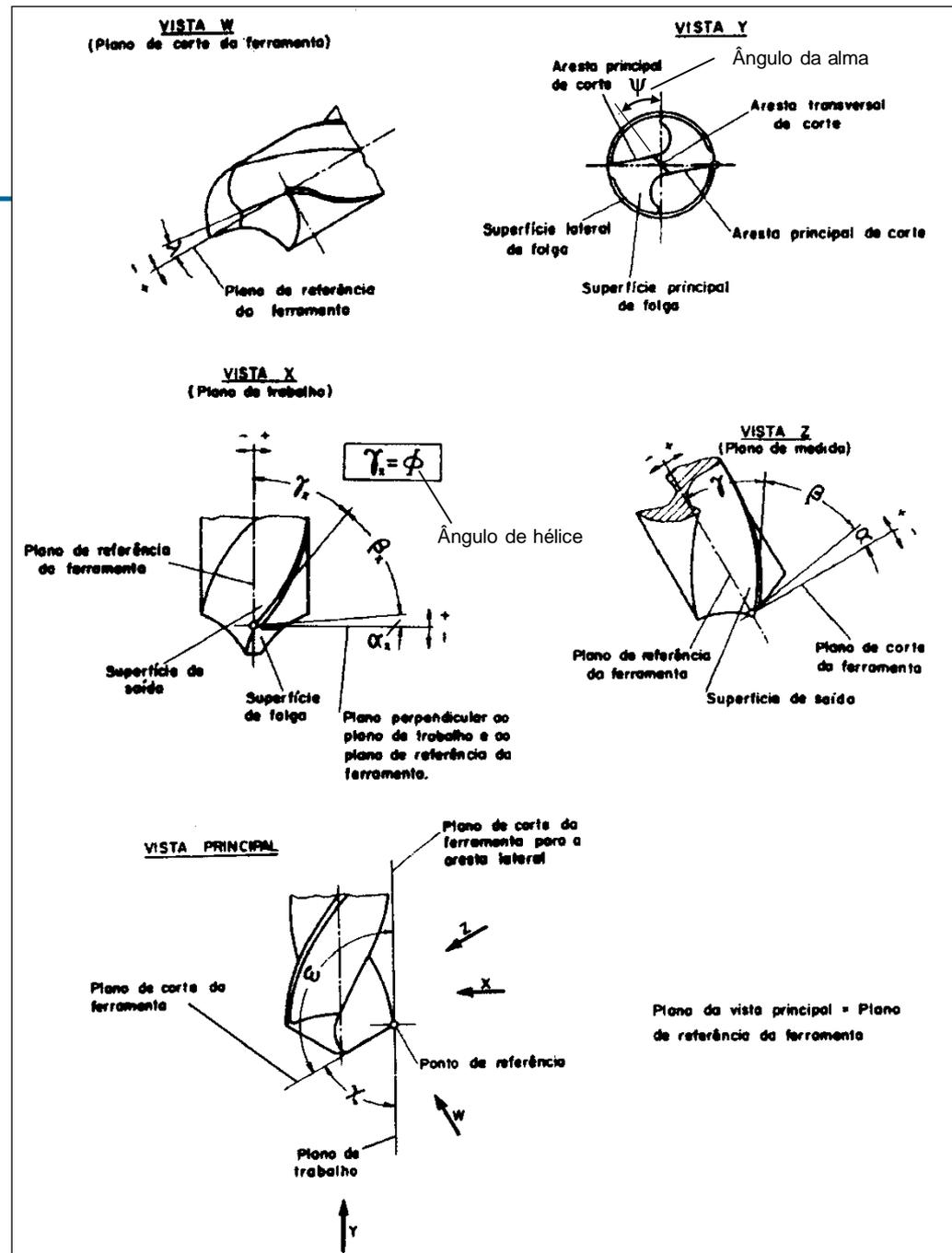


Broca helicoidais com cone Morse



Terminologia

Ângulos da Broca





Furação - Generalidades

- **Processo de maior importância - 20 a 25% do total de aplicações dos processos de usinagem**
- **A broca helicoidal é a ferramenta mais fabricada e mais difundida para usinagem**
- **Utilização em furos curtos ou profundos**
- **Utilização na furação em cheios ou com pré-furo.**

Furação - Generalidades

Operação de usinagem extensivamente usada na **indústria aeroespacial**

Em uma aplicação aeroespacial típica, os **custos de furação, montagem e submontagem** são da ordem de **50% dos custos totais** de manufatura das estruturas (airframes) mais comuns.

Um **caça** possui entre **250.000 a 400.000 furos**

Um **cargueiro ou bombardeiro** entre **1.000.000 e 2.000.000 furos**.

Dessa forma os custos com usinagem tornou-se um dos principais fatores de custos de produção em aplicações aeroespaciais.

Um asa de uma **aeronave comum** pode ter até **500 furos**.



Furação - Genaralidades

A velocidade de corte vai de um valor máximo na periferia da broca até o valor zero no seu centro

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$r \rightarrow 0$; $vc \rightarrow 0$; $r \rightarrow r \text{ max}$; $vc \rightarrow vc \text{ max}$

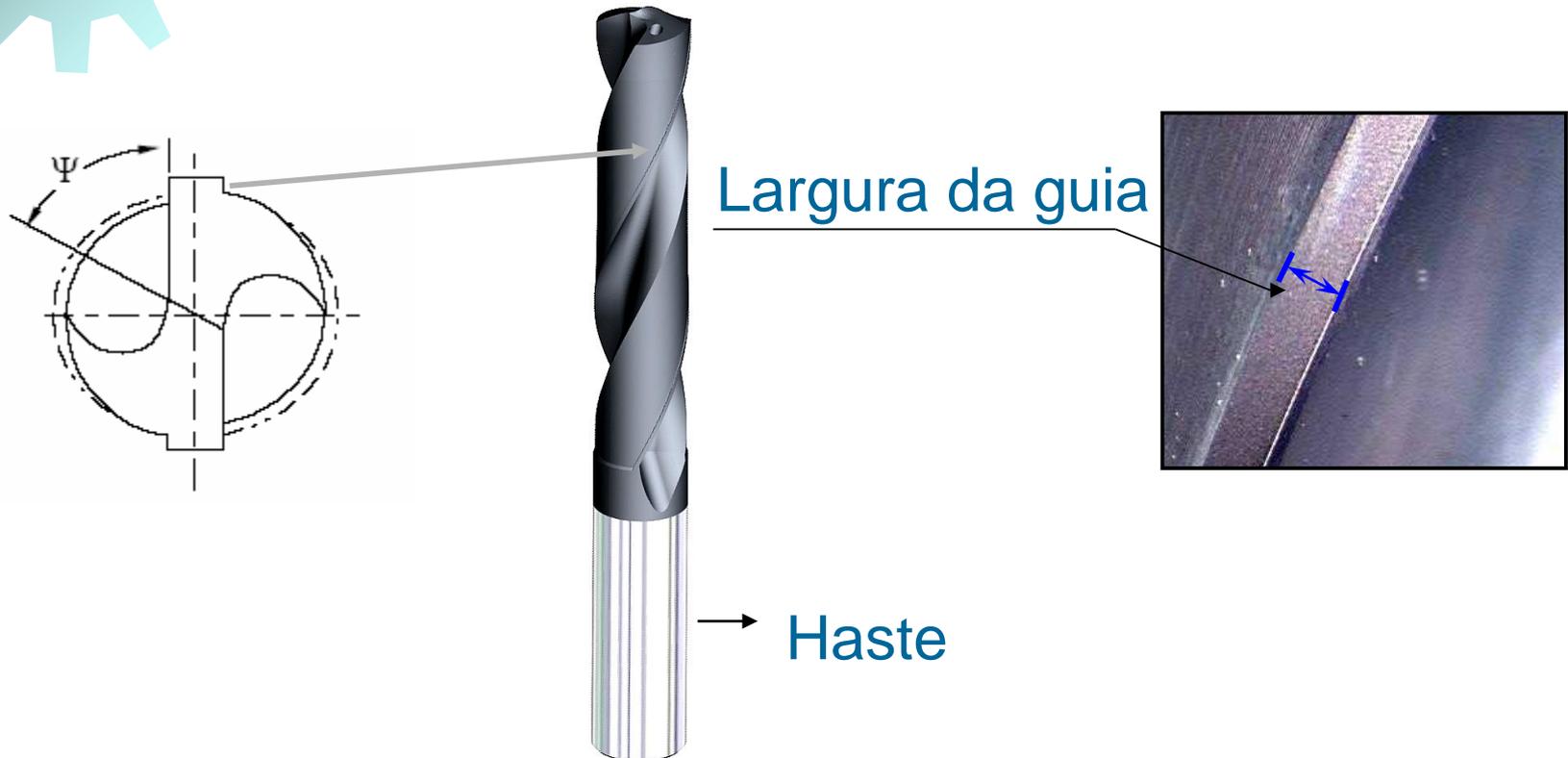


- Dificuldade no transporte dos cavacos para fora da região do corte
- Distribuição não adequada de calor na região do corte
- Desgaste acentuado nas quinas com canto vivo
- Atrito das guias nas paredes do furo

Furação – Terminologia

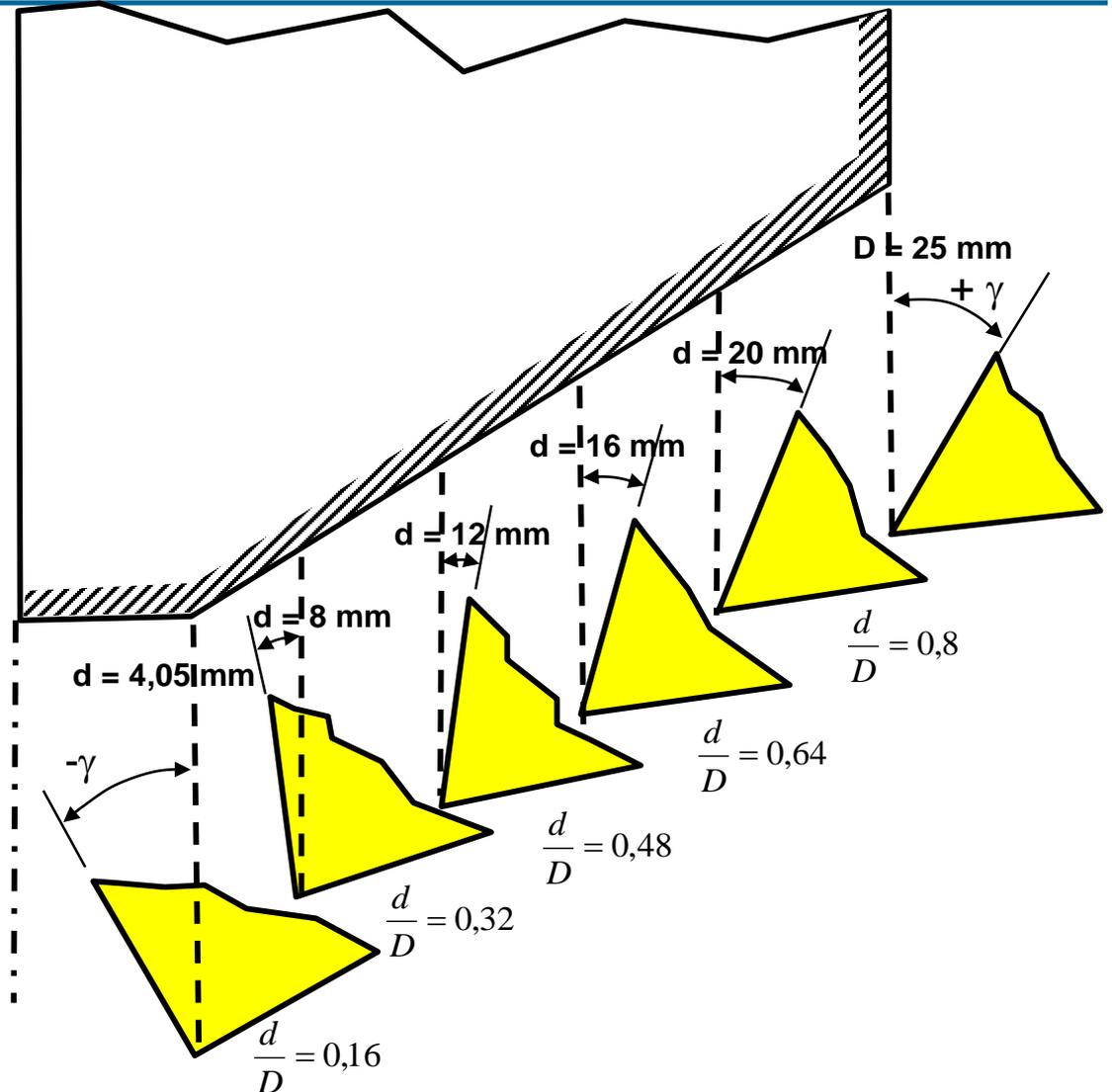
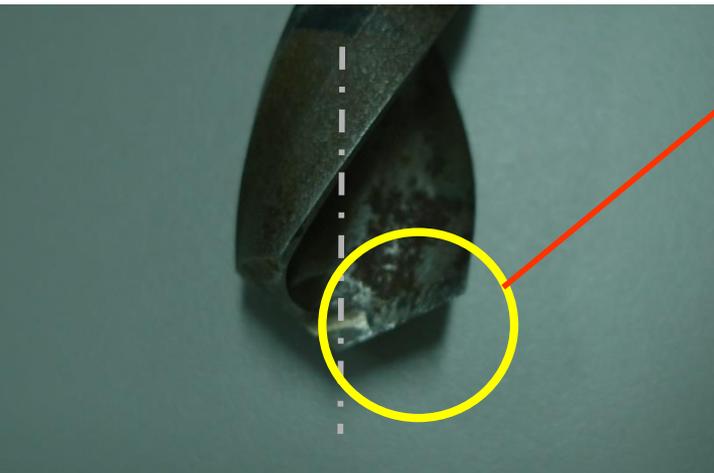
Geometria de brocas helicoidais

- Guia reduz atrito com as paredes e direciona a broca
- Haste: fixação na máquina



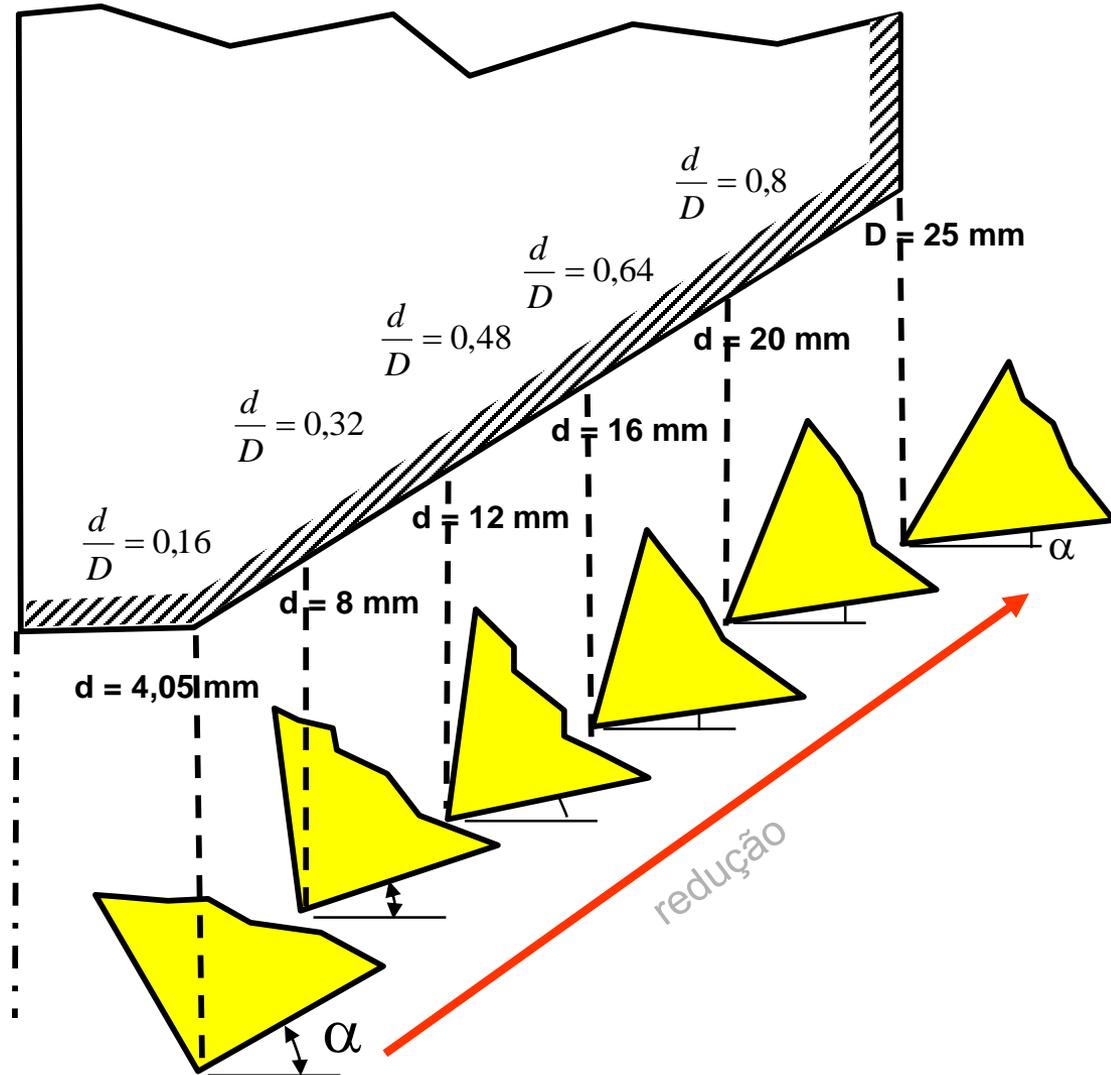
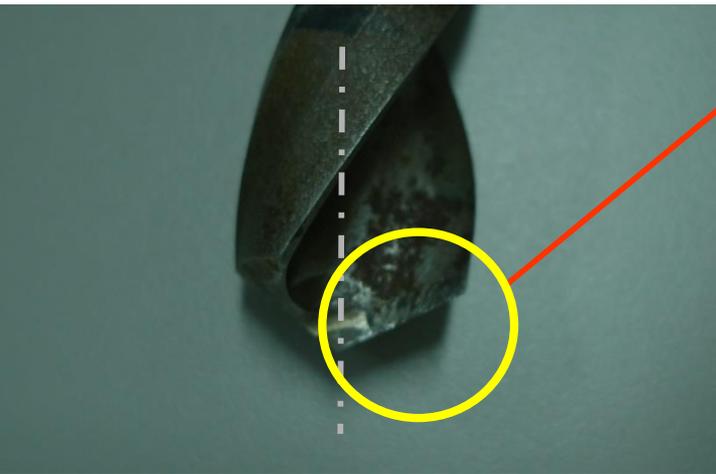
VARIAÇÃO ÂNGULO SAÍDA

γ (e conseqüentemente ângulo de ponta σ) são variados de acordo com as características do material a ser usinado

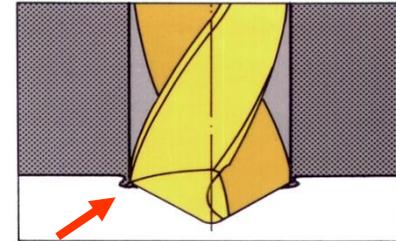
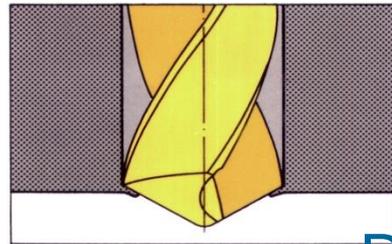
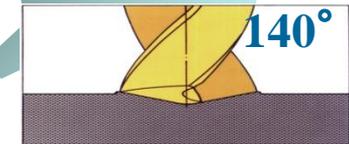
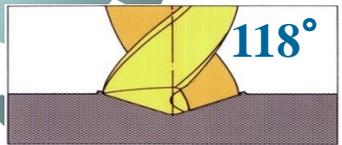


Variação ângulo de folga

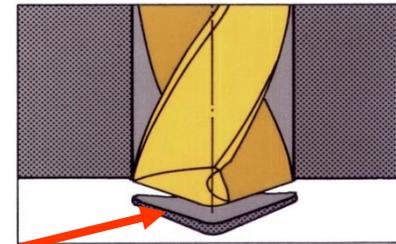
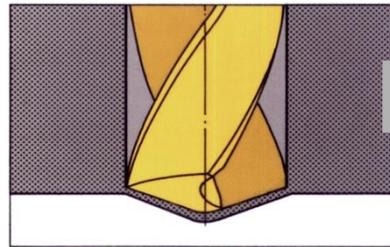
α é variado de acordo com as características do material a ser usinado



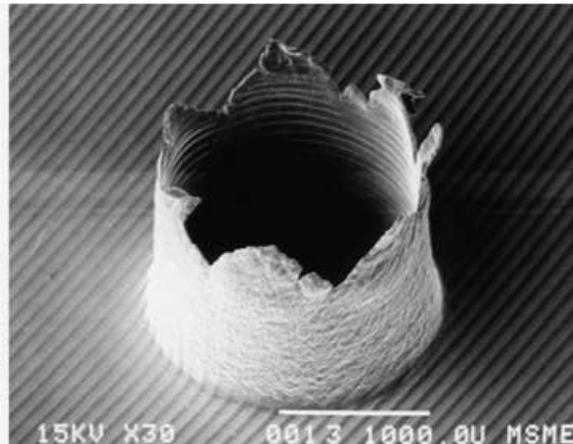
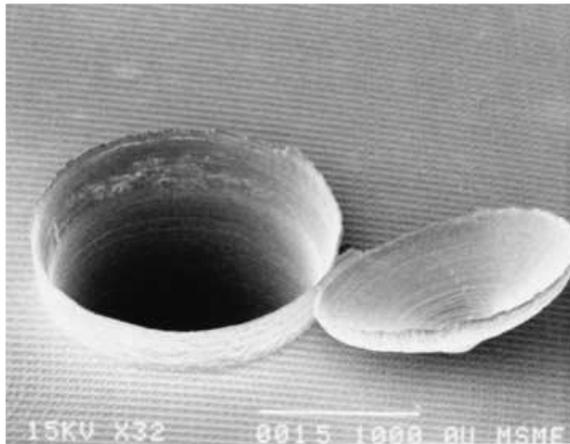
INFLUÊNCIA DO ÂNGULO DE PONTA



Rebarba na peça



Rebarba em disco



Furação – Material da Ferramenta



Processo	Qualidade IT							
	4	5	6	7	8	9	10	11
Polimento	■							
Rasqueteamento		■						
Torneamento para acabamento		■						
Retificação		■						
Brochamento		■						
Mandrillamento			■					
Torneamento				■				
Aplainamento				■				
Fresamento							■	
Furação							■	



Furação – Formas Construtivas



Broca MD uso geral



Broca MD Inox e Titânio



Broca MD de difícil
usinabilidade



Broca MD para FoFo

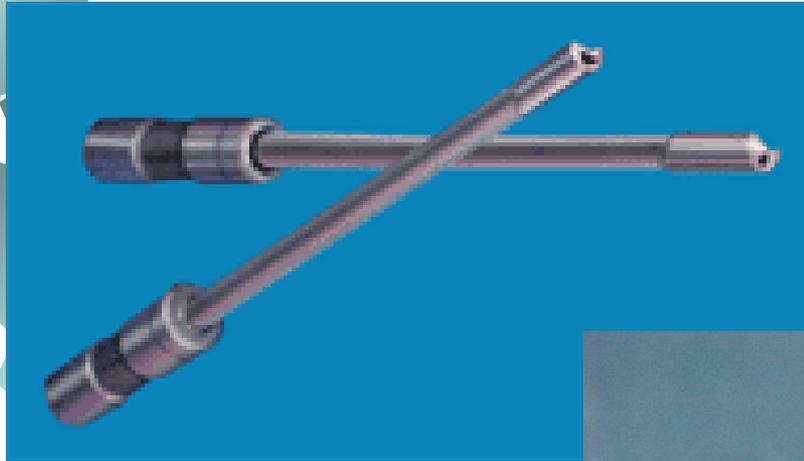


Broca MD que geral altas
Temperaturas

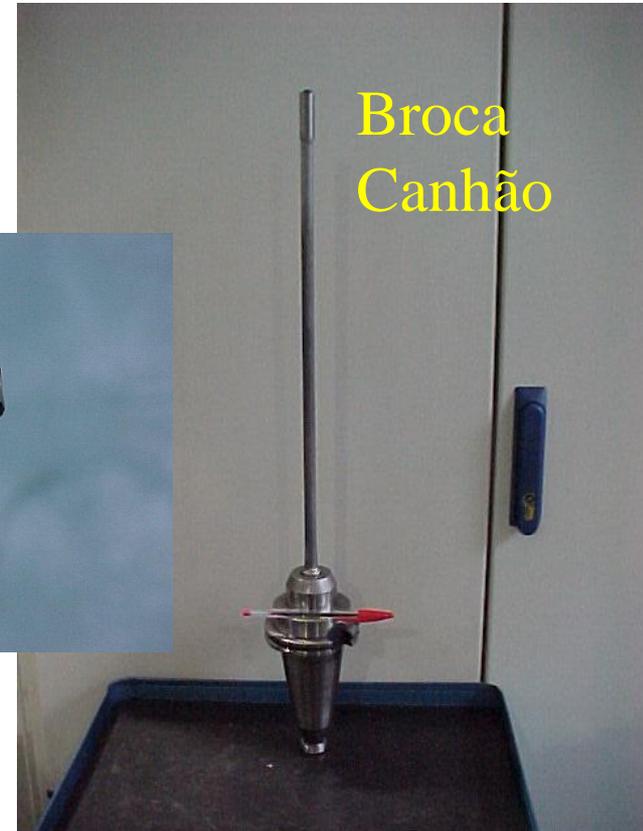
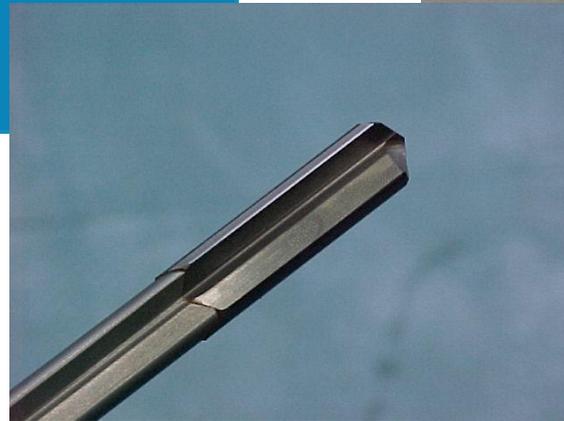


Broca MD com três cortes
para FoFo

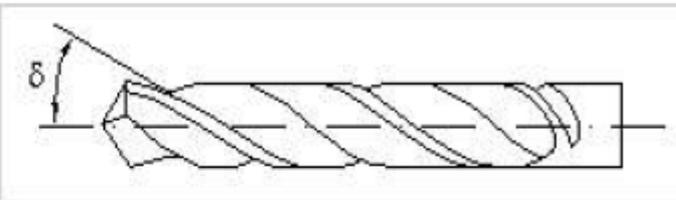
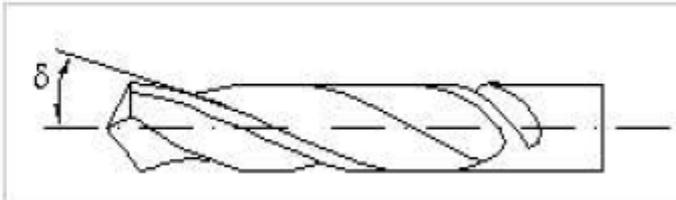
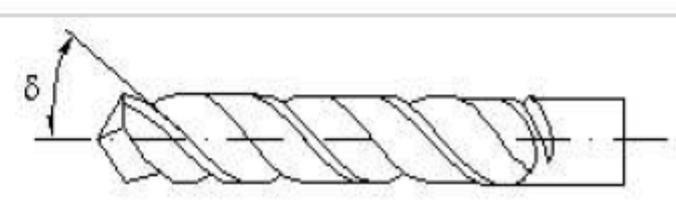
Furação – Formas Construtivas



Broca com inserto intercambiável

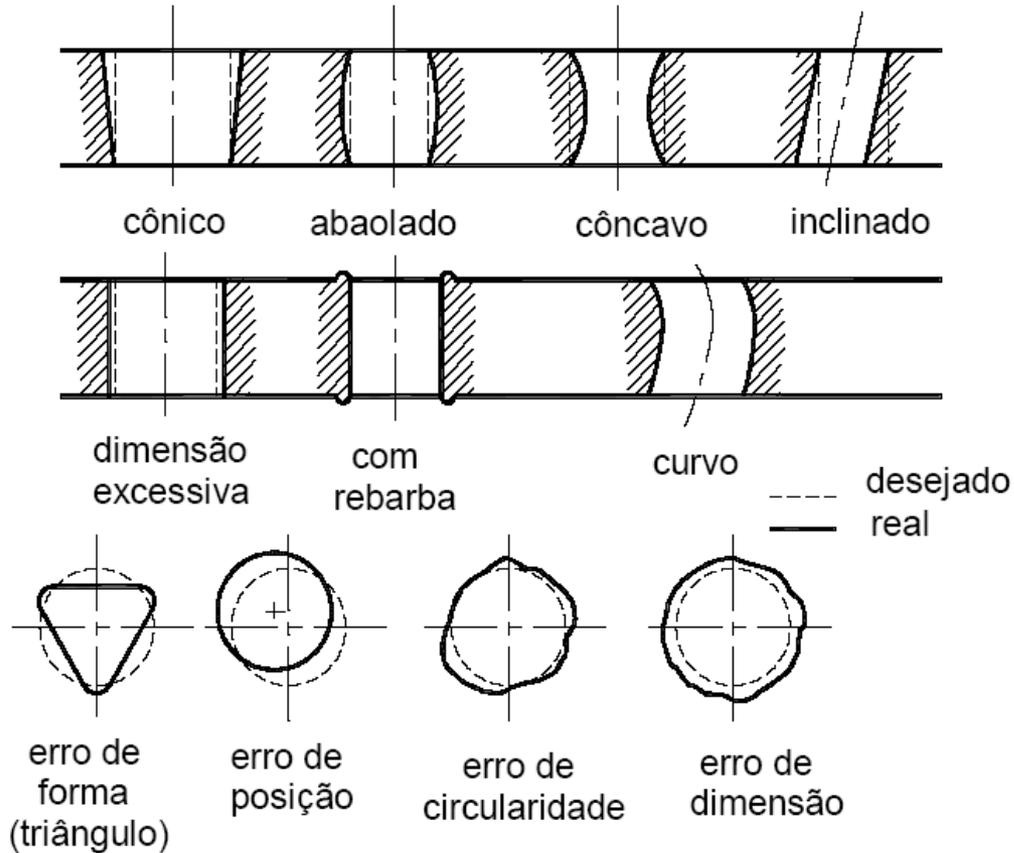


Furação – Formas Construtivas

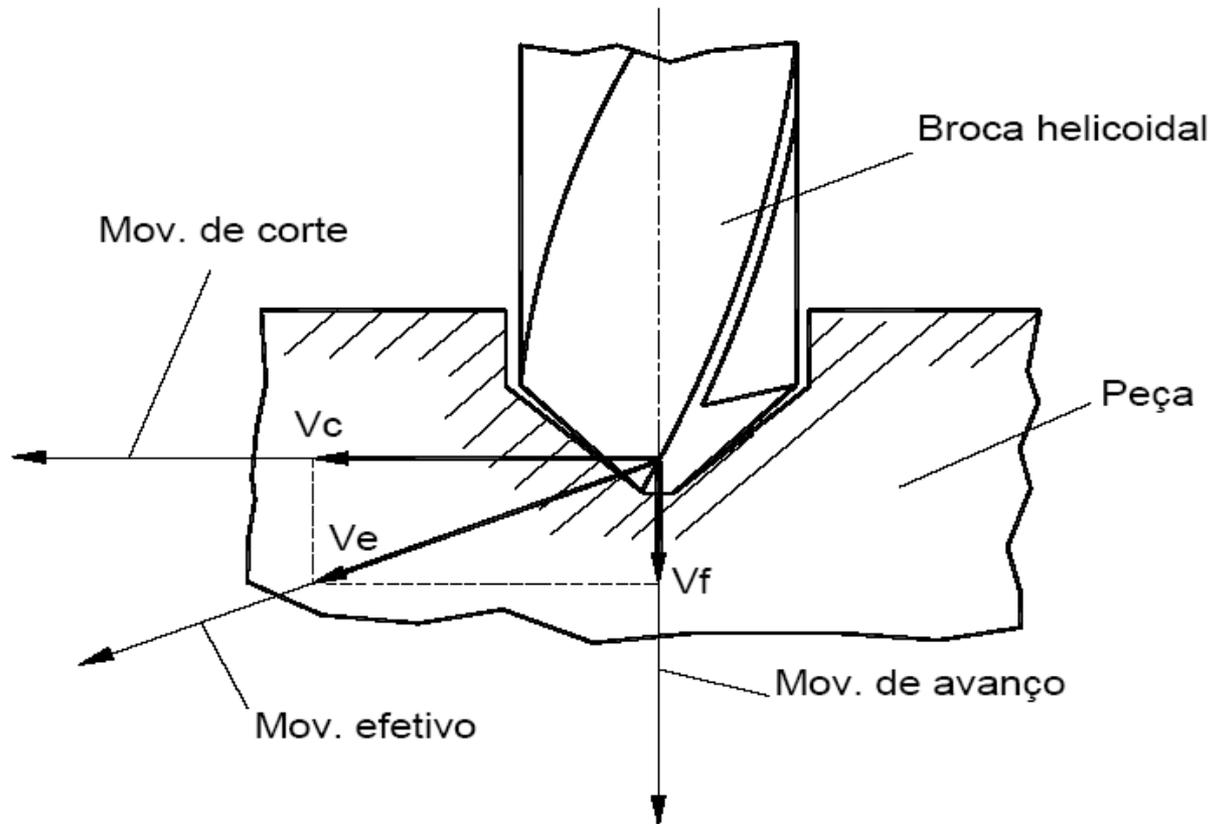
<i>Tipo</i>	<i>Aplicação</i>	<i>Representação</i>
N	Materiais convencionais Ex.: Aço e Ferro Fundido $\delta = 25^\circ - 33^\circ$	
H	Materiais não convencionais e com cavacos curtos Ex.: Plástico e Latão $\delta = 15^\circ - 20^\circ$	
W	Materiais muito dúcteis Ex.: Alumínio e bronze $\delta = 35^\circ - 40^\circ$	

Furação

Erros comuns na geometria do furo



Cinemática do Processo



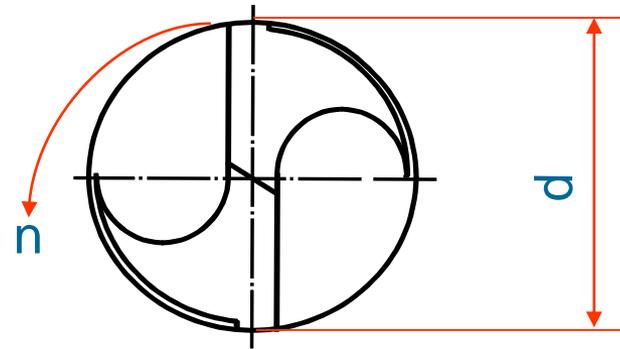
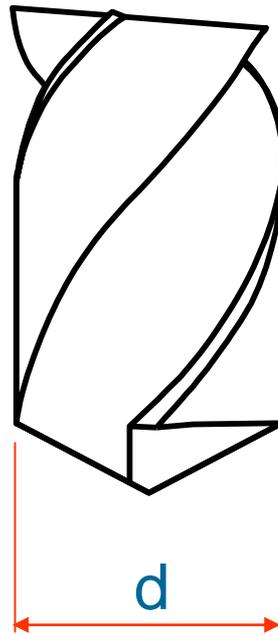
Cinemática do Processo

“Velocidade de corte na furação é definida como a velocidade periférica da broca”

Fórmulas:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$



Onde:

V_c = Velocidade de corte (m/min)

n = Rotações por minuto (rpm)

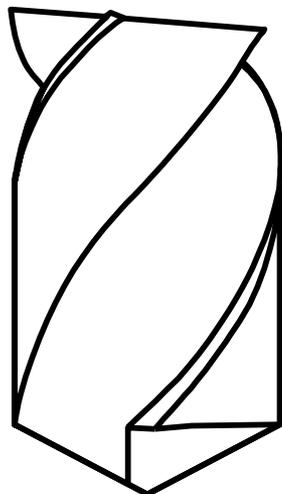
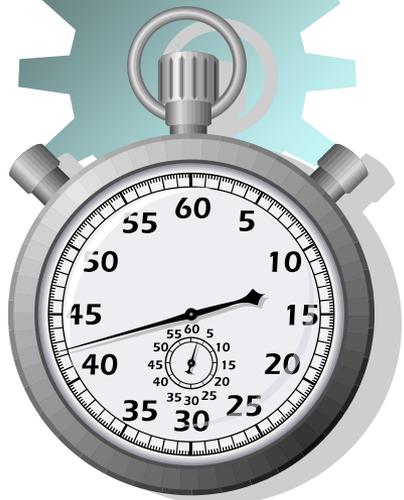
d = Diâmetro da broca (mm)

π = Constante (3,1416)

Tempo de furação

$$t_c = L / V_f$$

V_f = avanço por rotação (mm/rot) x rotações por minuto (rpm)



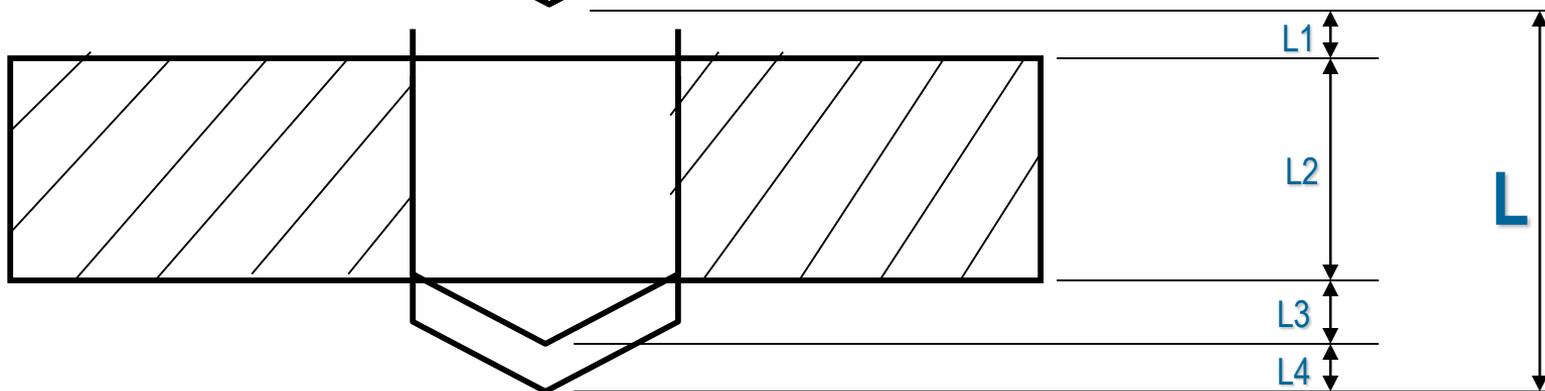
Onde:

L1 = Posicionamento

L2 = Espessura da peça

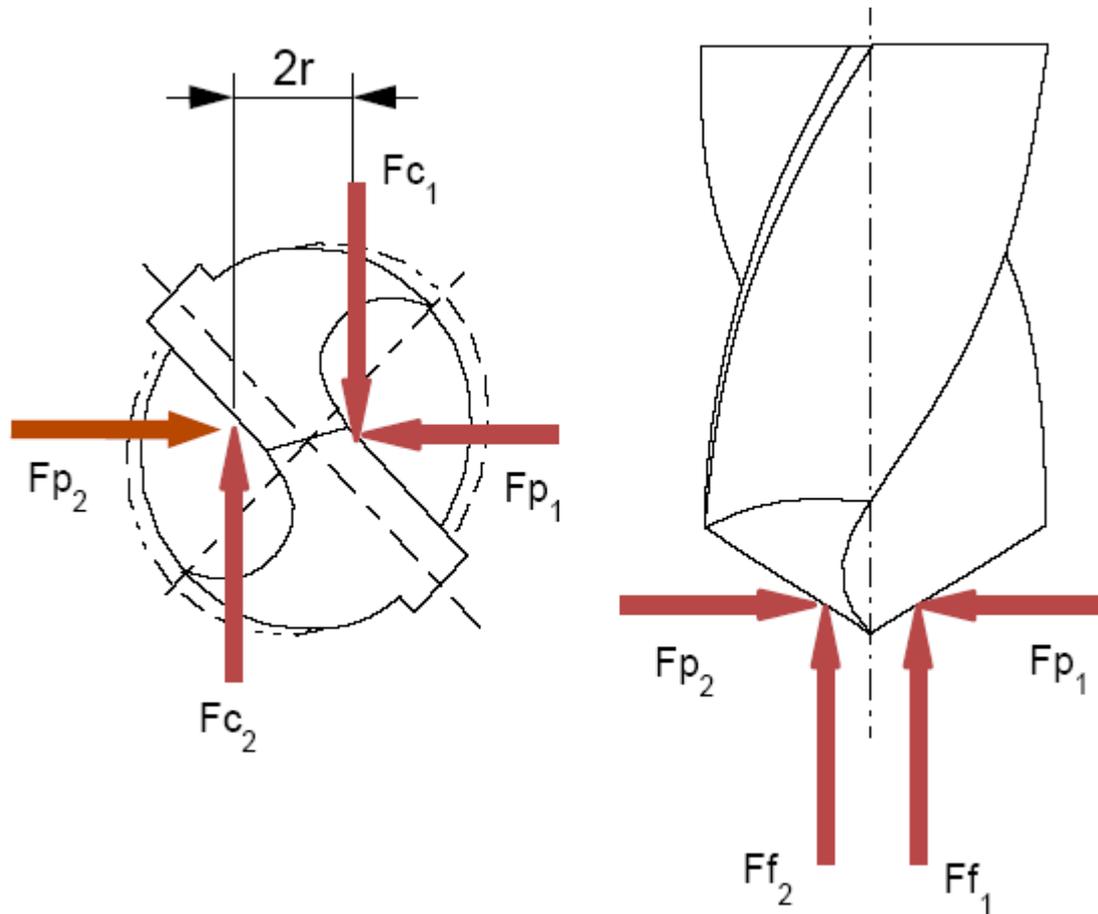
L3 = Ponta da Broca (aprox. 0,2 x Diâm.)

L4 = Espaço percorrido antes do retorno.



Furação

Sistema de Forças em Broca Helicoidais



Furação – Momento de Torção



KRONEMBERG:

$$M_t = C_1 \cdot D^{x1} \cdot f^{y1}$$

SHAW E OXFORD:

$$M_t = 0,087 \cdot HB \cdot f^{0,8} \cdot D^{1,8}$$

KIENZLE:

$$M_t = K_{s1} b h^{1-z} D/2$$



Torque

D = Diâmetro da Broca [mm]

F = avanço [mm/volta]

C1, x1 e y1 = constantes empíricas do material da peça

Fórmula de **Kronenberg** para a determinação do momento torsor na furação em cheio

$$M_t = C_1 \cdot D^{x1} \cdot f^{y1}$$

<i>Aço</i>	<i>C1</i>	<i>x1</i>	<i>y1</i>
1085	30,2 ± 0,5	2,05	0,86
1020	15,1 ± 0,4	2,22	0,76
1065	24,3 ± 0,9	2,05	0,83
1055	21,9 ± 0,3	2,01	0,77
1025	37,9 ± 0,6	1,87	0,77
52100	46,8 ± 0,9	1,97	0,77
VM20	48,6 ± 1,2	1,77	0,72
VND	26,2 ± 0,8	2,13	0,78
VS60	10,9 ± 0,8	2,33	0,70

Força de avanço

D = Diâmetro da Broca [mm]

F = avanço [mm/volta]

C₂, x₂ e y₂ = constantes empíricas do material da peça

Fórmula de **H. Daar** para a determinação da força de avanço na furação em cheio

$$F_f = C_2 \cdot D^{x_2} \cdot f^{y_2}$$

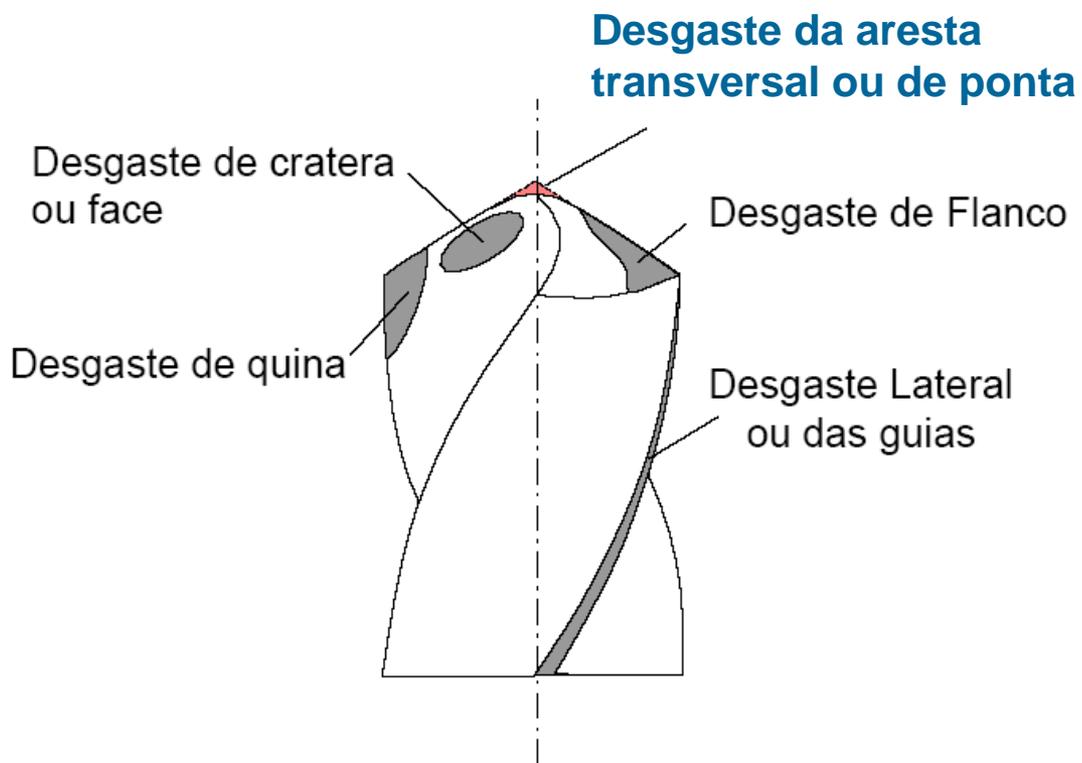
<i>Aço</i>	<i>C₂</i>	<i>x₂</i>	<i>y₂</i>
1085	161 ± 8	1,02	0,79
1020	32,5 ± 0,4	1,32	0,65
1065	49,6 ± 0,8	1,07	0,54
1055	22,0 ± 0,5	1,32	0,54
1025	33,4 ± 0,8	1,21	0,60
52100	41,9 ± 0,8	1,41	0,66
VM20	27,3 ± 0,6	1,3	0,59
VND	55,1 ± 1,4	1,29	0,72
VS60	42,7 ± 1,0	1,35	0,70

Furação – Parâmetros Kienzle

Furação em cheio

Barra nº	Aço ABNT/SAE ou Villares	σ_r kgf/mm ²	Pressão unitária de corte kgf/mm ²		(1-z)
			média \bar{k}_{s1}	Lim.sup.95% k_{s1}	
10	1085	88,5	245 ± 5	270	0,86 ± 0,04
13	1020	38,5	191 ± 7	234	0,77 ± 0,08
31	1065	83,2	200 ± 7	243	0,84 ± 0,07
32	1055	78,3	148 ± 2	160	0,77 ± 0,03
37	1025	45,0	158 ± 3	177	0,75 ± 0,04
8	52100	64,0	281 ± 6	313	0,77 ± 0,05
46	VM20	64,9	154 ± 6	186	0,72 ± 0,07
47	VND	74,4	240 ± 8	288	0,76 ± 0,08
48	VS60	96,0	154 ± 11	220	0,68 ± 0,17
49	VW 3	71,7	250 ± 8	300	0,81 ± 0,07
50	VMO	73,0	284 ± 7	326	0,87 ± 0,05
51	VCO	82,6	347 ± 8	391	0,92 ± 0,05

Desgaste em Broca Helicoidais



Furação

Critérios de fim de vida utilizados na prática

- Tempo de máquina
- Tempo efetivo de corte
- Volume de metal removido
- Número de peças usinadas
- Comprimento usinado equivalente

Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira Manual ou Hobby



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira de Bancada



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

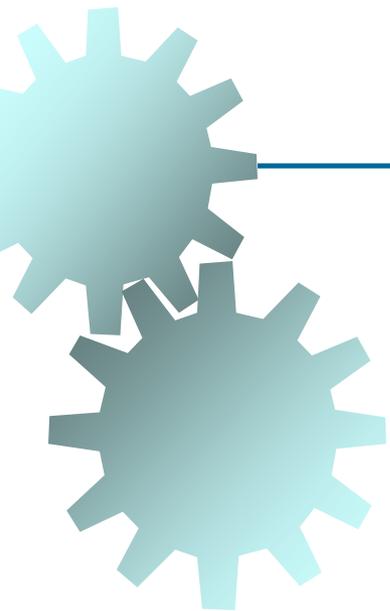
Furadeira de Coluna



Furação - Máquinas Ferramentas - Tipos

Furadeira Radial

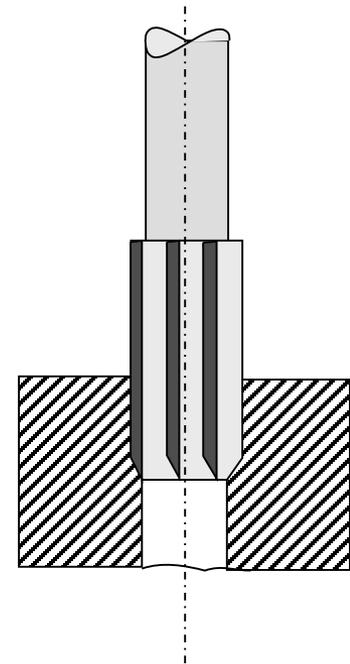
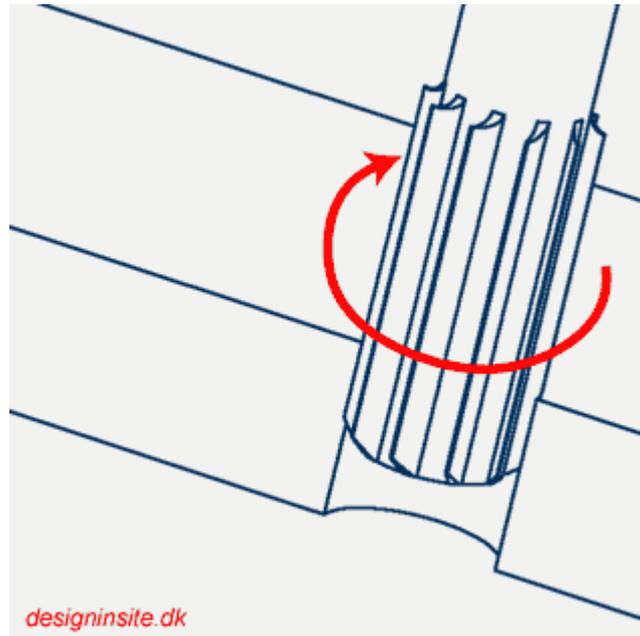




Processo de Alargamento

Processo de Alargamento

Alargamento é uma operação relativa ao processo de furação usada para aumentar o diâmetro de furos em bruto, por exemplo, obtidos através de fundição ou forjado.



Processo de Alargamento

As brocas convencionais não são muito recomendadas, por causa da existência de apenas 2 guias na periferia que não garantem a orientação necessária da broca nesses casos.

Os alargadores de desbaste helicoidais possuem 3 ou mais canais, com respectivas arestas e guias.





Processo de Alargamento

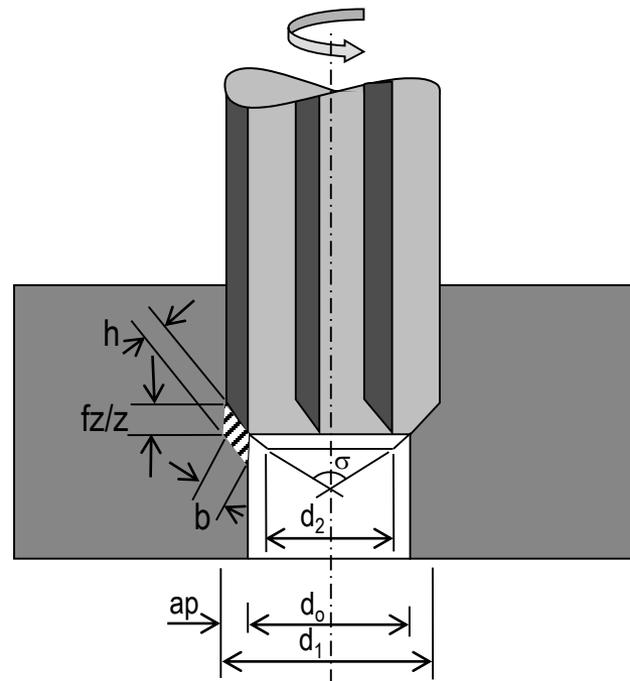
Para se conseguir furos mais precisos deve-se realizar as seguintes operações:

- a) Centrar,
- b) Furar,
- c) Mandrilar, e
- d) Alargar.

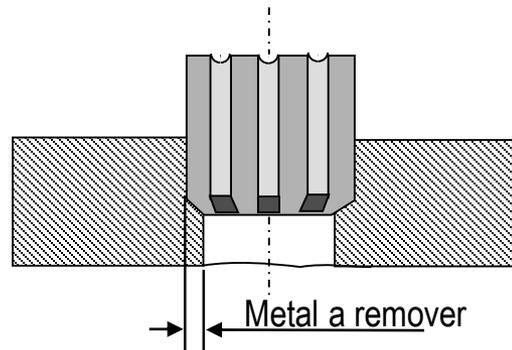
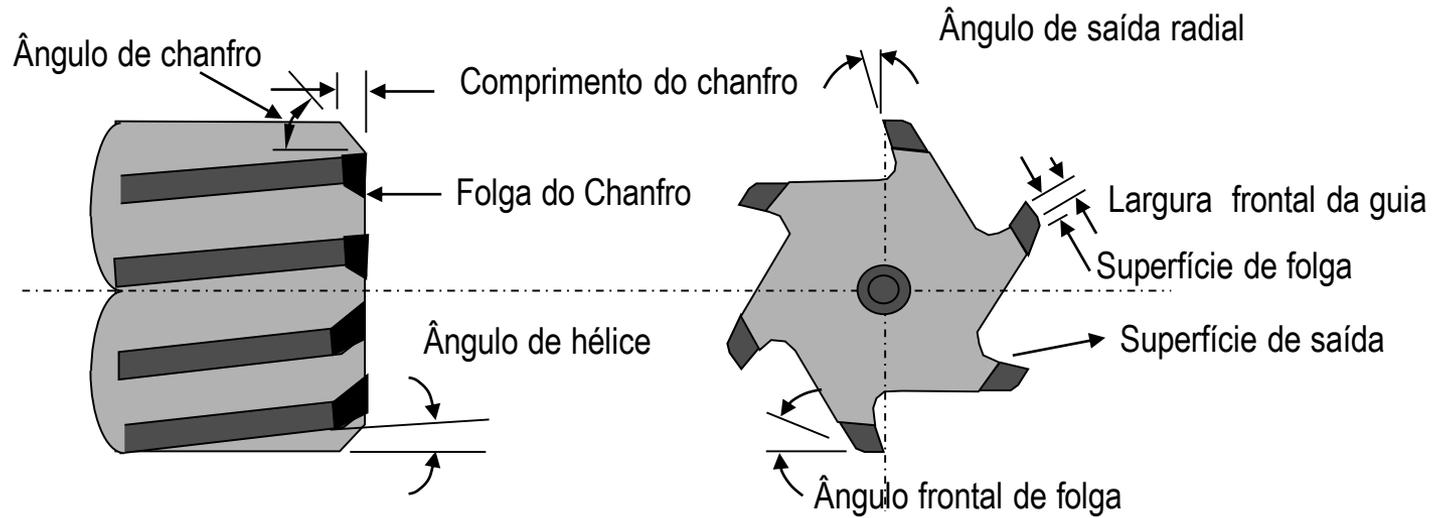
Para se melhorar ainda mais a exatidão e o acabamento, o furos devem ser retificados e brunidos.

Processo de Alargamento

- Momento torsor, potência e força de corte para alargadores podem ser calculados de modo análogo aos das brocas.

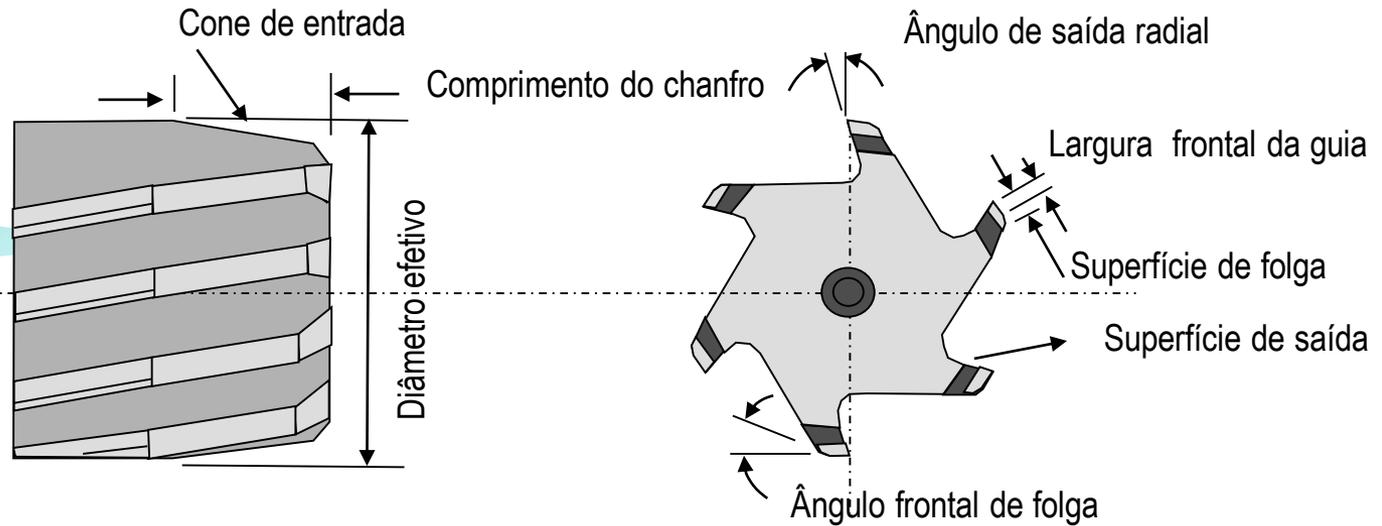


Alargador de Máquina



Alargador de Máquina

Alargador Manual



Alargador manual

Alargadores Ajustáveis

São constituídos de lâminas de aço rápido em ranhuras de profundidade variável, permitindo variar o diâmetro a ser alargado dentro de uma faixa de valores. Podem ser de haste paralela ou cônica.



www.bvminternational.com



www.reamer.com.ua



www.bonehamusa.com



Operação de Alargamento

Sobremedidas no diâmetro recomendadas para alargamento de furos

Diâmetro dos furos	Aço e FoFo	Zn, Cu e Ligas de Al	Plásticos
Até 5 mm	0,1 a 0,2	0,5	0,2
5 a 20 mm	0,2 a 0,3	0,6 a 0,8	0,4
20 a 50 mm	0,3 a 0,5	_____	0,5
Maior que 50 mm	0,5 a 1,0	_____	_____

Operação de Alargamento



Material da peça	Fluido Refrigerante	Velocidade Corte (m/min)	Avanços em mm por rotação para alargadores de diâmetro:		
			até 10 mm	até 20 mm	> 20mm
SAE1020	OR ou E	12 a 15	0,1 a 0,2	0,3	0,4
SAE1040	OR ou E	10 a 12	0,1 a 0,2	0,3	0,4
FoFo cinzento	Seco	6 a 18	0,3	0,3 a 0,5	0,6
FoFo duro	Seco	6 a 10	0,2	0,2	0,3
Aço inox	OR	3 a 5	0,2	0,2	0,3
Latão dúctil	OR ou seco	20 a 25	0,4	0,5	0,6
Ligas de Al	OR	12 a 15	0,2	0,3	0,4
Cu	OR	10 a 20	0,2	0,3	0,4
Plástico		5 a 10	0,4	0,6	0,8

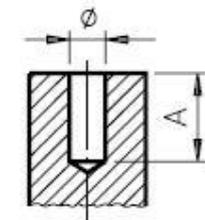
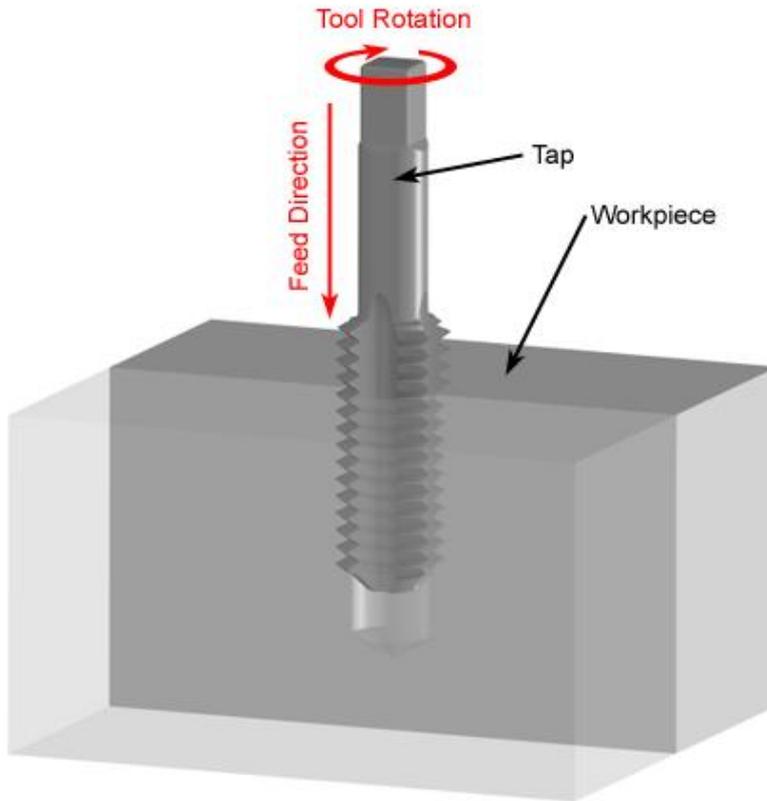
OR: óleo refrigerante / E: emulsão

O avanço é determinado pela qualidade da superfície. Para alargadores especiais com ângulo de hélice pequeno, as velocidades e avanços indicados podem ser dobrados

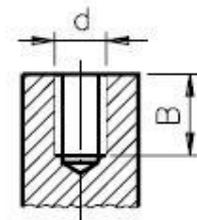


Processo de Roscamento

Processo de Rosqueamento (Definições)



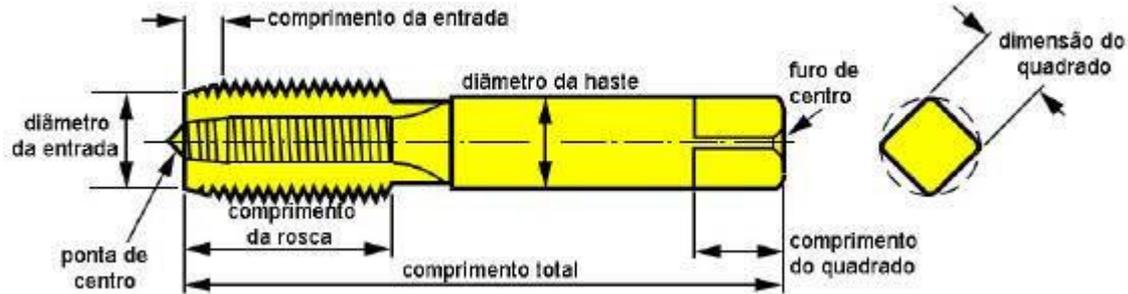
furo broqueado



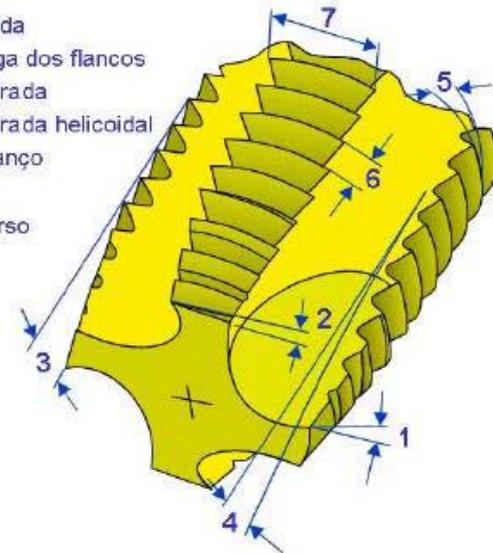
furo roscado

Machos de Rosquear (Terminologia)

São ferramentas de múltiplo corte, específicas para a execução de roscas internas.

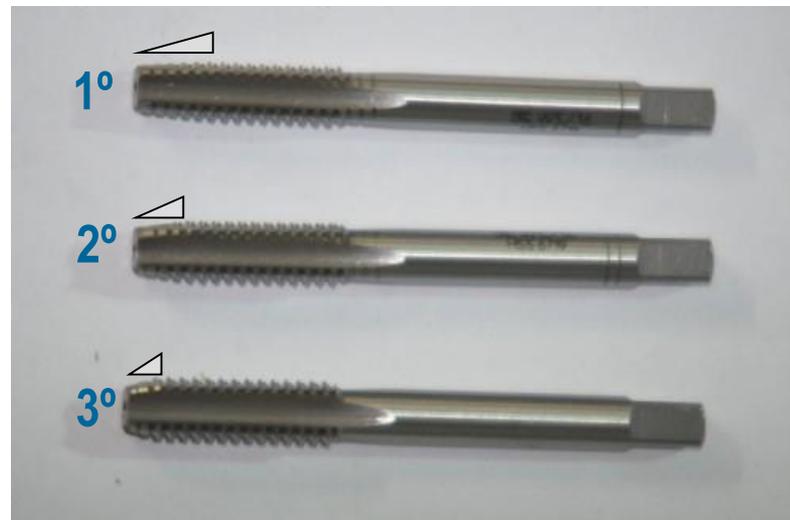
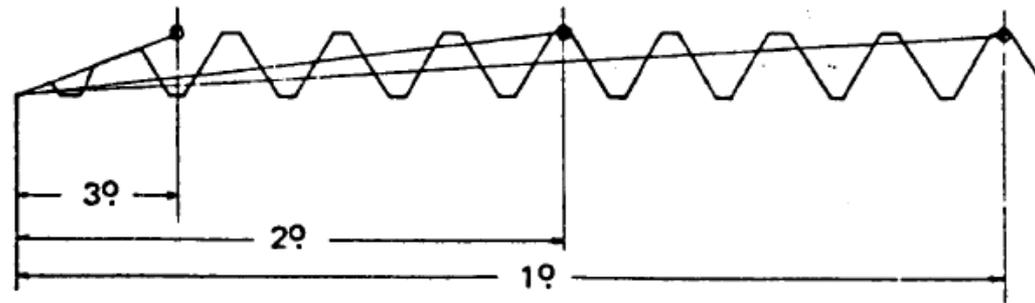


- 1) ângulo de saída
- 2) ângulo de folga dos flancos
- 3) ângulo da entrada
- 4) ângulo da entrada helicoidal
- 5) ângulo do avanço
- 6) passo
- 7) largura do dorso



Machos de Rosquear (Tipos)

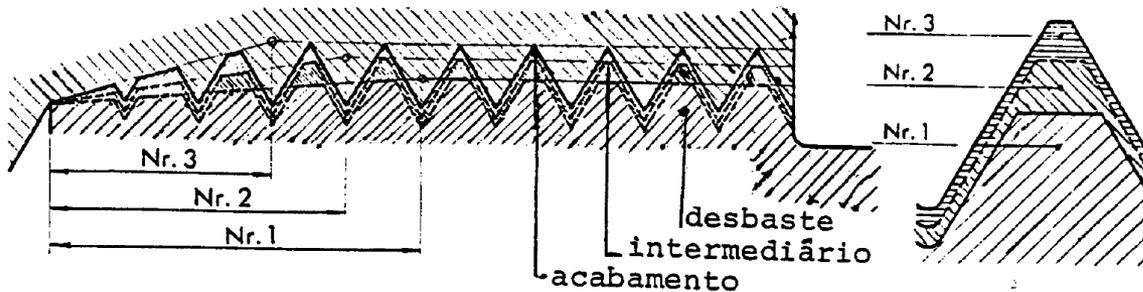
Regulares: empregados na produção de roscas feitas em máquina. São fornecidos em jogo de 3 machos, diferenciados apenas pelo comprimento do chanfro de entrada.



Machos de Rosquear (Tipos)

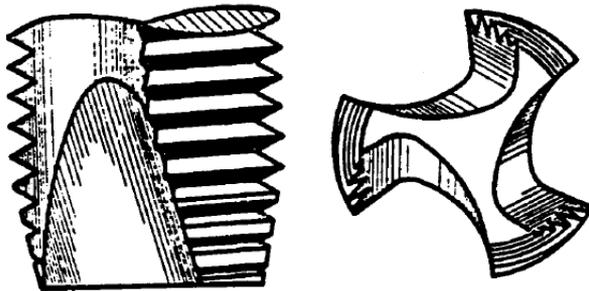
Seriados: empregados na abertura manual de roscas, especialmente em furos profundos e em materiais tenazes. São fornecidos em jogo de 3 machos, diferenciados apenas pelo comprimento do chanfro de entrada.

Desbaste Intermediário Acabamento



Machos de Rosquear (Tipos)

Ponta espiral: empregados apenas para produção de roscas em máquina. A ponta espiral joga o cavaco para frente, sendo usado em furos passantes ou furos cegos onde a parte rosqueada é bem menos profunda que o furo.



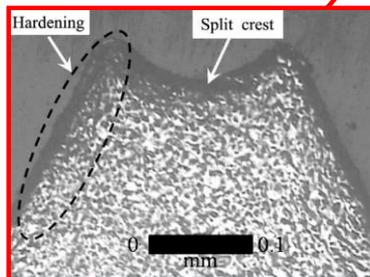
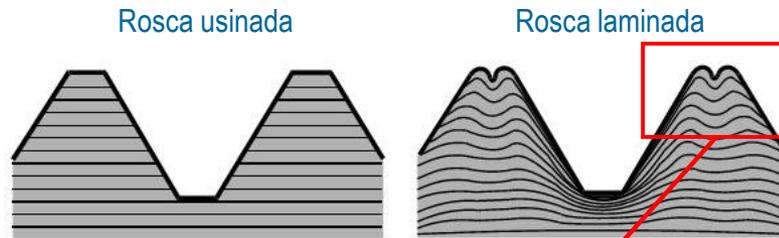
Machos de Rosquear (Tipos)

Helicoidais: empregados em geral na produção de roscas em máquina, em furos cegos de materiais macios de cavaco longo, como Al, Mg e Latão.



Machos de Rosquear (Tipos)

Laminadores (ou de conformação a frio): não tem arestas cortantes e produzem roscas por deformação plástica do material da peça na periferia do furo (sem remoção de material). Geralmente empregado em materiais dúcteis, como latão, cobre, alumínio.

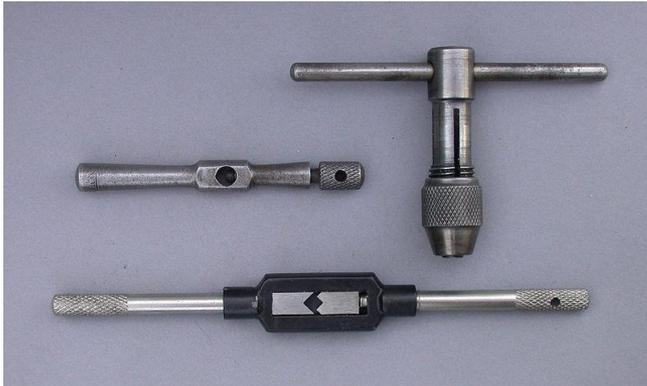


Liga de Mg

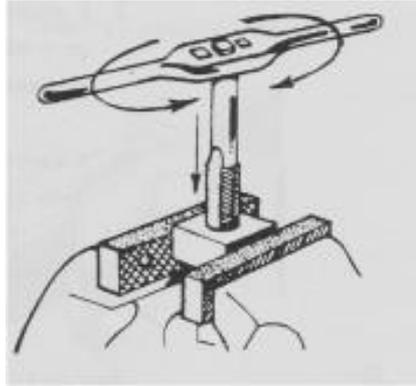


Fonte: Carvalho et al. (2012)

Formas de Rosquear



Manual (Desandador)



Furadeira

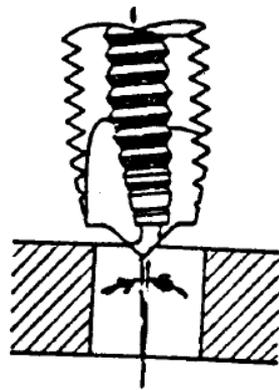


Centro de Usinagem CNC

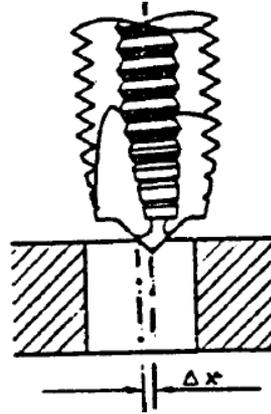
Máquina (Cabeçotes)

Formas de Roscar

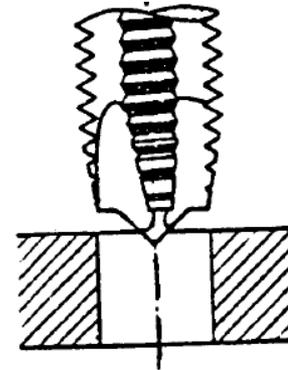
Cuidados ao rosquear manualmente ou em máquina



Desalinhado



Descentralizado



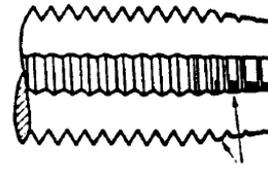
Correto

Desgaste em Machos de Corte

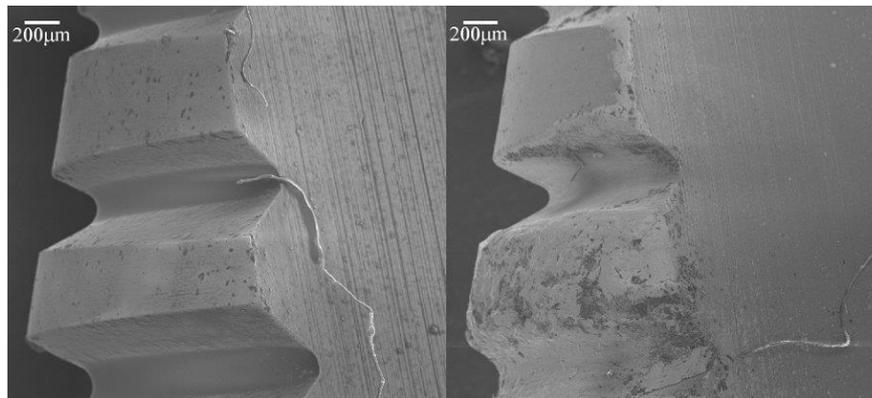
Desgastes ocorrem normalmente nos dentes do chanfro (2 primeiros).

É recomendável reafiar frequentemente, pois machos pequenos quebram quando o torque aumenta.

Machos cegos geram roscas fora da tolerância

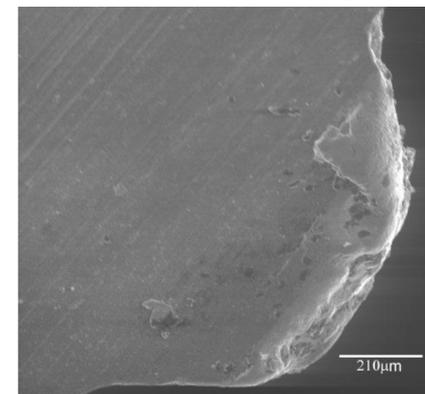


Marcas de desgaste



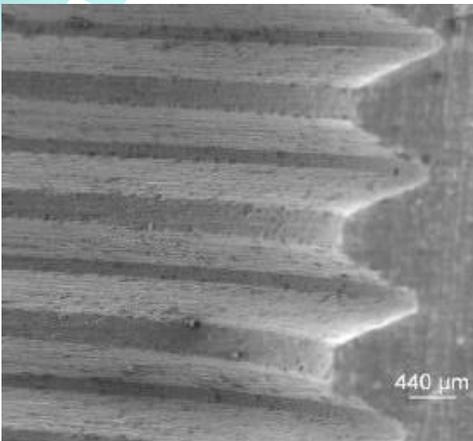
Filetes novos

Filetes desgastados



Superfície de saída avariada

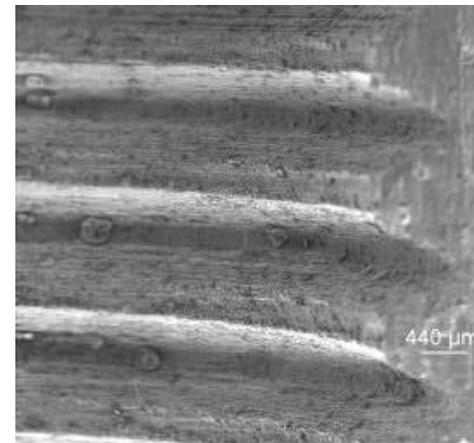
Desgaste em Machos de Corte



1° furo usinado



Fonte: Bezerra (2003)



408° furo usinado

Velocidades de corte em rosqueamento

Material	Ângulos no chanfro		Velocidade corte m/min c/macho de		Fluido de corte
	saída γ	incid α	AF	AR	
Aços carbono até 50 Kg/mm ²	15-18°	10°	3- 6	7-18	E, óleo de corte
50-70 "	12-15°	10°	4- 7	5-10	OC, óleo sulfurado **
> 70 "	10-12°	8°	2- 3	4- 8	Litopônio* + OC
Aços ligados 70- 90 Kg/mm ²	12-15°	10°	Manual	4- 6	Benzol, Molikote (MoS ₂)
90-100 "	6-12°	8°	Manual	2- 4	Aguarras + querosene (5:1)
> 100 "	6-12°	8°	Manual	2- 3	OA, OC
Aço fundido até 70 Kg/mm ²	12-18°	10°	3- 4	3- 8	E, óleos sulfurados
> 70 "	10-12°	8°	2- 3	3- 5	Litopônio + OC
Ferro fundido maleável	8-10°	10°	2- 4	4- 8	Óleo sulfurado ou composto
Ferro fundido macio	3- 6°	8°	5- 8	8-15	Seco, parafina
Ferro fundido duro	-3-+3°	6°	-	2- 4	Litopônio + OC, querosene
Aço ferramenta	6-12°	6°	Manual	2- 5	OC, OA
Aço inoxidável	10-15°	8°	-	3- 6	Óleo de corte + MoS ₂
Latão	0- 5°	10°	5- 8	10-20	Seco, OC, E
Bronze	6-12°	10°	4- 8	6-10	Seco, OC, E
Cobre	15-25°	10°	10-12	20-25	Seco ou óleo de colza, gor-
Cobre eletrolítico	6-10°	10°	4- 8	8-15	dura, sebo
Níquel	6-12°	10°	3- 7	5- 8	E, óleo sulfurado, queroze-
Metal Monel	20-22°	10°	3- 7	5- 8	ne + OA
Prata alemã	12-15°	10°	4- 7	6-12	Seco ou emulsão de óleo
Zinco	8-12°	10°	4- 8	8-12	Emulsão de óleo (E).
Zinco fundido sob pressão	3- 8°	10°	3- 7	6-10	Parafina, OA
Estanho	20-30°	10°	4- 8	6-10	Óleo de colza
Chumbo	25-35°	10°	4- 8	7-15	-
Alumínio	25-35°	10°	7-15	15-30	Querosene ou seco, parafina
Alumínio fundido	15-25°	10°	6-10	10-20	ou E
Duralumínio	20-35°	10°	-	9-20	OC, E
Alumínio silicioso	15-25°	10°	-	10-15	Querosene c/ OC, E
Ligas de magnésio	10-20°	10°	12-20	25-40	Seco ***
Prensados c/ resinas sintéticas	0- 5°	10°	-	3- 8	Seco
Borracha dura - celulósida	10-15°	10°	-	8-15	-

Litopônio: sulfato de bário + sulfeto de zinco. OA: Óleo animal. OC: Óleo de Colza. E: Emulsão de óleo.



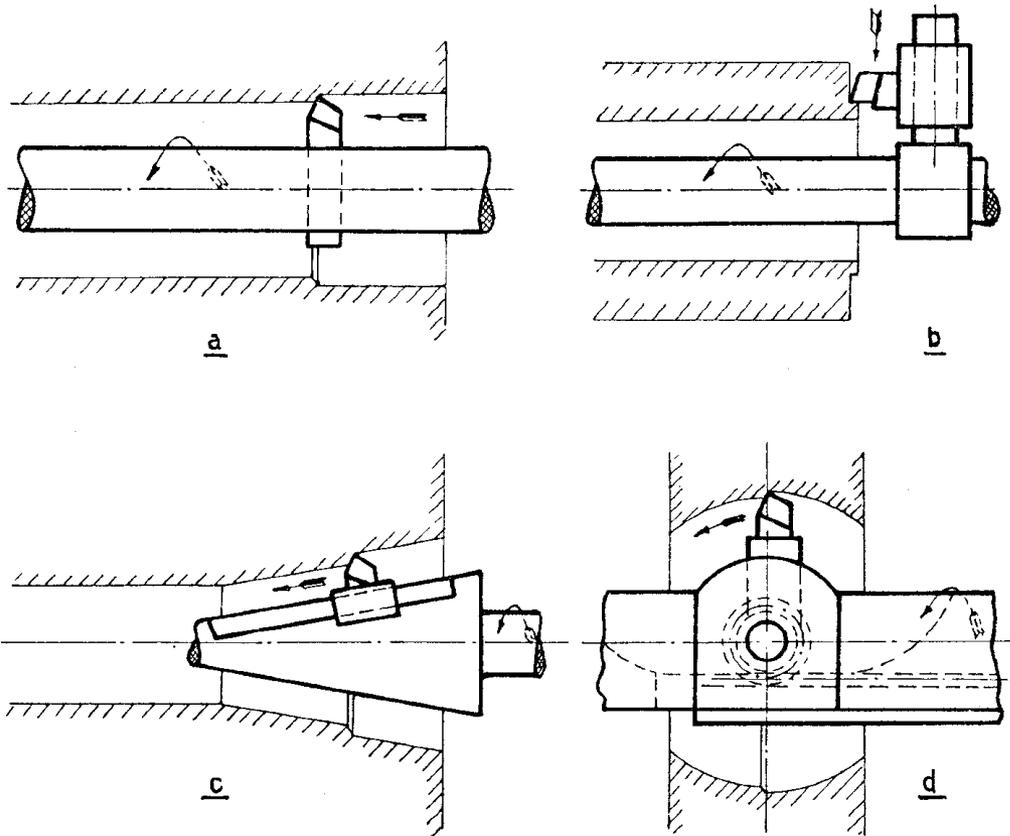
Processo de Mandrilamento



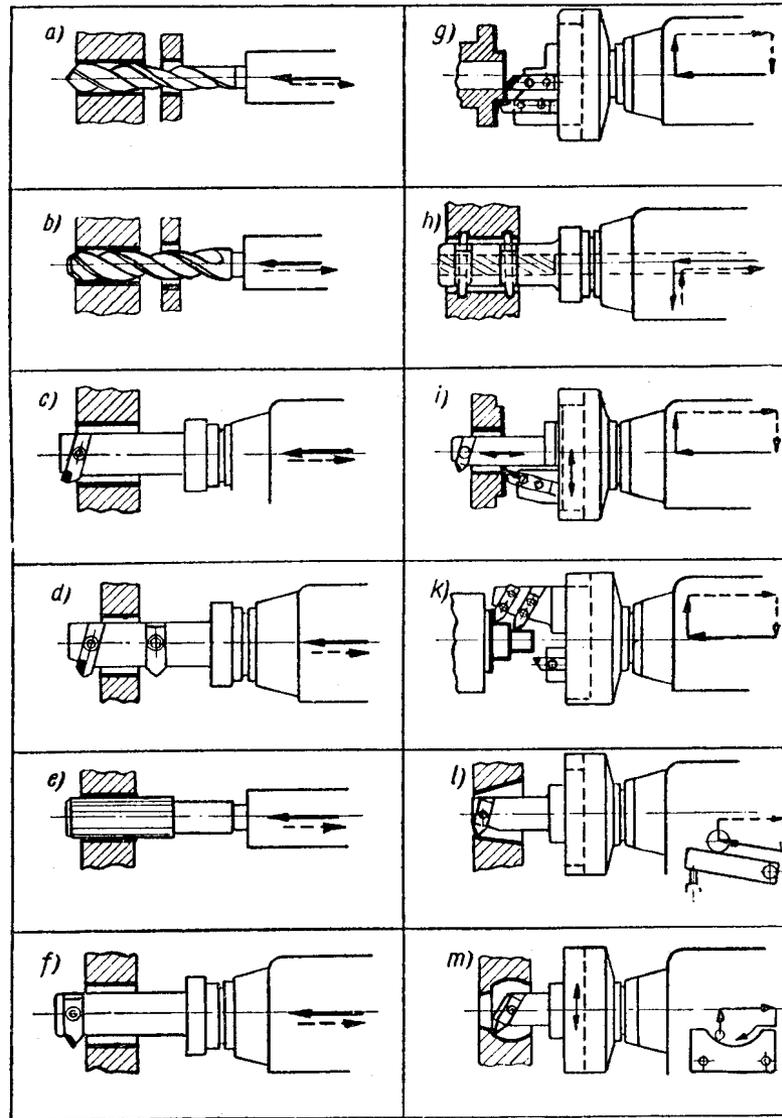
Mandrilamento - Definição

Mandrilamento é um processo de usinagem no qual superfícies internas de revolução (cilindros, cones, etc.) são geradas, com uma linha de centro coincidente com a linha de centro de eixo árvore, por meio de ferramentas monocortantes. Para tanto a ferramenta gira e a peça ou a ferramenta se deslocam simultaneamente segundo uma trajetória determinada.

Mandrilamento - Operações



Mandrilamento - Operações



Mandriladora Horizontal



Mandriladora Horizontal

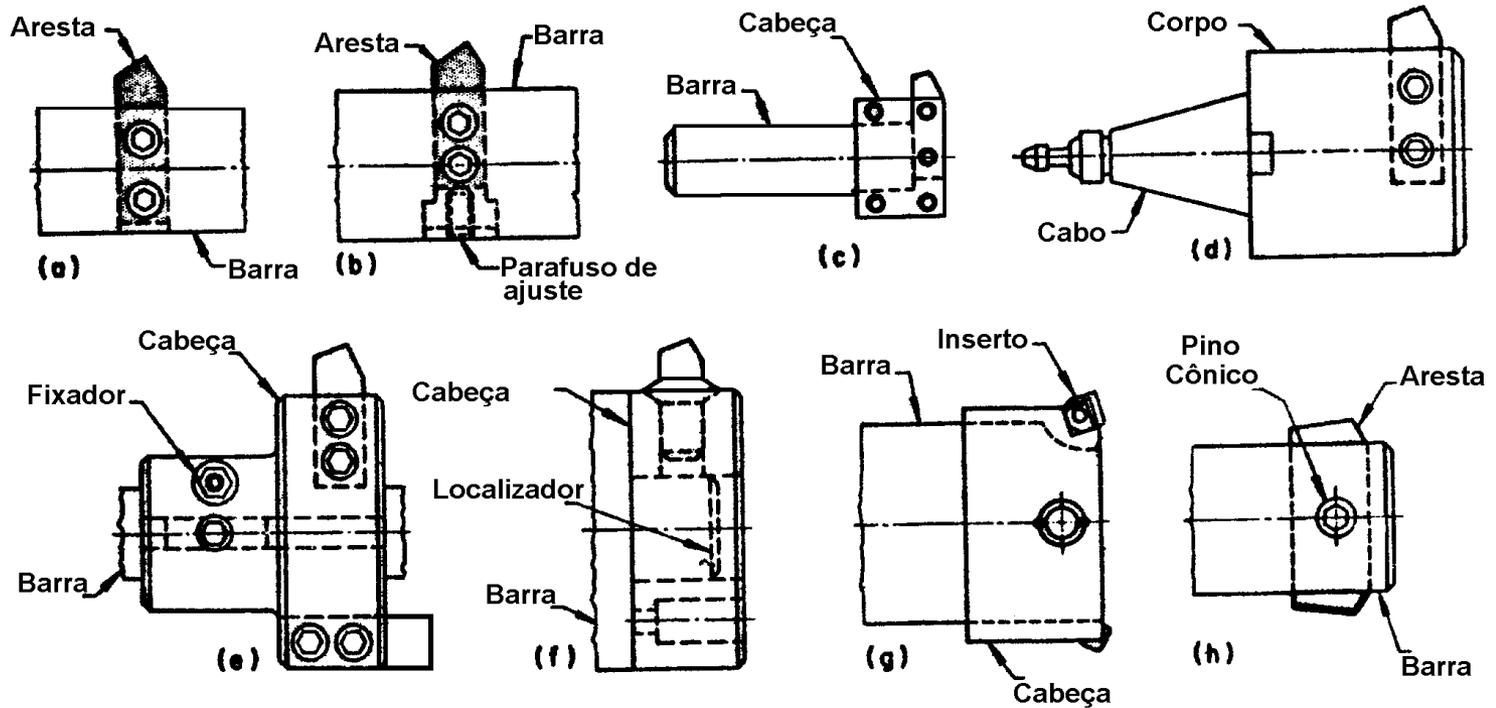




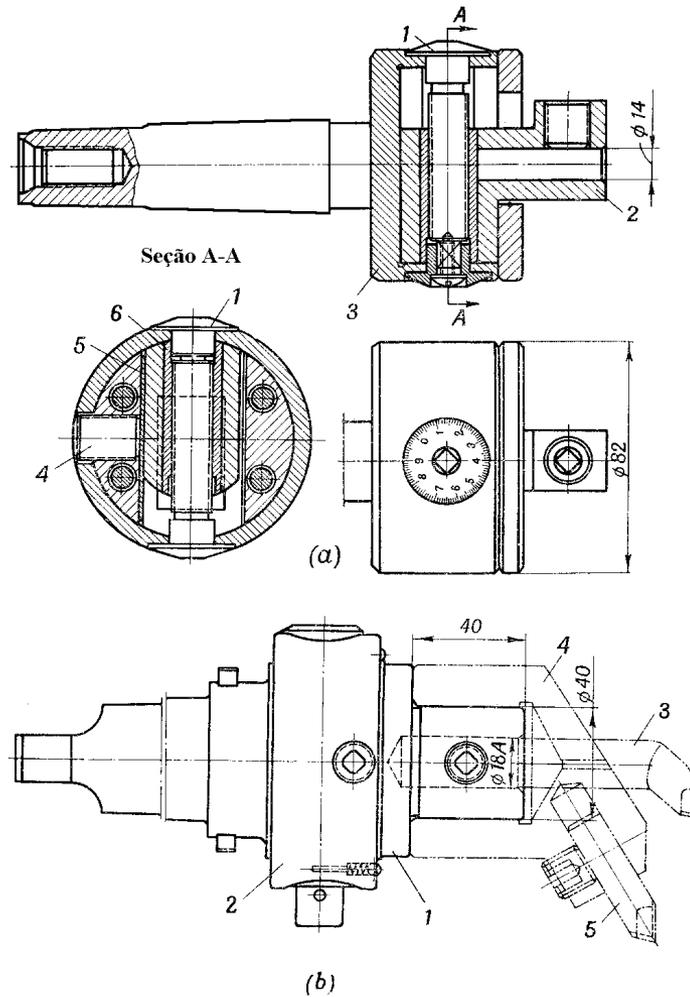
Ferramentas para Mandrilar

- Materiais Usados
 - Aço Rápido
 - Metal Duro
 - Material Cerâmico

Formas das Ferramentas



Cabeçote Ajustável de Mandrilar



Parâmetros do Processo

Área da seção transversal do cavaco S

$$S = a \times p = b \times h$$

$$b = \frac{p}{\sin \chi} \quad h = a \sin \chi$$

Profundidade de corte

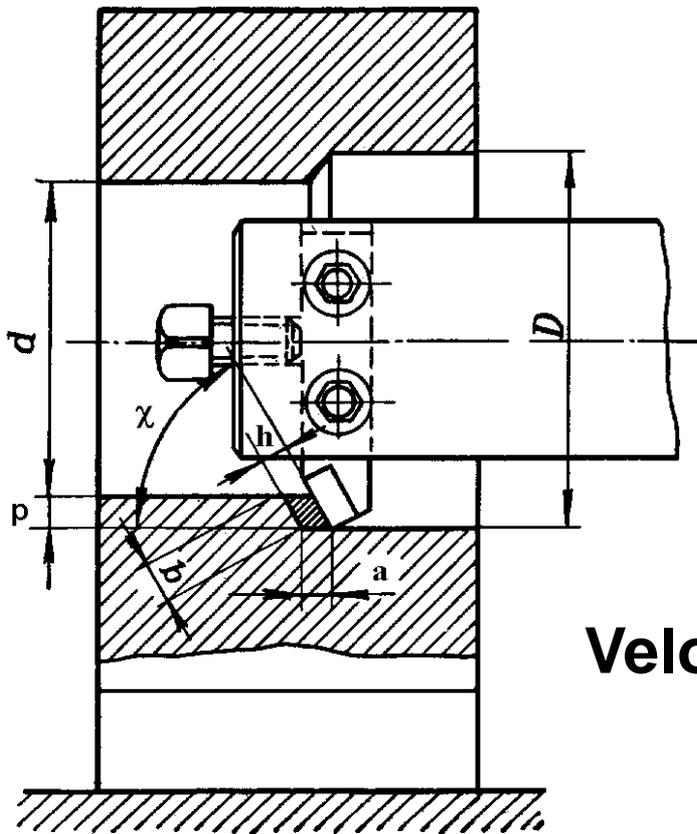
$$p = \frac{D - d}{2}$$

Velocidade de corte

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$$

Velocidade de avanço

$$V_a = a \cdot n$$



Exemplo

Um furo com diâmetro de 45 mm deve sofrer uma operação de mandrilamento a fim de se obter um diâmetro final de 50 mm, em um único passe. Adotando-se um avanço de 0,2 mm/rev e uma velocidade de corte de 70 m/min, determinar a profundidade de corte p , a velocidade de avanço V_a , a rotação n e a área de seção transversal do cavaco S .

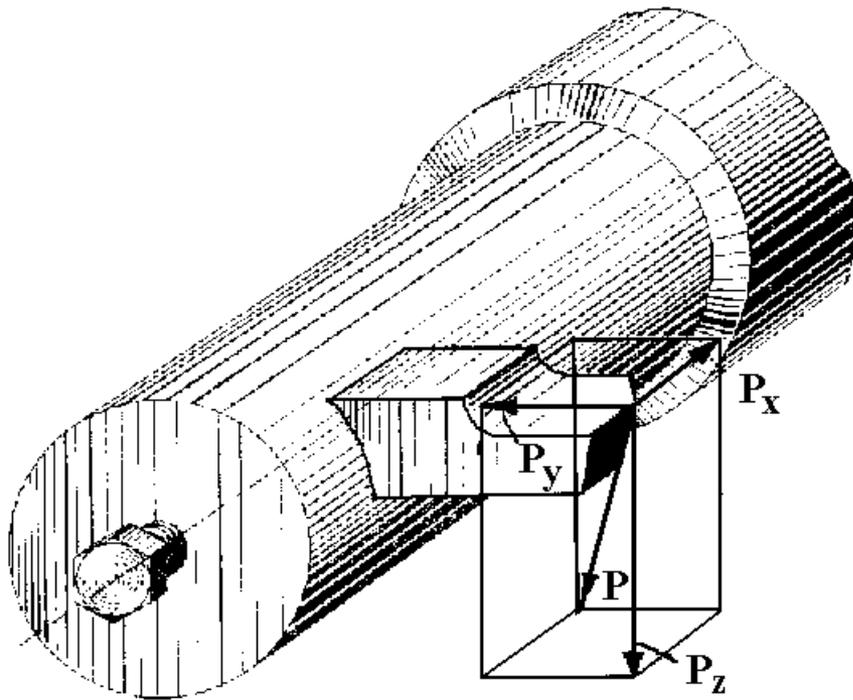
profundidade de corte:
$$p = \frac{D - d}{2} = \frac{50 - 45}{2} = 2,5 \text{ mm}$$

Rotação:
$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \times 70}{3,14 \times 50} = 445,6 \text{ rpm}$$

velocidade de avanço:
$$V_a = a \times n = 0,2 \times 445,6 = 89,12 \text{ mm / min}$$

área da seção transversal do cavaco:
$$s = a \times p = 0,2 \times 2,5 = 0,5 \text{ mm}^2$$

Forças de Corte



Força de Corte -
Kienzle

$$P_c = K_s \cdot S = K_{s1} \times h^{1-z} \times b$$

Momento de Torção

$$Mt = \frac{Pc \times D}{2 \times 1000}$$

Potência de Corte

$$Nc = \frac{Pc \times Vc}{60 \times 75}$$

$P_c = [\text{Kgf}]$; $D = [\text{mm}]$; $V_c = [\text{m/min}]$ e $N_c = [\text{CV}]$

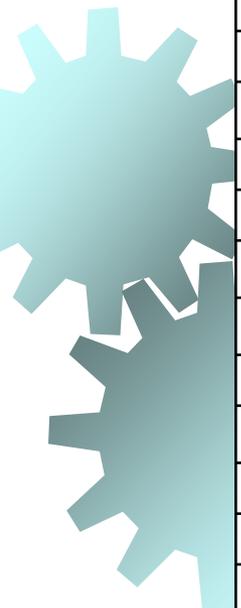
Exemplo

Determinar o torque no eixo árvore e a potência de corte sabendo-se que o diâmetro do furo é de 100 mm, a força de corte é de 400 Kgf e a rotação da barra é de 250 rpm.

Torque no eixo:

$$M_t = \frac{P_c \times D}{2 \times 1000} = \frac{400 \times 100}{2 \times 1000} = 20 \text{ Kgf.m}$$

$$V_c = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{\pi \cdot 100 \cdot 250}{1000} = 78,5 \text{ m/min} \longrightarrow N_c = \frac{P_c \times V_c}{60 \times 75} = \frac{400 \times 78,5}{60 \times 75} = 6,9 \text{ CV}$$



Material		σ_t	K_{s1}	1-z	Tratamento
ABNT	DIN	(N/mm ²)	(N/mm ²)		Térmico
1015	C 15 G	373	1640	0,80	Recozido
1020	Ck 20 N	297	1400	0,71	Normalizado
1030	St 50.2	560	1800	0,75	_____
1035	C 35 G	490	1720	0,82	Recozido
1040	40 Mn 4	594	1710	0,79	Normalizado
1045	Ck 45 N	576	1810	0,80	Normalizado
1045	Ck 45 G	520	1710	0,84	Recozido
1050	Ck 53 N	696	1790	0,77	Normalizado
1060	Ck 60 G	608	1800	0,75	Recozido
1060	Ck 60 V	873	1750	0,76	Revenido
4032	34 Cr Mo 4 V	861	1880	0,75	Revenido
4032	34 Cr Mo 4	628	1720	0,74	Recozido
4140	42 Cr Mo 4	625	1630	0,82	Recozido
4340	_____	840	1510	0,79	Beneficiado
8620	_____	572	1460	0,81	Normalizado
8640	_____	765	1530	0,84	_____
8640	_____	728	1480	0,79	Beneficiado
FC 15	GG 15	180 HB	860	0,79	_____
FC 20	GG 20	220 HB	920	0,75	_____
FC 25	GG 25	220 HB	1040	0,74	_____
FC 30	GG30	206 HB	1170	0,71	_____
Meehanite M	_____	300 HB	1120	0,74	_____
Cu Zn 37	Cu Zn 37 F38	37,8	118	0,85	_____
Cu Zn 35 Ni	_____	46,9	103	0,82	_____
Cu Zn 40 P63	Cu Zn 39 Pb3 F44	45,5	45	0,68	_____