

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
NÚCLEO DE MANUFATURA AVANÇADA - NUMA

FORÇA E POTÊNCIA DE CORTE EM
ALARGAMENTO

Prof. Dr. REGINALDO T. COELHO
Prof. Dr. ERALDO JANONNE DA SILVA

Março 2018

ÍNDICE

Contents

1 – INTRODUÇÃO.....	3
2. – ALARGADORES DE DESBASTE.....	3
3 – ALARGADORES DE ACABAMENTO	12
4 – OBTENÇÃO DE FUROS DE PRECISÃO	25

1 – INTRODUÇÃO

Alargador é uma ferramenta multicortante, geralmente de forma cilíndrica ou cônica, que no seu movimento rotativo serve para alargar e acabar furos, deixando-os com dimensões precisas. Sua forma permite uma boa guia. Apresenta uma seqüência de arestas cortantes e sulcos alternados na periferia do cilindro (ou cone). As arestas cortantes (e sulcos) podem ser paralelos ao eixo da ferramenta ou então helicoidais com hélice a direita ou a esquerda, segundo a necessidade do trabalho. As arestas helicoidais produzem um acabamento melhor além de maior suavidade na operação de corte. Por dentro dos sulcos saem os cavacos. A normas DIN e ASA B5. 14-1959 descreve precisamente os alargadores de construção integral, todavia é aplicada também para os alargadores de todos os tipos.

A geometria das arestas de um alargador normalmente compreende uma serie de ângulos para facilitar a entrada da ferramenta no furo de maneira progressiva e o mais suavemente possível. Isso evita aumentos bruscos de força de usinagem, assim como vibrações. A Figura 1.1 ilustra algumas das particularidades da aresta de corte tipicamente usada em alargadores.

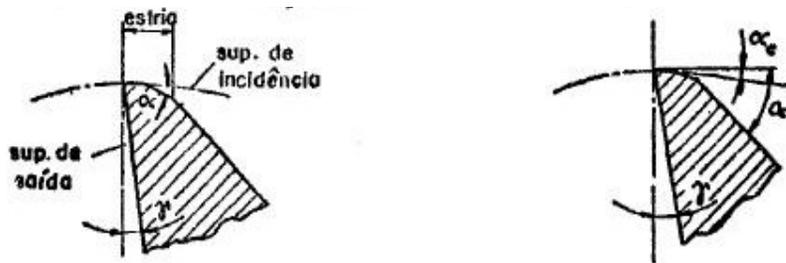
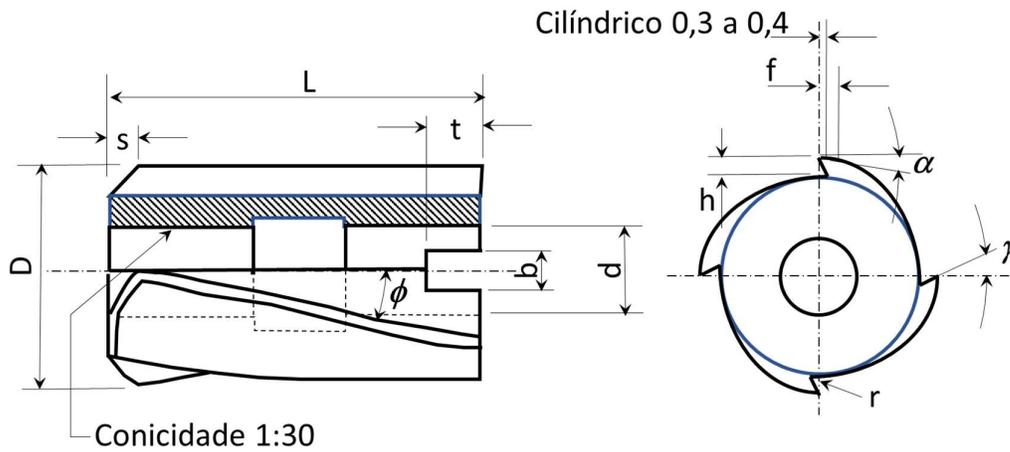


Figura 1.1 – Ilustração das principais características das arestas de alargadores

2. – ALARGADORES DE DESBASTE

Alargadores são geralmente utilizados para diâmetros de furos até 100 mm. Podem ter o diâmetro externo nominal, ou um pouco menor, a fim de preparar para um alargamento de acabamento, ou mesmo mandrilamento posterior. A qualidade obtida na operação com alargador de desbaste é, normalmente de qualidade IT8 e IT9. Os alargadores de desbaste com arestas helicoidais podem apresentar 3 ou 4 arestas cortantes. São preferidos de 4 arestas devido seu maior rendimento e precisão. Até o diâmetro de 23 mm podem ser de construção integral (isto é, com haste). Entre 24 a 100 mm são construídos sem haste, montados sobre alguma haste, ou mandril. A Figura 2.1 mostra um exemplo de alargador de desbaste com furo cônico.



$$\alpha = 5^\circ$$

$$\phi = \gamma = 6^\circ \text{ para ferro fundido e bronze}$$

$$\phi = \gamma = 8^\circ \text{ para aços com mais de } 0,45\%C$$

$$\phi = \gamma = 12^\circ \text{ a } 15^\circ \text{ para aços com menos de } 0,45\%C$$

$$\phi = \gamma = 25^\circ \text{ para ligas de Al}$$

$$h = 0,12 \text{ a } 0,13D$$

$$f = 1 \text{ a } 3 \text{ mm}$$

$$r = 1/3h$$

$$L = 1 \text{ a } 1,5D$$

$$s = 0,1D$$

d, b e t = vide Tabela 2.1.



Figura 2.1 – Modelo e dimensões típicas de Alargadores de desbaste com fixação por furo cônico.

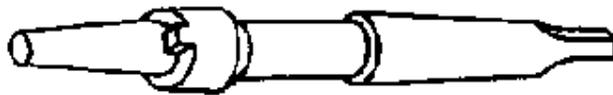


Tabela 2.1 – Dimensões de fixação de alargadores de desbaste, segundo DIN 222

D	d	ℓ	b	t
de 24 a 35	13	55	1,3	5,6
de 35 a 44	16	60	5,4	6,6
de 44 a 54	19	65	6,4	8,2
de 54 a 64	22	70	7,4	9,2
de 64 a 74	27	70	8,4	10,3
de 74 a 89	32	75	10,4	11,8
de 89 a 100	40	80	12,4	13

Alargadores de desbaste também podem conter haste cônica, conforme mostrado na Figura 2.2.

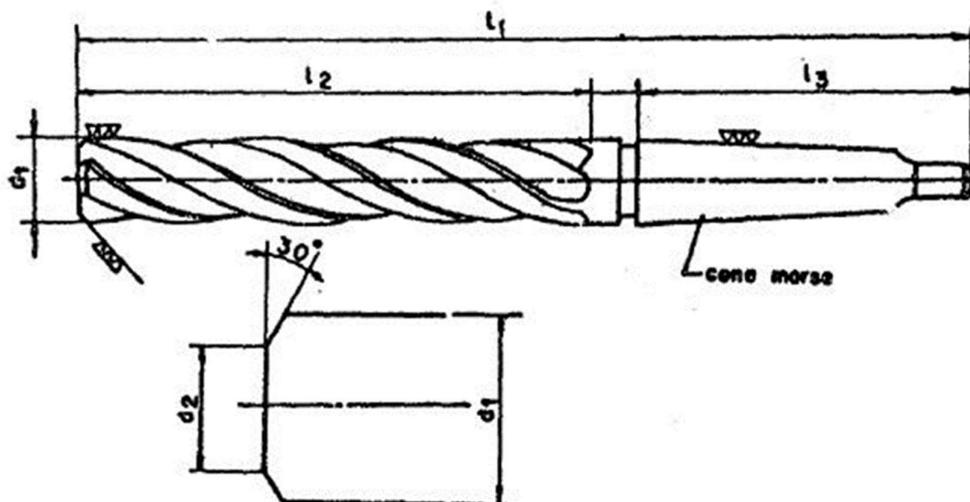
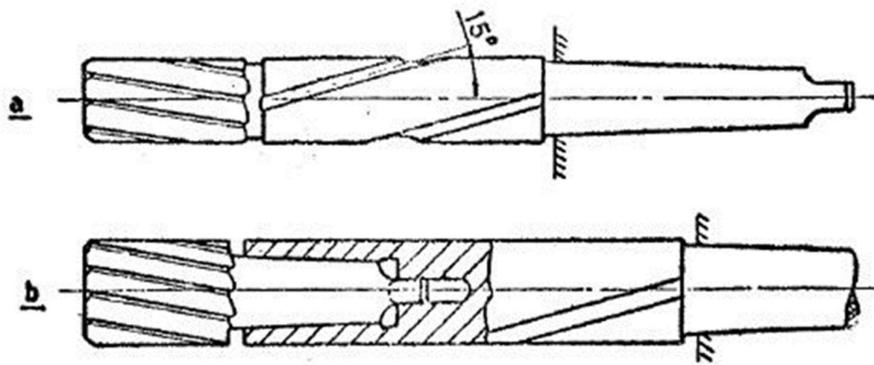


Figura 2.2 – Exemplo de alargador de desbaste com cone Morse (DIN343)

Há alargadores de desbaste com corpo inteiro, ou integral, ou com haste removível, conforme a Figura 2.3.



- Alargadores de desbaste para furos até 23 mm de diâmetro: a) tipo integral com guia; b) tipo desmontável com cabo cônico.

Figura 2.3 – Exemplo de alargador de desbaste para furos até 23 mm. (a) tipo inteiriço, ou integral e (b) tipo corpo removível com haste cônica.

As Figuras 2.4 a 2.7 mostram outros exemplos de alargadores de desbaste, também comumente utilizados na indústria.

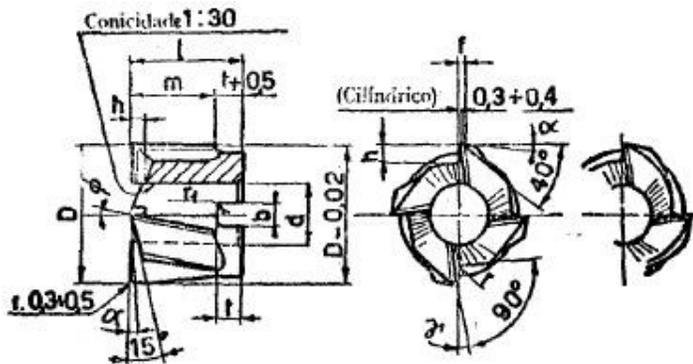


Figura 2.5 – Exemplos alargador oco para desbaste com dentes laterais e frontais para diâmetros entre 24 e 100 mm.

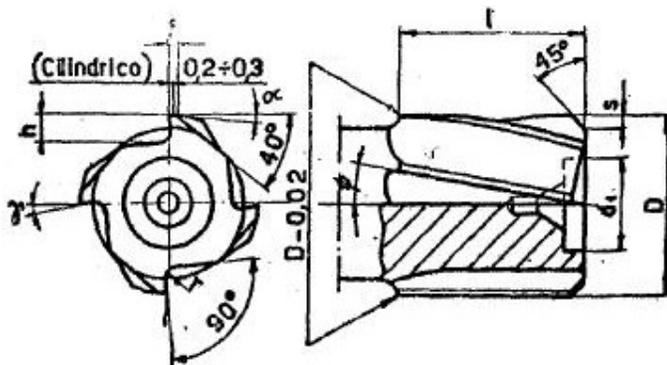


Figura 2.5 – Exemplos alargador para desbaste com dentes laterais para diâmetros entre 5 e 24 mm.

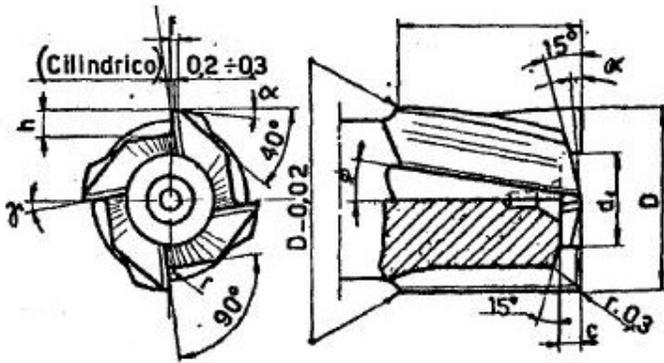


Figura 2.6 – Exemplos alargador para desbaste com dentes laterais e frontais para diâmetros entre 5 e 24 mm.

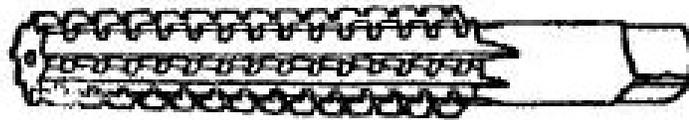


Figura 2.7 – Exemplo de alargador especial cônico para desbaste com quebra cavacos (DIN204)

Quando o acabamento final do furo for dado pelo alargador o diâmetro nominal do alargador deverá ser o diâmetro nominal do furo. Quando a operação de alargamento de desbaste for seguida de uma operação de alargamento de acabamento, o diâmetro nominal do alargador de desbaste deverá ser menor que o diâmetro nominal do furo de um valor x , de acordo com as recomendações da Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Valores de referência para a diferença entre os diâmetros do alargador e nominal do furo, para alargadores de desbaste.

Diâmetro nominal do alargador mm	Diferença de diâmetros "x" mm
até 18	0,2
18 a 30	0,25 a 0,3
acima de 30	0,4

Na operação de desbaste a força de corte pode ser determinante e pode ser calculada pela equação proposta por Kienzle:

$$F_c = k_s \cdot S \quad (2.1)$$

mas

$$k_s = k_{s1} \cdot h^{1-z} \quad (2.2)$$

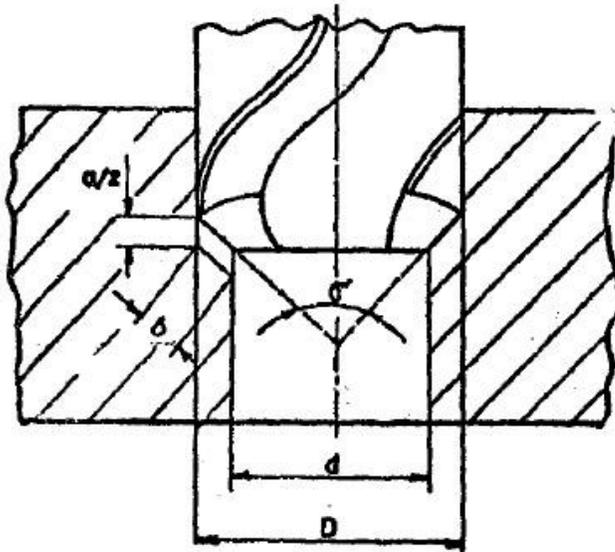
e

$$S = b \cdot h = a_p \cdot f \quad (2.3)$$

Portanto:

$$F_c = k_{s1} \cdot b \cdot h^{1-z} \quad (2.4)$$

Sendo que os valores dos coeficientes k_{s1} e $(1-z)$ podem ser obtidos das tabelas usadas para a operação de torneamento e os valores de b e de h segundo a Figura 2.8



Espessura de corte:

$$h = \frac{a}{Z} \cdot \text{sen} \frac{\sigma}{2}$$

largura de corte:

$$b = \frac{D - d}{2 \text{sen} \frac{\sigma}{2}}$$

Secção do cavaco:

$$S = b \cdot h = \frac{D - d}{2} \cdot \frac{a}{Z}$$

Figura 2.8 – Relações geométricas para o processo de alargamento de desbaste.

Momento de torção pode ser dado por:

$$M_t = F_c \cdot \frac{(D-d)}{2Z} \quad (2.5)$$

As Tabelas 2.3 e 2.4 recomendam algumas condições de usinagem para os tipos mais comuns de trabalho com alargador de desbaste. É importante também que se utilize refrigeração na operação de alargamento para evitar aquecimento na peça e algum efeito lubrificante para minimizar o desgaste prolongando a vida da ferramenta.

Tabela 2.3 – Recomendações de velocidade de corte, v_c , para operações de alargamento

MATERIAL	Resistência σ_t ou du- reza HB (kg/mm ²)	Velocidade de corte (m/min)			
		Alargador de desbaste		Alargador de ac- bamento	
		Aço rápido	Metal duro	Aço ráp.	Metal duro
Aço carbono.....	até 50	15.....20	20.....30	8....10	12...16
	50-70	14.....18	20.....30	6....8	10...14
	70-90	10.....15	20.....30	4....7	9 . 13
	90-120	10.....15	20.....30	5....5	8...12
Aço liga.....	100-120	10.....15	20.....303	5 . 8
Aço inoxidável..		12.....16	20.....30	3....5	9 .16
Aço fundido.....		15.....20	15.....25	...5	9...16
fo.fo. cinzento..	até 200HB	15.....20	20.....30	7 . .9	12. .15
	200HB	12.....15	15.....25	4....6	8...11
fo.fo.nodular...		12.....15	15.....25	4....6	8...11
fo.fo.maleável..		10.....15	15.....30	3....4	6...9
Ligas de alumínio		50.....80	30.....80	14....17	15 ..20
Latão.....		30.....40	35.....45	11....14	12...15
Bronze.....		40.....50	35.....45	9....11	10...12
Plásticos.....			70.....80		10...16

Tabela 2.4 – Recomendações de avanço para operações de alargamento

Avanços em mm/ giro para alargador de desbaste

Material	Ferramenta	Diâmetro do furo em mm					
		10...15	16...25	26...40	41...60	61..10	101..200
Aço fundido	Aço ferramenta	0,1..0,15	0,15..0,25	0,25..0,35	0,35..0,45	0,45..0,55	-
Pofo maleável	Alarg.em espiral	0,15..0,25	0,25..0,35	0,35..0,45	0,45..0,55	0,55..0,65	-
Bronze duro	Aço rápido	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	-
Pofo fundido	Aço ferramenta	0,25	0,3	0,4	0,5	0,7	-
Bronze	Alarg.em espiral						
Latão							
Alumínio							

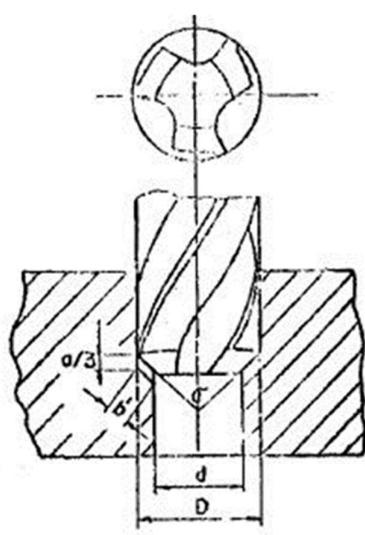
Avanços para alargadores de acabamento (mm/giro)

Material	Ferramenta	Diâmetro do furo em milímetros							
		1.5	6...10	11...15	16...25	26...40	42...60	62...100	102..200
Aço	Aço ferramenta	0,3	0,3..0,4	0,3..0,4	0,4..0,5	0,5..0,6	0,5,0,6	0,6,0,75	0,75..1
Aço fundido	e aço rápido								
Ferro fundido ma leável									
Bronze duro									
Ferro fundido									
Bronze	Aço ferramenta	0,5	0,5..1	1..1,5	1..1,5	1,5..2	1,5..2	2.....3	3.....4
Latão	e aço rápido								
Alumínio									

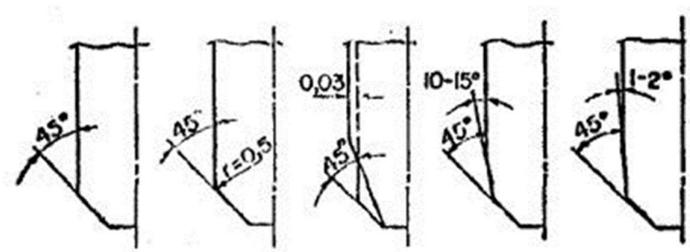
3 – ALARGADORES DE ACABAMENTO

São alargadores que apresentam um número maior arestas cortantes, em relação àqueles de desbaste, para os mesmos materiais. Servem não só para alargar furos como também para calibrá-los. A espessura do material a ser retirado é, na maioria das aplicações, da ordem de 0,1 a 0,4 mm no diâmetro do furo. Cada aresta retira uma fração de metal menor. Consegue-se obter furo com maior qualidade dimensional e geométrica, com qualidade de até IT7, com uso adequado de lubrificante de corte. Até o diâmetro de 20 mm são construídos alargadores integrais, isto é, de uma só peça, podendo ter haste cilíndrica ou cônica, sem guia posterior, ou então com o corpo de guia.

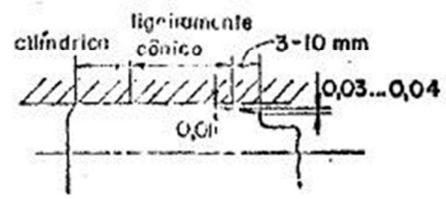
As arestas de corte podem ser retas, helicoidais segundo o emprego. Apresentam uma entrada, isto é, um chanfro cujos ângulos podem ser observados na Figura 3.1.



Processo de usinagem de um alargador num furo.



Diferentes ângulos de entrada.



Perfil longitudinal do dente de um alargador para máquina.

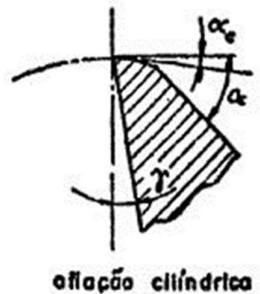
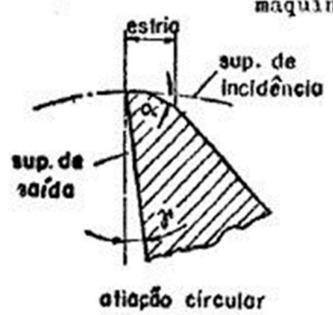


Figura 3.1 – Características geométricas de arestas de corte de um alargador de acabamento

É nesta porção que se realiza o trabalho de usinagem da ferramenta. Podem apresentar uma afiação circular ou afiação chanfrada, como mostram as figuras da folha de desenho anexa. Esta última apresenta a vantagem de melhor acabamento superficial do furo, todavia é de vida menor o

ângulo $\alpha_c = 0,5$ a $3,5$ e o ângulo $\alpha = 5$. Na afiação circular a largura da estria, cujo ângulo de folga é 0° , é de $0,5$ a $0,2$ mm. Os demais ângulos são indicados na Tabela 3.1, para uma variedade de matérias comumente usinados.

Tabela 3.1 – Valores típicos de ângulos usados em alargadores de acabamento.

MATERIAIS	Ângulo saída " " γ	Ângulo folga " " α	Ângulo da hélice " " β	Sentido da hélice	Sentido de rotação
Metais leves	20°	5°	20°	esquerda	direita
Aço com $\sigma_r < 40\text{kg/mm}^2$	10°	5°	8°	esquerda	direita
Aço com $\sigma_r = 50+90\text{kg/mm}^2$	8°	5°	6°	direita	direita
Aço com $\sigma_r > 90\text{kg/mm}^2$	7°	5°	9°	direita	direita
fofo e bronze	5°	5°	0°	reta	direita

O sentido da hélice das arestas de um alargador relativamente ao sentido de rotação da ferramenta influi na força de penetração do alargador no furo e sentidos concordantes diminuem a força de penetração. Assim é aconselhável adotar sentidos discordantes para metais leves e aço doce; sentidos concordantes para aço duros; e estrias ou dentes retos para materiais que produzem cavaco curtos, por exemplo ferro fundido e bronzes. Quanto ao número de dentes, os alargadores podem apresentar de 4 a 20 dentes conforme a Tabela 3.2, dependendo do seu diâmetro. Em geral os alargadores manuais apresentam maior número de dentes, quando comparados com os alargadores de mesmo diâmetro usados em máquina.

Tabela 3.2 – Recomendações de número de dentes para alargadores

Diâmetro D	Número de dentes para usinar aço, fofo e bronze	Número de dentes para usinar o alumínio
até 12	4 + 6	4
de 12 + 20	6 + 8	4 + 6
de 20 + 30	8 + 10	6 + 8
de 30 + 40	10 + 12	6 + 8
de 40 + 50	12 + 14	8 + 10
de 50 + 60	14 + 16	8 + 10
de 60 + 100	16 + 20	10 + 12

O passo dos dentes, quando constante, tem a tendência a deixar marcas na superfície do furo; devido a vibração decorrente da ação periódica das forças. Para evitar esse inconveniente os alargadores são construídos com dentes helicoidais, ou então com passo variável. Neste último caso os dentes devem resultar opostos dois a dois, para facilitar o controle do diâmetro do alargador, conforme sugerido pela Figura 3.2

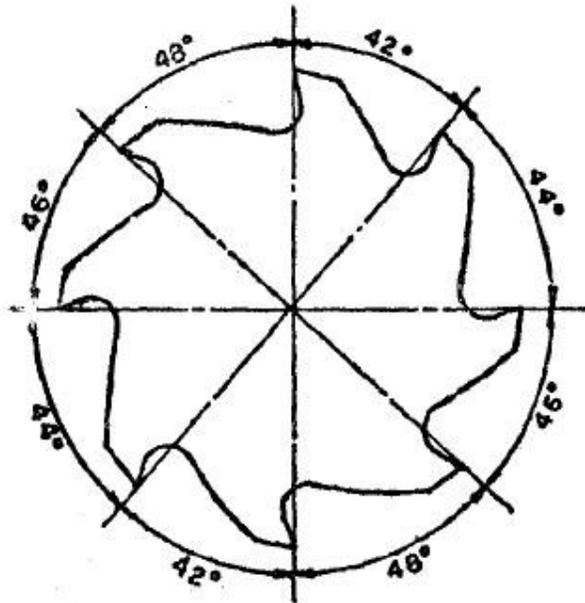


Figura 3.2 – Sugestão de distribuição dos dentes em um alargador para evitar vibração na superfície usinada.

Quanto a tolerância de fabricação dos alargadores de acabamento, a norma DIN fixou os limites 0,5T a 0,85T, sendo T o campo de tolerância do furo. A Figura 3.3 ilustra estes limites.

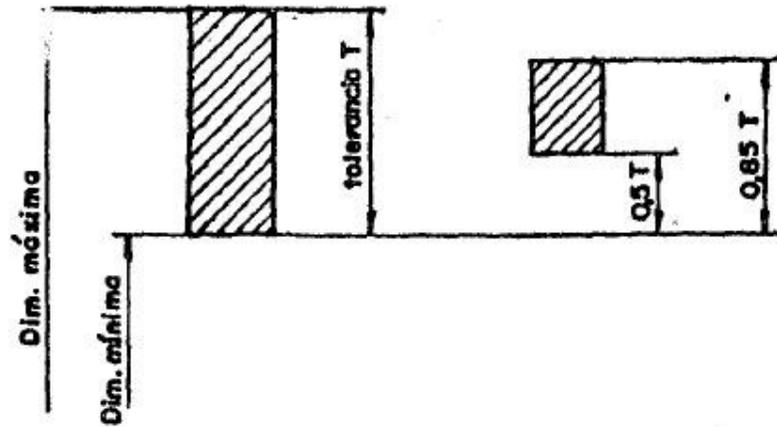


Figura 3.3 – Esquema de tolerância do alargador em relação à tolerância do furo.

Exemplo: deseja-se calibrar um furo

$$50H7 = 50 + 0,025 \therefore \text{Tolerância } T = 0,025$$

Diâmetro mínimo do alargador:

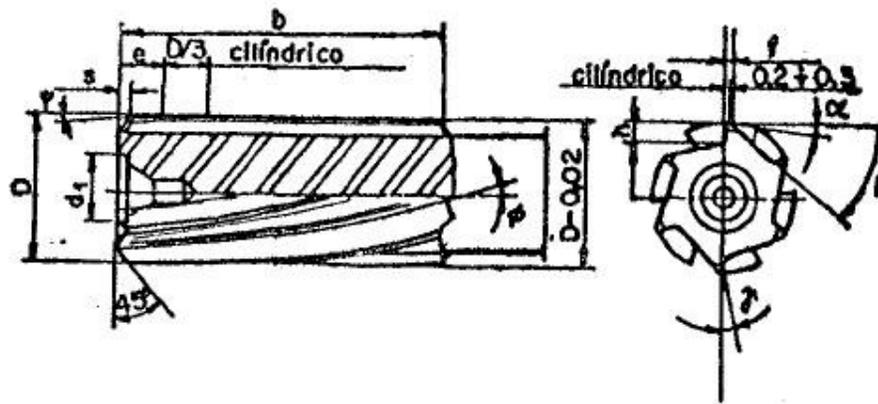
$$D_{\min} = D + 0,5 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = \underline{D + 0,0125mm}$$

Diâmetro máximo do alargador:

$$D_{\max} = D + 0,85 \cdot 25 \cdot 10^{-3} = \underline{D + 0,02125mm}$$

O alargador poderá ser usado até apresentar um desgaste tal que resulte $D = D_{\text{no min al}}$

A Figura 3.4 mostra um exemplo de alargador de acabamento integral para diâmetro $D = 6 \text{ a } 20mm$



$\alpha = 5^\circ$ para todos os materiais

$\gamma = 20^\circ$ para metais leves

$\gamma = 10^\circ$ para aço com $\sigma_t < 40 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\gamma = 8^\circ$ para aço com $\sigma_t = 40 + 90 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\gamma = 7^\circ$ para aço com $\sigma_t > 90 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\gamma = 5^\circ$ para ferro fundido e bronze

$\phi = 20^\circ$ para metais leves

$\phi = 8^\circ$ para aço com $\sigma_t < 40 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\phi = 6^\circ$ para aços com $\sigma_t = 40 + 90 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\phi = 9^\circ$ para aços com $\sigma_t > 90 \text{ kg}^*/\text{mm}^2$

$\phi = 0^\circ$ para ferro fundido e bronze

$s = 0,2$ a $0,5$ para diâmetros de 3 a 20 mm

$e = 3,5$ a 5mm para diâmetros de 3 a 20 mm de alargadores de máquina e para furos passantes

$e = 0,7$ a 1,4mm para diâmetros de 3 a 20 mm de alargadores de máquina e para furos cegos

$f = 0,3$ a 0,7 mm para diâmetro de 3 a 20 mm

$\varphi = 2^\circ 30'$ para alargadores de máquina para furos passantes

$\varphi = 15^\circ$ para alargadores de máquina para furos cegos

$\beta = 40^\circ$ para diâmetros de 6 a 20 mm

$h = 0,11$ a $0,13D$

$d_1 = 0,5D$

$r = 1/3h$ para ferro fundido, bronze e aço

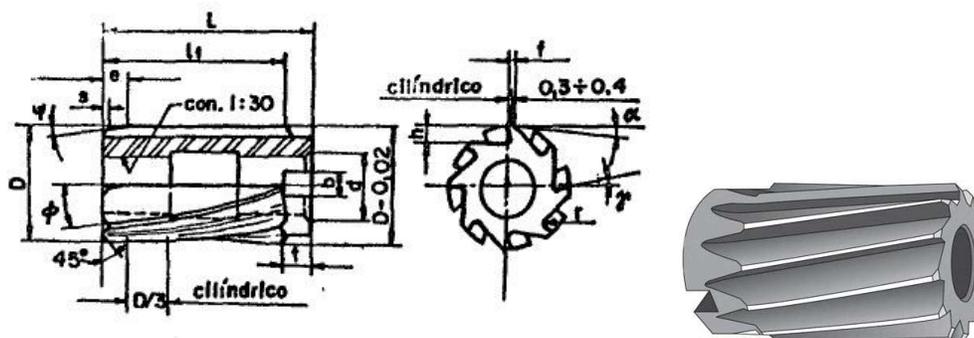
$r = 1/2h$ para metais leves

d	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
b	30	35	35	35	40	40	40	40	45	45	45	50	50	50	55	55

d	22	23	24	25	26	28	30	32	34	35	36	38	40
b	55	60	60	60	60	65	70	70	75	75	75	80	85

Figura 3.4 – Exemplo de um alargador de acabamento integral para diâmetro $D = 6$ a 20 mm

A Figura 3.5 mostra exemplo de alargadores de acabamento cilíndrico oco para diâmetros $D = 20$ a 50 mm



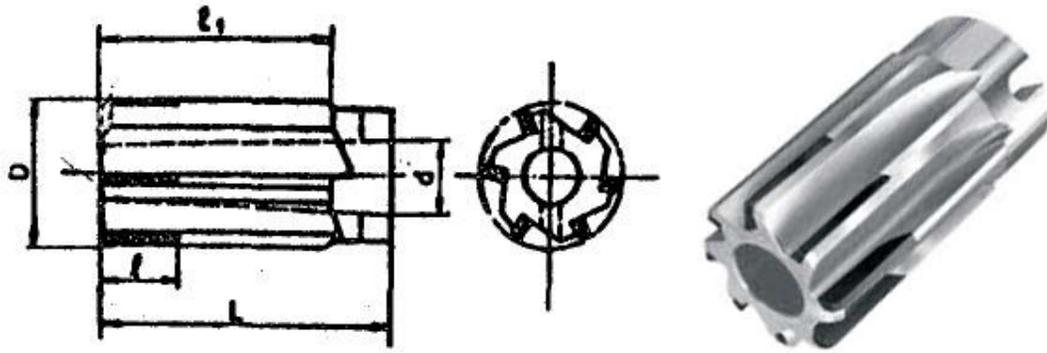
- $\alpha = 5^\circ$ para todos os materiais
- $\gamma = 20^\circ$ para metais leves
- $\gamma = 10^\circ$ para aço com $\sigma_t < 40 \text{ kgf/mm}^2$
- $\gamma = 8^\circ$ para aço com $\sigma_t = 50$ a 90 kgf/mm^2
- $\gamma = 7^\circ$ para aço com $\sigma_t > 90 \text{ kgf/mm}^2$
- $\gamma = 5^\circ$ para ferro fundido e bronze
- $\phi = 20^\circ$ para metais leves
- $\phi = 8^\circ$ para aço com $\sigma_t < 40 \text{ kgf/mm}^2$
- $\phi = 6^\circ$ para aços com $\sigma_t = 40$ a 90 kgf/mm^2
- $\phi = 9^\circ$ para aços com $\sigma_t > 90 \text{ kgf/mm}^2$
- $\phi = 0^\circ$ para ferro fundido e bronze
- $\varphi = 2^\circ 30'$ para alargadores de máquina para furos passantes
- $\varphi = 15^\circ$ para alargadores de máquina para furos cegos
- $\beta = 40^\circ$ para diâmetros de 6 a 20 mm
- $h = 0,11$ a $0,13D$
- $r = 1/3h$ para ferro fundido, bronze e aço
- $r = 1/2h$ para ligas leves
- $e = 0,5$ a $1,5 \text{ mm}$ para diâmetros de 20 a 50 mm
- $e = 5$ a 10 mm para alargadores de máquina e para furo passante
- $e = 1,4$ a $3,5 \text{ mm}$ para alargadores de máquina e para furo cego
- $f = 0,7$ a $1,4 \text{ mm}$ para diâmetro de 20 a 50 mm
- $r_1 = 0,5$ a 1 mm

Segundo a norma DIN – E 219, as cotas l, l_1, d, b, t , são:

D	d	l_1	l	b	t
18 - 24	10	28	40	4,3	5,6
24 - 28	13	32	45	4,3	5,6
28 - 34	16	36	50	5,4	6,6
34 - 40	19	40	56	6,4	8,2
40 - 48	22	45	63	7,4	9,2

Figura 3.5 – Exemplo de alargadores de acabamento cilíndrico oco para diâmetros $D = 20$ a 50 mm

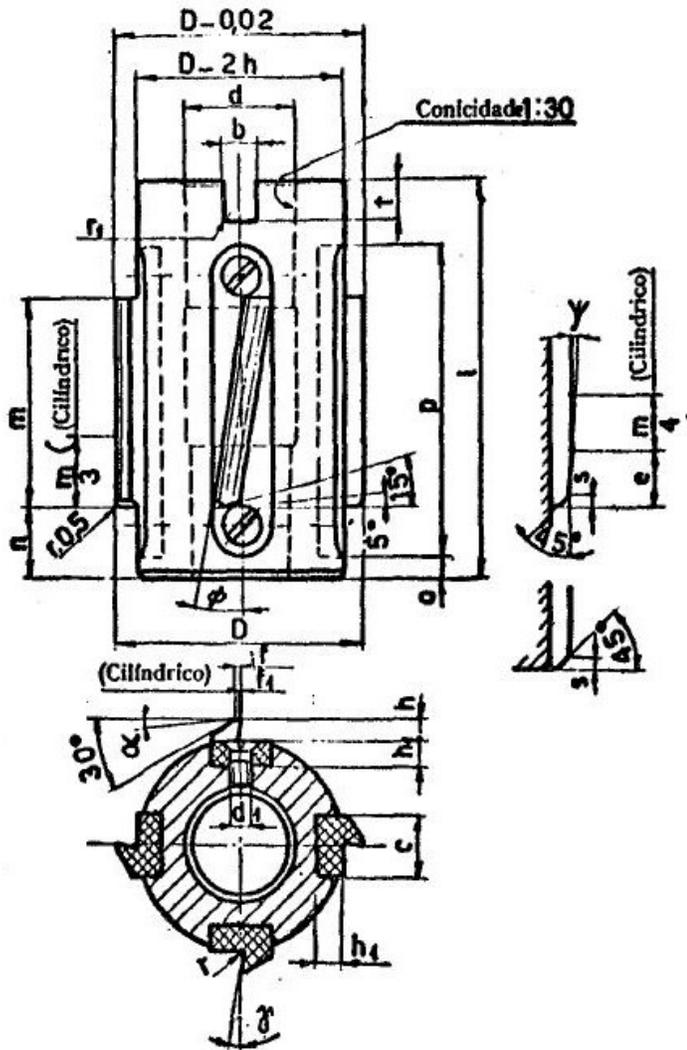
A Figura 3.6 mostra exemplo de alargador cilíndrico oco com pastilha de metal duro



D	L	d	DENTES		
			N	l	l ₁
18	50	10	6	21	40
21	50	10	6	21	40
25	60	13	8	24	48
30	70	15	8	24	58
35	80	19	8	29	64
40	80	19	8	29	64
44	90	22	10	29	72
48	90	22	10	29	72

Figura 3.6 - Exemplo de alargador cilíndrico oco com pastilha de metal duro

Para alargadores com diâmetros maiores, entre 40 e 150 mm, o mais econômico é um modelo com lâminas removíveis, como mostrado na Figura 3.7, os quais podem servir para desbaste e acabamento.

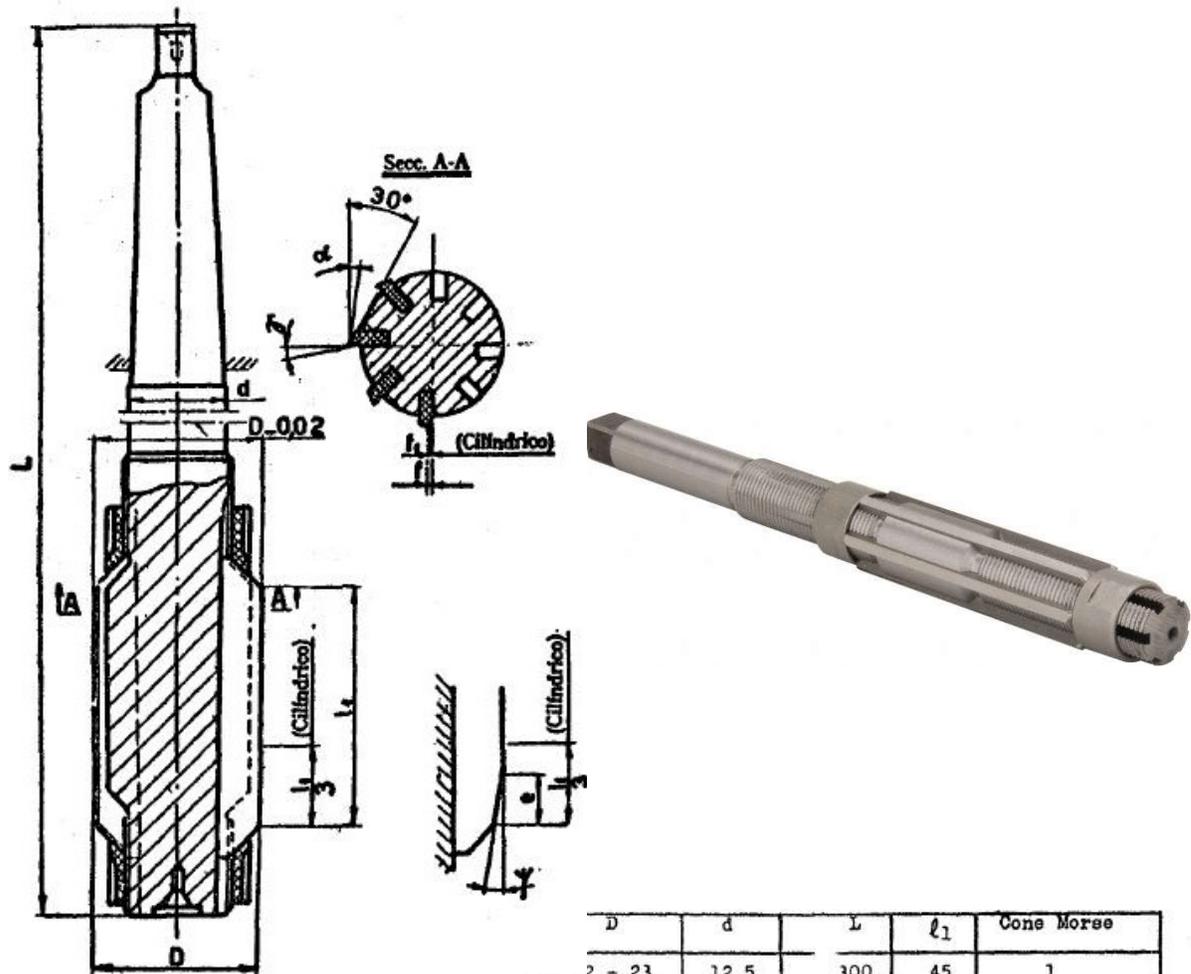


- $f_1 = 0,4$ a $0,5\text{mm}$
- $f = 1,4$ a $2,7\text{mm}$
- $r = 1/3h$
- $r_1 = 1$
- $e = 10$ a 15mm
- $\varphi = 2^\circ 30'$
- $\alpha = 5^\circ$
- $\gamma = 5^\circ$ para ferro fundido e bronze
- $\gamma = 10^\circ$ para aço $\sigma_t = 50$ a 90 kgf/mm^2
- $\gamma = 8^\circ$ para aço $\sigma_t > 90 \text{ kgf/mm}^2$
- $\phi = 0^\circ$ para ferro fundido e bronze
- $\phi = 6^\circ$ para aços $\sigma_t = 50 - 90 \text{ kgf/mm}^2$
- $\phi = 9^\circ$ para aços $\sigma_t > 90 \text{ kgf/mm}^2$

D	d	l	m	n	o	p	b	t	h	h ₁	o	d ₁	s	Nº de facas
45-49	19	85	45	15	3	69	6,4	8,2	4	5	14	4x0,7	2,5	4
60-74	27	95	50	16	4	74	8,4	10,3	5	6	15	5x0,8	3	6
75-89	32	105	55	18	5	81	10,4	11,8	6	7	17	6x1	3,5	6
90-100	40	120	60	21	6	90	12,4	13	7	8	18	7x1	4	6+8

Figura 3.7 – Exemplo de alargadores entre 40 e 150 mm de diâmetro com lâminas removíveis.

Para variações pequenas em diâmetro, pode-usar uma ferramenta expansiva. São alargadores que podem variar o diâmetro valendo-se da elasticidade do material e aplicação conveniente de planos inclinados. Aproveitando a elasticidade do material, é possível uma variação centesimal do diâmetro do alargador, enquanto que com planos inclinados consegue-se uma variação de 0,5mm a 1mm, proporcionalmente aos diâmetros. As arestas cortantes, ou lâminas, destes alargadores são geralmente retilíneas e podem ser usados manualmente ou em máquinas. Um exemplo desse tipo de alargador é mostrado na Figura 3.8.



$\gamma = 5^\circ$ para FoFo e bronze

$\gamma = 8^\circ$ para aço duro

$\gamma = 10^\circ$ para aço doce

$\gamma = 20^\circ$ para alumínio

$\alpha = 5^\circ$

$\varphi = 2^\circ 30'$

$f_1 = 0,3$ a $0,5\text{mm}$

$f = 0,7$ a $1,4\text{mm}$ para diâmetro de 22 a 50mm

$f = 1,4$ a $2,7\text{mm}$ para diâmetro de 50 a 100mm

$e = 5$ a 10mm para diâmetro de 22 a 50mm

$e = 10$ a 15mm para diâmetro de 50 a 100mm

D	d	L	ℓ_1	Cone Morse
2 - 23	12,5	300	45	1
23 - 25	14	300	45	1
25 - 28	16	315	48	1
28 - 33	18	330	50	2
33 - 35	19,5	330	50	2
35 - 40	21,5	340	56	2
40 - 46	25	360	60	3
46 - 50	28	375	64	3
50 - 55	30	375	64	3
55 - 65	35	400	72	4
65 - 70	38	420	80	4
70 - 75	40	420	80	4
75 - 82	45	450	90	5
82 - 88	50	450	90	5
88 - 95	55	475	100	5
95 - 100	58	475	100	5

Figura 3.8 – Exemplo de alargador expansivo com lâminas removíveis

Alargadores também podem ser cônicos para desbaste e acabamento. Nos alargadores cônicos de desbaste tem-se uma ranhura helicoidal, quebra-cavaco nas arestas cortantes, os quais tem como função facilitar a extração do cavaco. Os dentes podem ser retilíneos ou helicoidais. Para um bom acabamento do furo cônico em diâmetros pequenos, bons resultados têm sido alcançados com

alargadores cônico com dentes helicoidais a esquerda e de número grande de dentes. O sentido da hélice esquerda evita o travamento da ferramenta no material em usinagem, o que poderia provocar a quebra da ferramenta. No caso de furos cônicos de maior diâmetro, é preciso operar com 3 alargadores em 3 estágios sucessivos, para se conseguir um bom acabamento. A Figura 3.9 mostra alguns exemplos de alargadores cônicos.

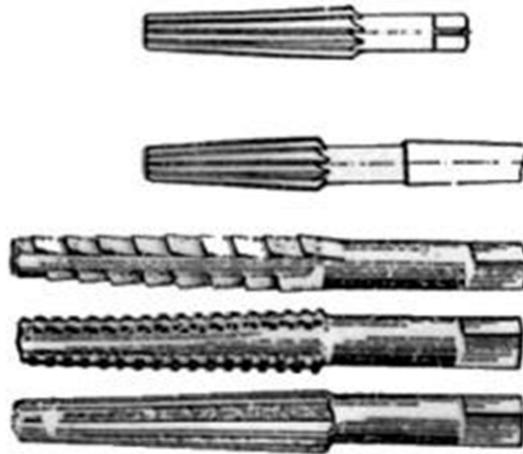


Figura 3.9 - Exemplos de alargadores cônicos.

Há ainda outros tipos de alargadores, como os escalonados, alargadores escalonados com piloto, alargadores especiais, etc, alguns dos quais podem ser vistos na Figura 310.

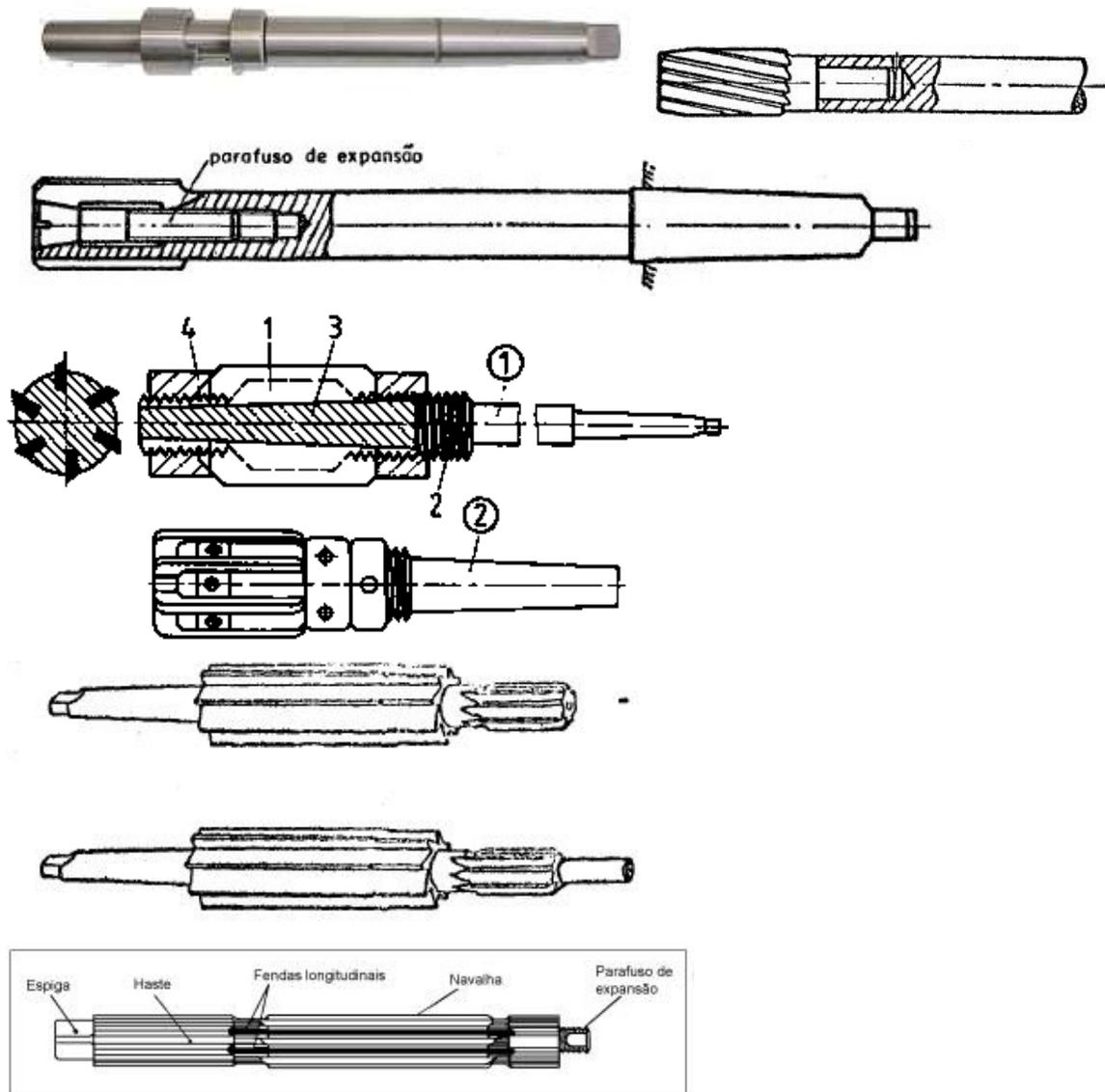


Figura 3.10 – Exemplos de diversos outros tipos de alargadores.

Finalmente, tem-se os escareadores, que são ferramentas multi-cortantes para alargar furos, geralmente apenas na entrada e não ao longo de toda a profundidade do furo. A Figura 3.11 mostra exemplos dessas ferramentas.



Figura 3.11 – Exemplos de escareadores diversos.

A diferença de diâmetros do furo a ser alargado e do alargador de acabamento pode ser dada por:

$$\Delta D = 0,1 + 0,005D \text{ (mm)} \text{ para aço rápido.}$$

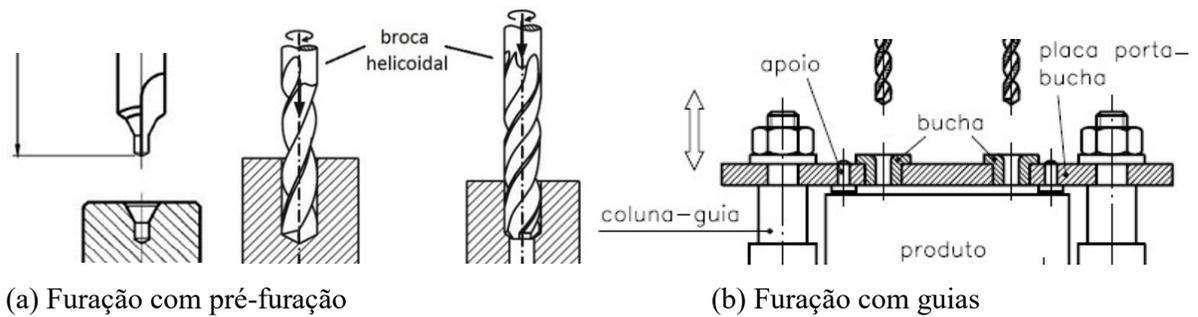
$$\Delta D = 0,03D \text{ a } 0,005D \text{ (mm)} \text{ para metal duro.}$$

4 – OBTENÇÃO DE FUROS DE PRECISÃO

Furos de alta precisão podem são aqueles que atendem aos seguintes critérios dentro de tolerâncias estreitas:

- a) A posição do furo
- b) A direção do eixo do furo
- c) O formato do furo
- d) A tolerância do furo
- e) A rugosidade superficial do furo

Supondo um posicionamento correto do eixo árvore da máquina (furadeira ou fresadora, por exemplo), a obtenção das coordenadas corretas do centro do furo dependerá ainda da broca e de seu desempenho dentro da peça. A broca helicoidal é guiada pela ponta e pelas estrias, após o início do furo. Uma vez que a aresta transversal da broca praticamente não corta o material, mas sim o comprime e esmaga, a broca pode se desviar do centro inicial, durante a furação. A fim de evitar esse desvio, a broca pode ser guiada por uma bucha-guia em uma máscara de furação, ou deve-se reduzir a influencia desfavorável da aresta transversal de corte, empregando uma broca de centro e uma pré-furação com uma broca de diâmetro menor. Esta última com diâmetro maior do que o núcleo da broca final. A Figura 4.1 ilustra essas situações.



Mandrimento pode ser empregado, após o alargamento de desbaste, ou a furação, para alcançar o diâmetro final de furos de precisão. Dependendo da precisão das coordenadas do centro do furo inicial, pode-se ter o mandrilamento guiado ou em balanço. Na operação guiada, a barra de mandrilar é apoiada na extremidade em balanço e deve ser preferida para furos com L/D maiores que 2. No caso de relações menores a barra em balanço pode ser usada. Em ambos os casos, várias passadas com profundidades menores podem ser necessárias. A Figura 4.2 ilustra os dois casos de mandrilamento.

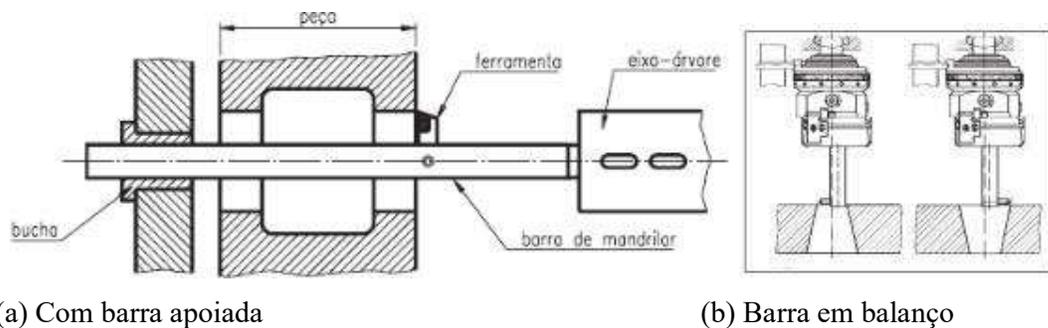


Figura 4.2 – Operações de mandrilamento.

Os alargadores de desbaste são empregados para melhorar a qualidade de furos obtidos por uma broca helicoidal e possuem três ou mais arestas cortantes e uma ponta em forma de tronco de cone para penetração inicial no furo e remoção progressiva de material. No alargamento de furos com coordenadas de centro já precisas na furação anterior, tais coordenadas podem ser mantidas com um sistema de mandril flutuante para o alargamento. No entanto, se as coordenadas do centro do furo resultarem diferentes das previstas, o alargador de desbaste não corrigirá e um mandrilamento é o mais indicado com uma correção nas coordenadas. As coordenadas de localização do furo podem ser desviadas na furação devido a, por exemplo, a presença de inclusões duras ou poros no material furado; neste caso a força que atua sobre uma das arestas cortantes será maior que a força que atua sobre a outra aresta cortante, desviando a broca de sua posição inicial. O alargador de acabamento também não exerce nenhuma influencia sobre as coordenadas do centro do furo e sempre deve ser

usado com mandril flutuantes. Correções de coordenadas podem ser conseguidas com mandrilamento de acabamento.

Um furo é considerado perfeitamente cilíndrico se contiver seções circulares de diâmetro constante e um eixo retilíneo. Em geral, os furos obtidos por brocas helicoidais não satisfazem essas exigências. Furos obtidos por alargamento e/ou mandrilamento podem se aproximar mais do cilindro perfeito. Furos com maiores exigências devem ainda ser retificados, após as operações de alargamento e mandrilamento.

O furo obtido por meio de uma broca helicoidal, um alargador de desbaste ou um alargador de acabamento tem sempre um diâmetro maior que a ferramenta. Essa diferença de diâmetros deve estar ainda dentro da tolerância do furo e depende, além do tipo da ferramenta e do material, também das condições de usinagem, dos ângulos da ferramenta, da afiação, do refrigerante de corte, do apoio do eixo árvore, da máquina, etc. A diferença de diâmetros é maior na furação com broca helicoidal, a qual não possui uma guia suficiente. Essas diferenças situam entre 0,1 e 0,9mm, dependendo do diâmetro da broca. A Figura 4.3 mostra dados experimentais sobre furos obtidos por brocas helicoidais.

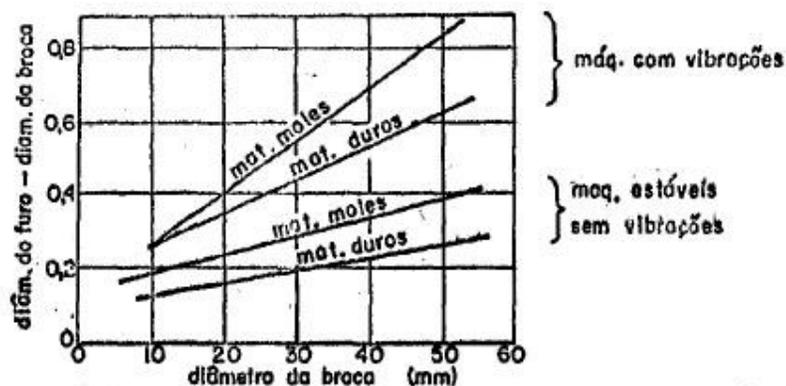


Fig.5: Diferença de diâmetro da broca e do furo obtido, ΔD .

Figura 4.3 – Resultados experimentais de furos obtidos por brocas helicoidais.

Os alargadores de acabamento podem ser empregados para melhorar o diâmetro final de furos cuja tolerância corresponde normalmente à qualidade IT7. A diferença de diâmetros pode ser reduzida mediante a escolha de refrigerantes e lubrificantes adequados.

Para o acabamento superficial do furo, os principais responsáveis são o material da peça, a ferramenta, a máquina e as condições de usinagem. Empregando brocas helicoidais, alargadores de desbaste ou mandrilamento, surgem ranhuras na parede do furo, cuja profundidade e largura dependem, entre outros, do avanço. O avanço das operações de furação e alargamento de desbaste deve ser escolhido tal que as ranhuras produzidas possam ser facilmente eliminadas pela operação subsequente de alargamento de acabamento. Além disto, a parede do furo pode ser danificada durante

a furação ou o alargamento de desbaste, se a remoção do cavaco for insuficiente. Ao contrário do que acontece na furação e no alargamento de desbaste, no mandrilamento pode-se realizar trabalhos de desbaste, de alisamento e de acabamento fino. O acabamento superficial obtido depende, em analogia com o que acontece no torneamento, da velocidade de corte e do avanço. O acabamento superficial final de furos pode ainda ser muito melhorado pela operação de retificação, embora aplicada somente em casos de necessidade, uma vez que tem alto custo.

A Figura 4.4 mostra diversas sequencias de usinagem para obtenção de furos com maior precisão.

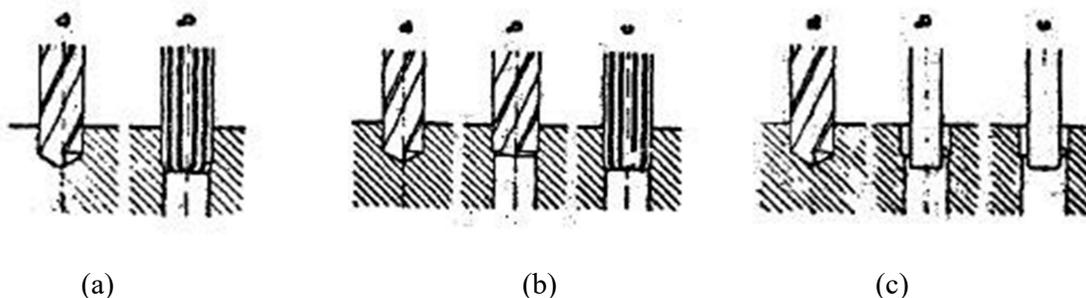


Figura 4.4 – Diversas sugestões para obtenção de furos mais precisos. (a) Furação seguida de alargamento. (b) Furação, alargamento de desbaste e de acabamento. (c) Furação, mandrilamento de desbaste e de acabamento