

Capítulo 10

Furação

Afuração é um dos processos de usinagem mais antigos e mais empregados na indústria. Os egípcios já utilizavam os recursos da época para fazer furos. As primeiras publicações sobre a furação de metais são do início do século XIX.

A furação é um método de usinagem eficiente e econômico. Muitas vezes, é realizada em conjunto com outras operações de usinagem. A ferramenta usada é a broca, que gira contra a peça, ocorrendo, ainda, um movimento de corte axial e a remoção de cavacos. A máquina em que a broca é montada para executar o processo é a furadeira. A furação pode ser feita também em fresadoras convencionais ou CNC e em centros de usinagem. Nos tornos, o processo é um pouco diferente, pois é a peça que gira.

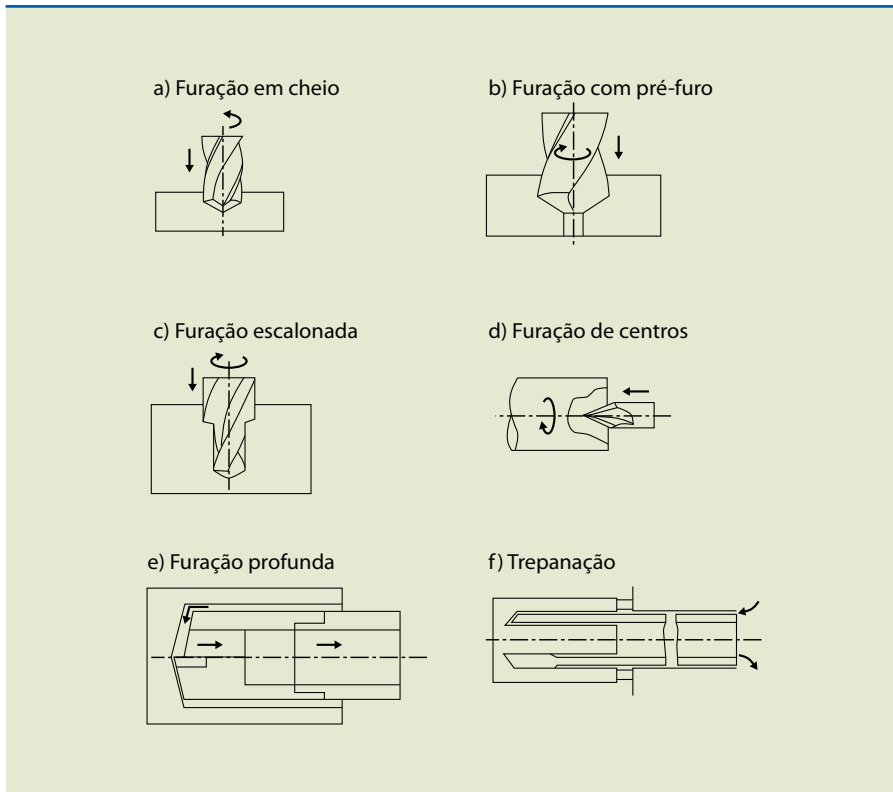
A broca helicoidal é largamente utilizada na furação, com diversas variações de geometria de corte. Existem outros tipos de brocas, para diversas aplicações. Atualmente há brocas inteiriças ou integrais em aço rápido ou metal duro, com insertos intercambiáveis, canais de refrigeração interna e de materiais muito resistentes.

10.1 Definições em furação

A furação é um “processo mecânico de usinagem para obter um furo em geral cilíndrico em uma peça, com o uso da broca, normalmente multicortante. A ferramenta ou a peça giram, e tanto a ferramenta como a peça podem se deslocar segundo uma trajetória retilínea, coincidente ou paralela ao eixo principal da máquina, dependendo do tipo de máquina” (FERRARESI, 1977). A subdivisão das operações de furação (mostrada na figura 10.1) é descrita a seguir.

- **Furação em cheio** (item *a* da figura 10.1) – “processo de furação destinado à abertura de um furo cilíndrico numa peça, removendo todo o material compreendido no volume do furo final, na forma de cavaco” (FERRARESI, 1977). Em furações de grandes profundidades (item *e*), é utilizada ferramenta para furação profunda (*e*);
- **Furação escalonada** (*c*) – usinagem de um furo para obter dois ou mais diâmetros ao mesmo tempo, com a vantagem do ganho de tempo de troca de ferramentas;
- **Furação com pré-furo ou escareamento** (*b*) – “reabre” um furo cilíndrico em uma peça já pré-furada ou executa o chanframento do furo;

- **Furação de centro** (d) – furação para obter furos de centro, que receberão operação posterior na peça, como guia em certas furações em cheio ou suporte em torneamento;
- **Trepanação** (f) – “processo de furação em que apenas uma parte de material compreendido no volume do furo final é reduzida a cavaco, permanecendo um núcleo maciço” (FERRARESI, 1977), que pode ser aproveitado como matéria-prima de confecção de outras peças.

**Figura 10.1**

Subdivisão das operações de furação.

10.2 Broca helicoidal

As brocas helicoidais são as ferramentas de corte mais utilizadas na abertura de furos. Possuem de duas até quatro arestas de corte e canais no formato de sulcos helicoidais por onde escoam o cavaco. O ângulo da ponta varia de acordo com a dureza do material a furar. Os elementos de uma broca estão destacados na figura 10.2.

As características de uma broca, além de sua forma, são a dimensão nominal (diâmetro), o material e os ângulos (de hélice, de folga, de saída e de ponta). O gume transversal empurra o material na direção do gume principal. O gume principal é formado pelos ângulos de ponta, de quina e de incidência, além do raio de quina. O ângulo de hélice da broca define o ângulo de saída γ . Todos esses ângulos são ilustrados na figura 10.3.

Quando necessário, esse tipo de broca possui canal interno para alimentação do fluido refrigerante.

Broca helicoidal

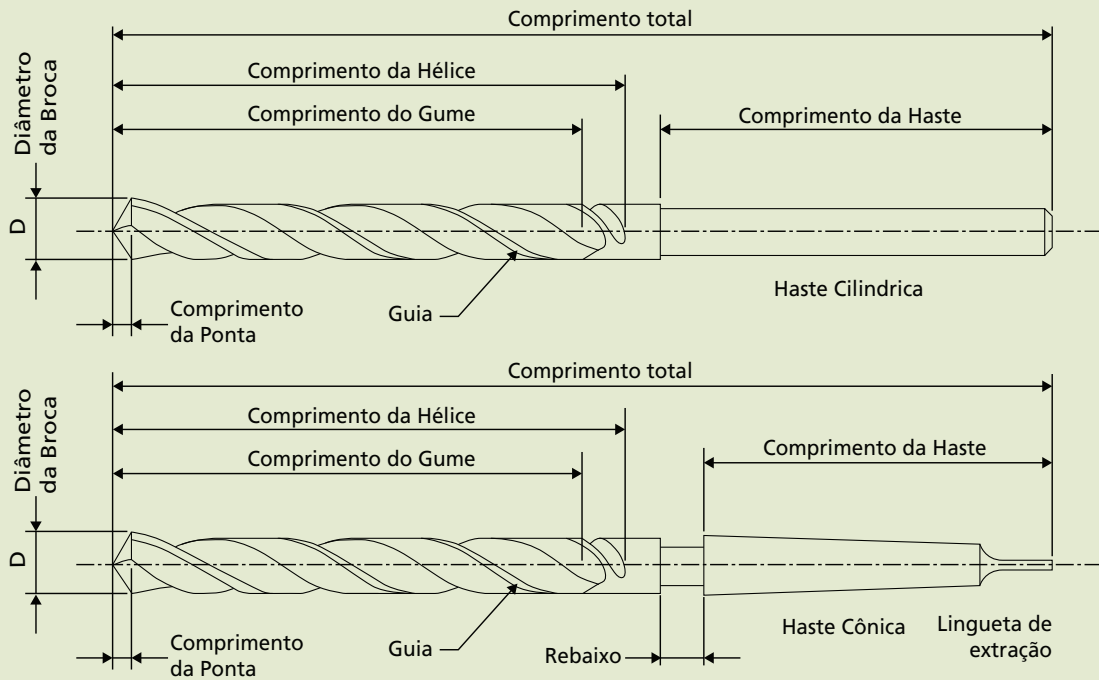


Figura 10.2

Elementos de uma broca helicoidal.

Geometria da cunha de uma broca helicoidal

- α = ângulo de incidência
- β = ângulo de cunha
- γ = ângulo de saída
- σ = ângulo de ponta
- Ψ = ângulo do gume transversal
- ε = ângulo de quina
- r_ε = raio de quina

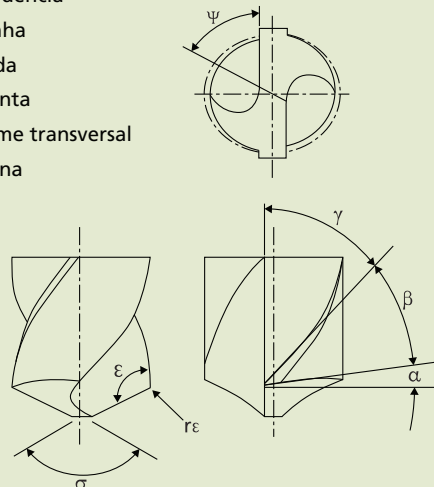


Figura 10.3

Ângulos principais em uma broca.

10.2.1 Forma construtiva das brocas helicoidais

As partes principais de uma broca helicoidal são:

- **haste** – pode ser cilíndrica ou cônica, para a fixação da broca na máquina. As brocas de diâmetros maiores possuem haste de formato cone Morse, com a fixação diretamente na máquina, ou por meio de buchas de redução e mandril porta-ferramenta cônico, que possibilitam maior força de fixação;
- **diâmetro (D)** – é o valor gerado em uma rotação da broca. Nas brocas convencionais de dois cortes, a distância entre as guias da broca é medida diretamente;
- **núcleo** – confere rigidez às brocas; é a parte interior cujo diâmetro é igual a $0,16 D$;
- **guias** – reduzem o atrito com as paredes do furo e direcionam a broca; são em geral cônicas negativas, de aproximadamente $0,01 \text{ mm}$ a cada 100 mm . Superfícies externas da broca helicoidal, uma em cada aresta de corte;
- **canais helicoidais** – são as superfícies por onde escoam os cavacos; são úteis para o acesso do fluido de corte à ponta da broca, em refrigeração externa. Na aplicação geral, o ângulo de hélice é de 28° e, para materiais com cavaco curto, de 15° . O comprimento do canal helicoidal também pode variar, dependendo do diâmetro da broca e do comprimento do furo que se deseja usinar. Na prática, a sobra de canal helicoidal é de $1,5 \cdot D$ a profundidade do furo;
- **arestas de corte** – o chamado ângulo de ponta (σ), normalmente igual a 118° , para furar com brocas de aço rápido que precisam de furo de centro para guiar a broca. Em brocas de metal duro, o ângulo de ponta é de 140° e, em geral, não precisam de centros guiados, furando a partir da face plana.

A tabela 10.1 mostra os valores do ângulo da broca em função do material a ser furado.

| Material a ser furado | Ângulo da broca aço rápido | Espiral |
|--------------------------------------|-------------------------------|---------|
| Aço de 110 a 140 kgf/mm ² | 115 a 120° | normal |
| Alumínio e metais leves tenazes | 130 a 140° | curta |
| Cobre | 125° | curta |
| Ferro fundido cinzento | 115 a 120° | normal |
| Latão tenaz | 115 a 120° | normal |
| Ligas de magnésio | 90 a 100° | longa |
| Plástico – ebonite | 50 a 60° | longa |
| Plástico – baquelite | 80 a 90° | longa |

Tabela 10.1

Ângulo da ponta da broca (σ) em função do material a furar (CUNHA, 1982)

A broca helicoidal é uma ferramenta muito fabricada e difundida para usinagem. Existem muitas formas de afiação e de perfis específicos, escolhidos de acordo com a aplicação. Os problemas a solucionar no uso das brocas, em geral, são:

- velocidade de corte (V_C): na broca, a velocidade de corte oscila de zero, no centro, a um valor máximo na periferia da broca. É recomendado selecionar os parâmetros de corte e ajustar a aplicação, para melhor distribuição de calor no gume de corte;
- dificuldades na remoção dos cavacos;
- desgaste acentuado da aresta de corte, nas quinhas com canto vivo;
- ocorrência de atrito das guias com as paredes do furo.

Existe campo para a utilização de brocas de canal reto na indústria; são usadas, especialmente, para furar alumínio, em brocas calibradoras com dupla guia e brocas canhão. Para uso e seleção da broca, levamos em conta a seleção da velocidade de corte e avanço, o material da peça, o material da broca, as características da máquina e a exigência do projeto da peça, entre outros.

A rotação a ser aplicada é definida na equação:

$$N = \frac{V_C \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

em que:

V_C = velocidade de corte (m/min)

D = diâmetro da broca (mm)

π = 3,14 (constante)

N = rotação do eixo-árvore (rpm)

A furação com broca helicoidal não gera bom acabamento nas paredes dos furos, nem boas tolerâncias dimensionais. Frequentemente é necessária a realização de uma operação de acabamento do furo, como o alargamento ou o mandrilamento, por exemplo.

10.2.2 Materiais para brocas

Os principais materiais são o aço rápido e o metal duro. As ferramentas em geral são revestidas com uma microcamada superficial para maior durabilidade.

- **Aço rápido** – é largamente empregado na fabricação de brocas pela fácil reafiação.
- **Metal duro** – é selecionado pela elevada dureza e resistência ao desgaste a quente. As velocidades de corte são até três vezes maiores do que as realizadas com ferramentas de aço rápido e requerem máquinas com características adequadas de velocidade, potência, refrigeração e rigidez. As brocas podem ser integrais a partir de barras de metal duro, ter insertos intercambiáveis (figura 10.4), ambas com ou sem revestimento, selecionadas de acordo com a aplicação.

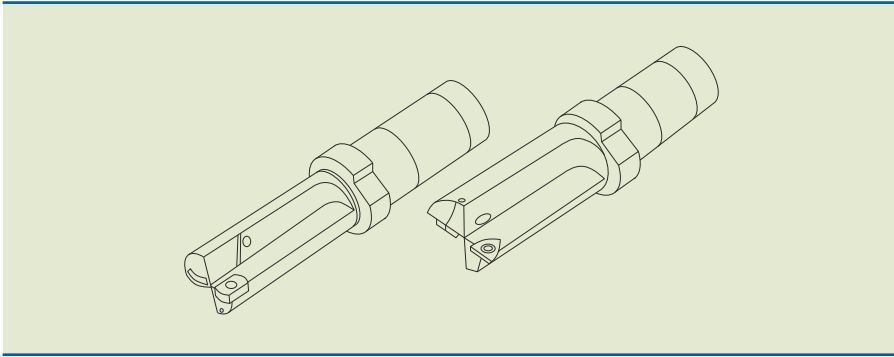


Figura 10.4
Broca com insertos.

10.3 Furação profunda

Furos com relação de comprimento do furo (L) e diâmetro da broca (D) maior do que 10 consideram-se furação profunda. Com frequência, na indústria, a relação L/D pouco menor que 8 já é considerada e tratada como furação profunda. A recomendação do uso dos tipos de brocas a partir *dessa* relação é a seguinte:

- $3 < L/D < 5$: uso de brocas helicoidais convencionais com furação contínua;
- $L/D > 5$: uso de brocas helicoidais convencionais, com furação em ciclos ou com refrigeração interna a alta pressão;
- $L/D > 8$: processos específicos, empregando brocas de canais retos, brocas canhão, brocas de gume único e Ejektor, em furação profunda.

As aplicações iniciais da furação profunda ocorreram nos equipamentos bélicos. As aplicações atuais são na indústria de autopeças, em aplicações nucleares, na indústria de motores e componentes agrícolas, para furar materiais endurecidos com cerca de 50 HRC.

A utilização requer maior controle, por causa da assimetria na posição dos gumes, a garantia de máquinas com fluido de corte, alimentação interna, com pressões elevadas, da ordem de 50 bar ou maiores, para o transporte e retirada de cavacos.

10.3.1 Requisitos, fatores limitantes e ferramentas utilizadas nos processos de furação profunda

São requisitos para furação profunda:

- máquinas-ferramenta – maior rigidez e estabilidade dinâmica;
- fluido – necessita de alta pressão para extração de cavaco e refrigeração do gume;
- brocas – são necessárias brocas específicas para grandes relações L/D .

Para executar furação profunda, é necessária a correta adequação de exigências. São limitantes no processo: a usinabilidade do material da peça, a estabilidade da ferramenta e da máquina, a precisão da máquina-ferramenta, a composição do fluido de corte e o material da ferramenta.

Principais ferramentas utilizadas na furação profunda

Utiliza-se principalmente a broca de canal reto, a broca canhão ou de gume único e a broca Ejektor. A broca helicoidal com canais de refrigeração interna com altíssima pressão também pode ser empregada.

Figura 10.5
Brocas para furação profunda.

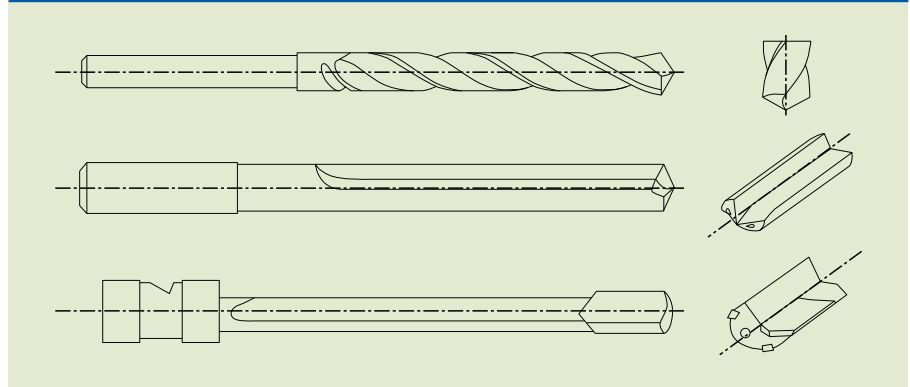
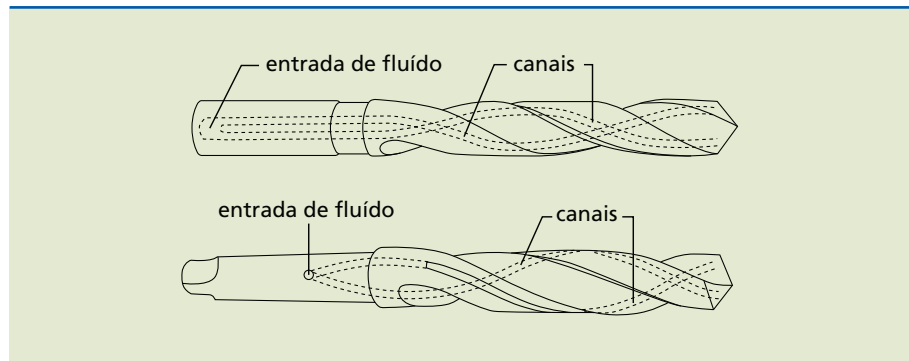
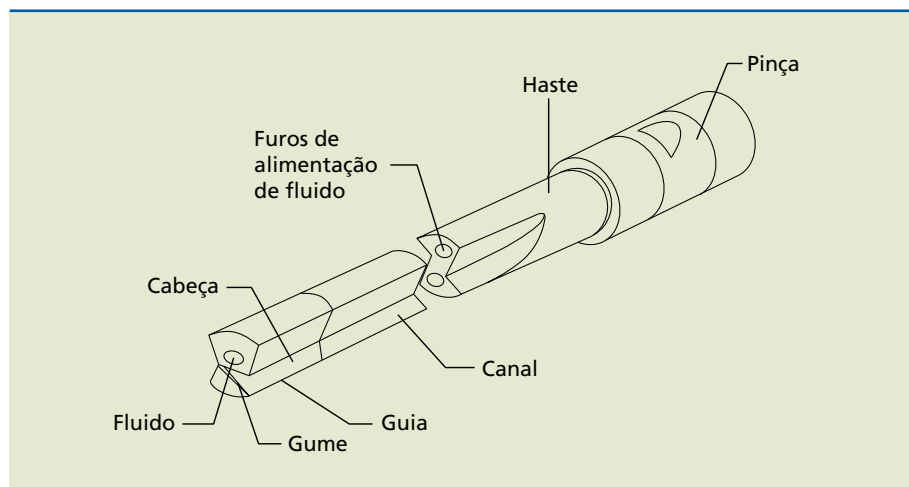


Figura 10.6
Broca para furação profunda com canais internos.



- **Broca de canais retos** (figura 10.7) – possibilita alta resistência à torção em furos com relação $L/D > 7$; é aplicada em ligas de Al-Si e ferros fundidos GG e GGG.

Figura 10.7
Broca com canais retos.



- **Broca canhão** – é uma broca com alimentação de fluido a alta pressão desde a haste até a ponta de corte por orifícios internos. A remoção dos cavacos é feita pela ranhura V, e necessita de máquinas especiais com bucha-guia, podendo a peça e a broca girarem ao mesmo tempo em rotações diferentes. São utilizadas para furação em cheio de materiais diversos. A figura 10.8 mostra a broca canhão.

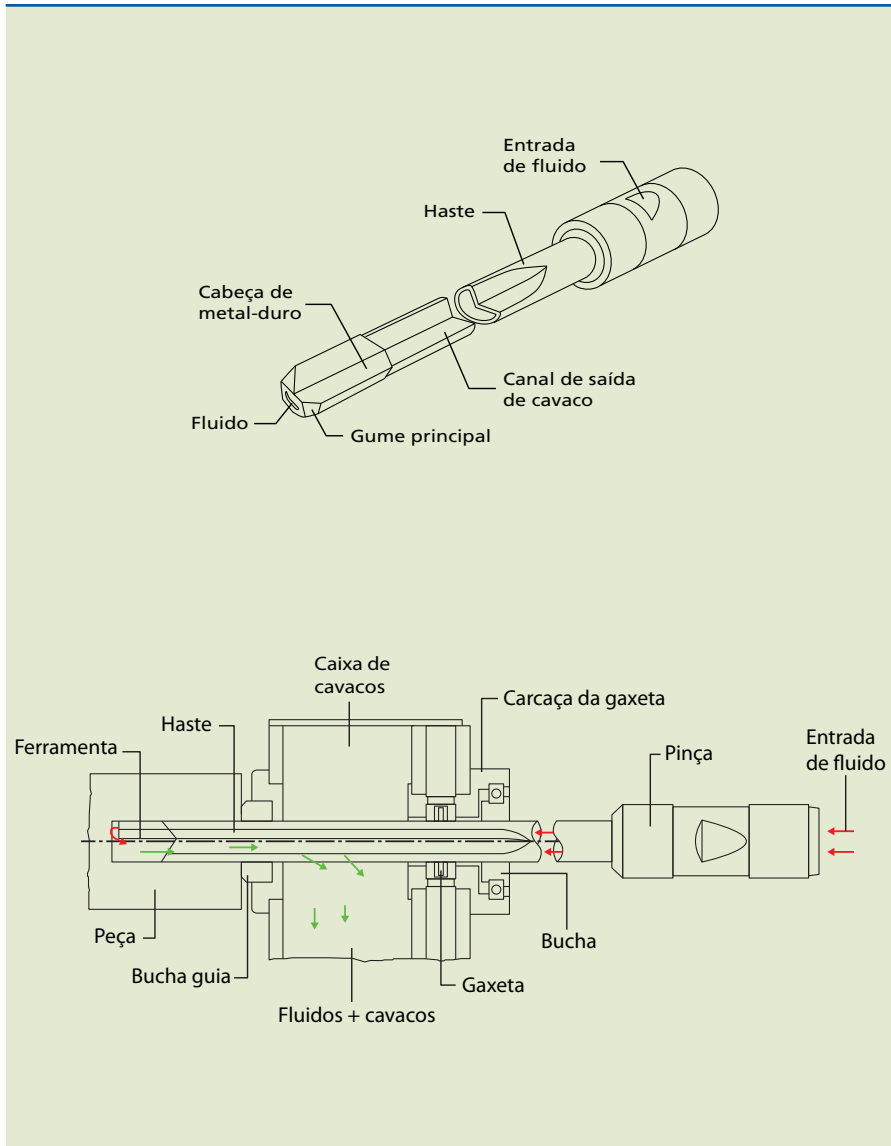
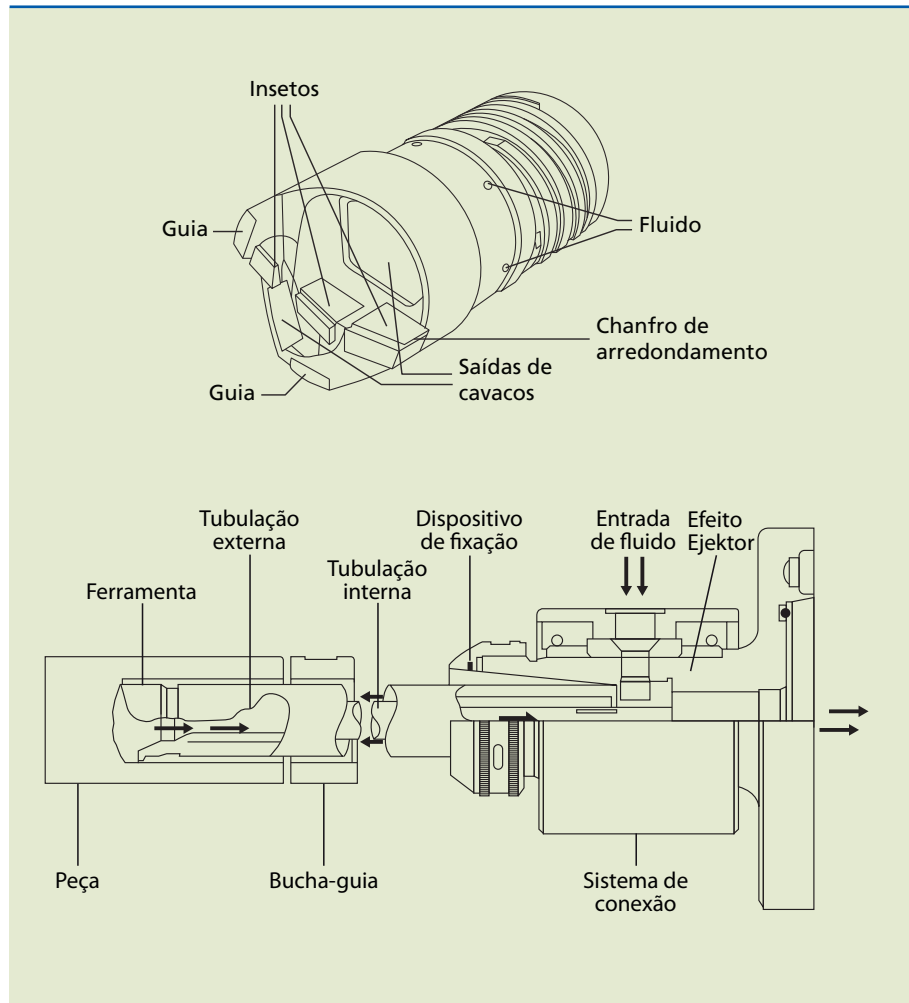


Figura 10.8
Broca canhão.

Quando usada fora de máquinas especiais, a broca canhão requer um pré-furo com dimensões controladas, em função do diâmetro da broca canhão a ser utilizada.

- **Broca Ejektor** (figura 10.9) – usada na furação profunda em máquinas-ferramenta simples, com alimentação de fluido por haste tubular duplo-concêntrica, expulsão de fluido e sucção de cavaco. O gume dividido diminui o atrito, os esforços laterais, o calor e o desgaste.

Figura 10.9
Broca Ejetor.

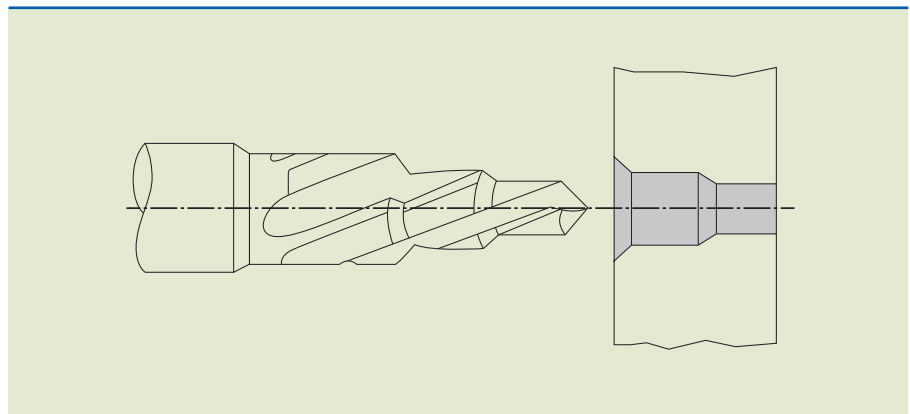


10.4 Variações no processo de furação

10.4.1 Furos combinados e rebaixamento

É comum a usinagem combinada de diâmetros e chanfros em produção seriada, pois ganha-se tempo ao evitar as trocas constantes de ferramenta.

Figura 10.10
Usinagem combinada de diâmetros e chanfros.



10.4.2 Alargamento

É o processo de usinagem destinado a produzir furos com alta precisão geométrica e dimensional, com excelente qualidade da superfície. Podem ser usadas ferramentas de múltiplos gumes e de gume único. Os alargadores são utilizados diretamente, depois de feito o furo com brocas de metal helicoidal ou de canal reto. De acordo com a aplicação, as brocas são dimensionadas para deixar o mínimo sobremetal necessário ao uso dos alargadores.

Os alargadores classificam-se quanto:

- à regulagem, em fixos e ajustáveis ou expansíveis, nos quais o diâmetro pode variar mediante regulagem;
- à geometria do furo, em cônicos e paralelos;
- ao número de dentes, como de cortes múltiplos ou gume único (figura 10.11).

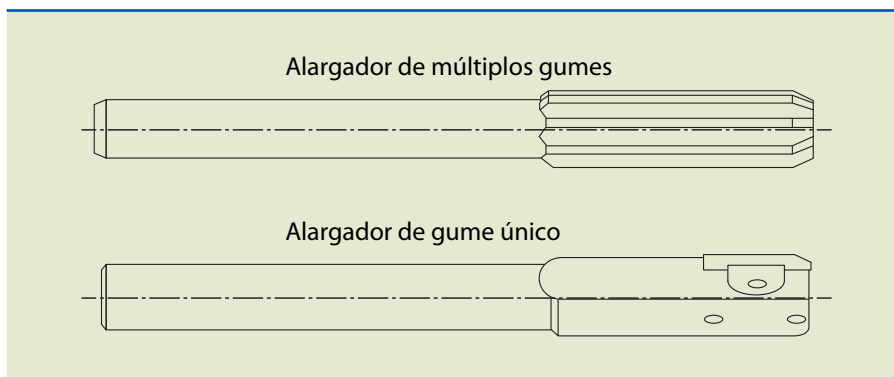


Figura 10.11
Alargadores.

Os alargadores são selecionados, de acordo com a aplicação, para acionamento manual ou mecânico; pelas características do furo, como profundidade, furo passante ou cego, superfície interrompida no furo, estado do pré-furo; espessura da parede da peça; dimensões e grau de acabamento ou precisão; assim como pela resistência e usinabilidade do material.

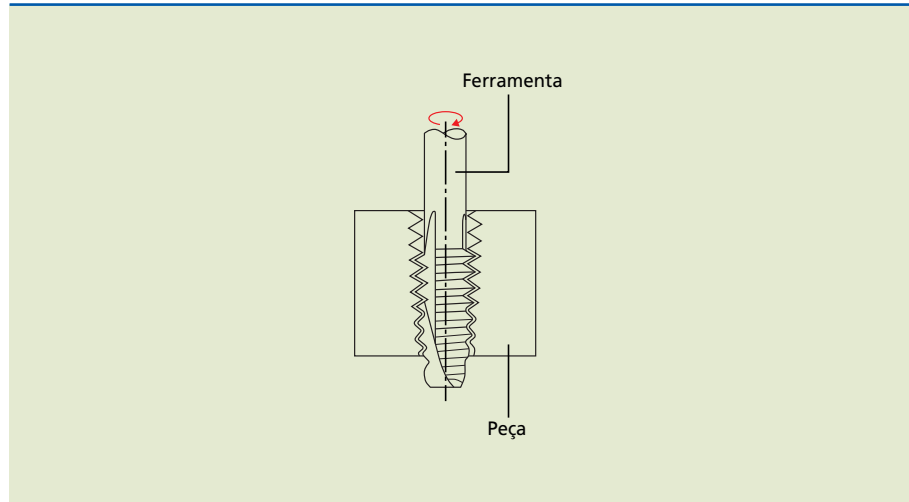
O tipo de alargador define a quantidade de sobremetal a ser deixado pela furação. Alargadores de gume único regulável melhoram a qualidade dos furos, possibilitam redução substancial nos tempos de fabricação, por usarem maior velocidade de corte, e, mesmo assim, a vida das ferramentas é longa. O processo geralmente é executado em centros de usinagem. O corte é realizado por um inserto intercambiável, em que o gume é concebido para a usinagem. As réguas-guias conduzem rigidamente a ferramenta e absorvem as componentes da força de usinagem.

10.4.3 Roscamento com machos

Os machos (figura 10.12) são ferramentas que podem ser utilizadas na máquina ou manualmente. Os machos manuais são fornecidos em jogos, e os machos para serem utilizados em máquina são únicos, podendo ser de corte ou de conformação/esmagamento para roscas laminadas.

Figura 10.12

Macho usinando uma peça.



Os machos podem ser helicoidais ou de canais retos, fabricados em aço rápido ou metal duro. Podem ser usados em furos cegos (helicoidais, pois forçam o cavaco ser removido do furo) ou furos passantes (canais retos), com sincronismo da rotação da máquina com o avanço. As velocidades excessivas causam maior desgaste, acabamento ruim, rebarbas, má qualidade da rosca, entre outros danos.

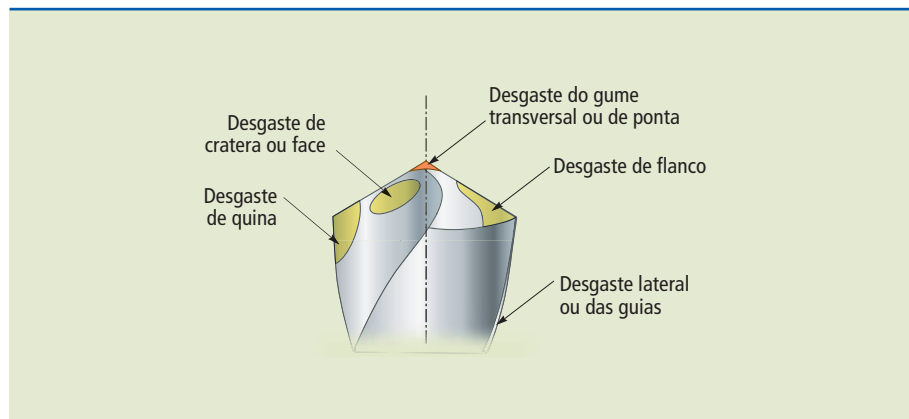
A dimensão nominal do furo roscado no desenho de produto define o diâmetro do pré-furo a ser feito com a broca. A seleção do macho é realizada em função do tipo de rosca a ser executada, em geral apresentado em tabelas de fornecedores de machos e de brocas.

10.5 Critério de fim de vida na furação

Basicamente é a perda da exatidão dimensional e geométrica, do controle sobre os cavacos, da mudança da textura superficial ou da iminência de uma quebra rápida. Na prática, na definição de seleção da broca são usados os critérios de tempo de máquina, tempo efetivo de corte, volume de metal a ser removido, número de peças usinadas e comprimento usinado equivalente em metros (profundidade de furação multiplicada pelo número de furos realizados). A figura 10.13 ilustra as regiões onde a broca sofre desgaste durante o tempo de serviço.

Figura 10.13

Regiões de desgaste em uma broca.



Na figura:

- desgaste de flanco (V_b) – provoca baixa qualidade, imprecisões e aumento do atrito;
- desgaste nas guias – prejudica o torque e a potência durante o corte;
- desgaste de cratera – prejudica a remoção de material por abrasão e difusão;
- gume postiço – provoca a adesão do material da peça encruado na ferramenta;
- desgaste do gume transversal – leva ao arredondamento e possível lascamento das zonas de transição.

10.6 Erros comuns na geometria do furo

A seguir são descritos brevemente os erros mais comuns encontrados na geometria do furo, representados na figura 10.14:

- erros de forma – diâmetro não uniforme;
- erros de posicionamento – deslocamento do centro do furo;
- erros de circularidade – seção circular distorcida;
- erros de dimensão – diâmetro resultante diferente da broca.

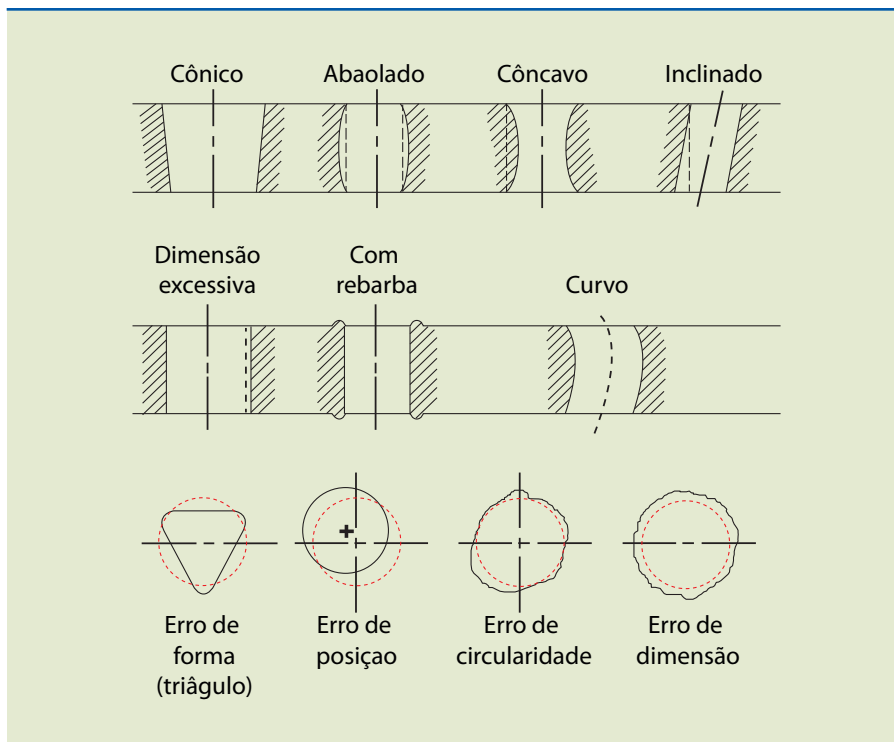


Figura 10.14

Erros encontrados na geometria do furo.

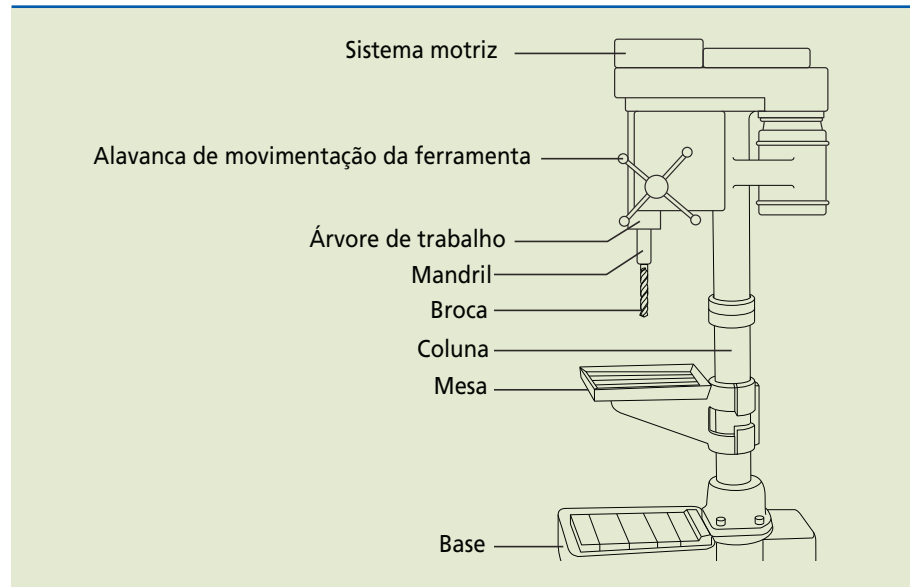
10.7 Escolha da furadeira

A escolha da furadeira leva em consideração, primeiramente, a forma, as dimensões e tolerâncias requeridas para a peça. Posteriormente, são analisadas as variáveis: quantidade de furos a serem abertos, quantidade de peças a serem produzidas e diversidade no diâmetro dos furos para uma mesma peça.

10.7.1 Partes de uma furadeira

As furadeiras consistem basicamente de um eixo-árvore, que gira com velocidades selecionadas, em que a broca é fixada. O movimento de avanço pode ser da ferramenta ou da mesa onde a peça está presa. As partes da furadeira variam de acordo com sua estrutura. Na furadeira de coluna são destacadas as partes mostradas na figura 10.15:

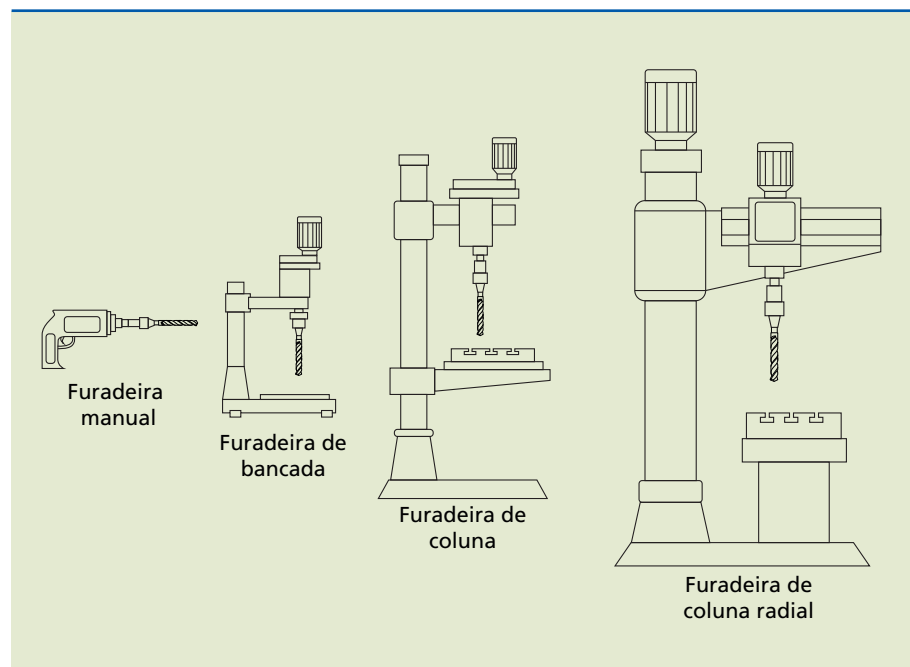
Figura 10.15
Partes fundamentais de uma furadeira de coluna.



10.7.2 Tipos de furadeiras

Nas figuras 10.16 e 10.17 são mostrados diferentes tipos de furadeiras.

Figura 10.16
Tipos de furadeiras.



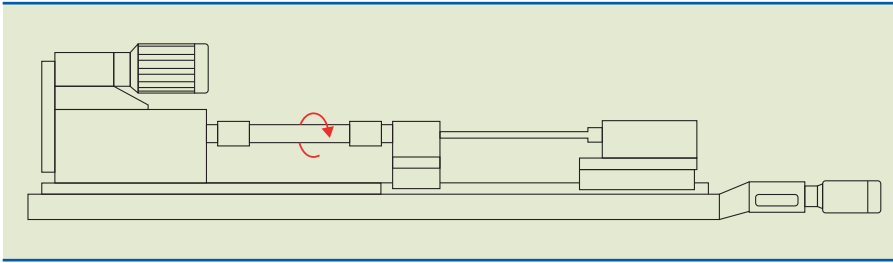


Figura 10.17
Furadeira para
furação profunda.

10.8 Dispositivos e acessórios

Os dispositivos e acessórios usados nas furadeiras são similares e, muitas vezes, os mesmos das fresadoras. São utilizados: cantoneiras, morsas, grampos, blocos e gabaritos. No caso de furadeiras, destacamos o uso comum de gabaritos de furação, que têm a finalidade de guiar a broca e garantir a precisão/repetibilidade das coordenadas dos furos. Os gabaritos possuem buchas-guia de aço endurecido e podem ser substituídos quando desgastados.

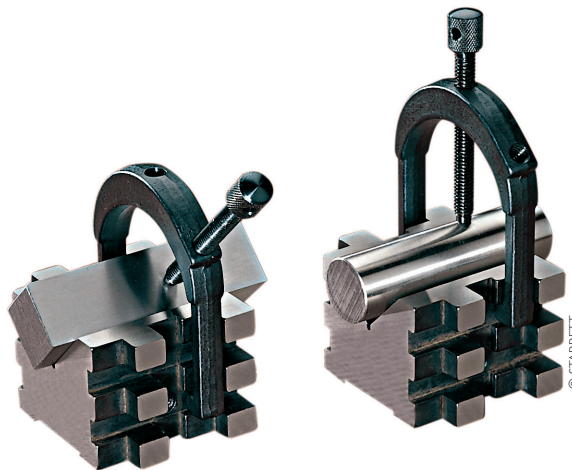


Figura 10.18
Exemplo de grampos.

Os cabeçotes múltiplos são empregados na produção seriada, com a regulagem linear da posição das brocas, em operações sem grandes exigências de posicionamento do centro da broca. Por exemplo, em furação do disco de freio.

10.9 Segurança no processo de furação

Destacamos aqui algumas recomendações que devem ser seguidas no processo de furação:

- Usar óculos de proteção.
- Fixar corretamente a ferramenta, a morsa e a peça e não manusear a morsa com a máquina em movimento.
- Antes de ligar a máquina e começar a trabalhar, certificar-se de que a peça e a ferramenta estejam bem presas.

- Não segurar a peça manualmente enquanto perfura.
- Não usar o ar comprimido ou as mãos para fazer a limpeza da máquina; utilizar uma escova ou um instrumento apropriado.
- Girar a broca no sentido de corte correto e assegurar-se de que esteja bem afiada.
- Não usar roupas folgadas, cabelos compridos ou joias, pois podem se enrolar e se prender nas peças rotativas.
- Operar as furadeiras com velocidades dentro das especificações do fabricante para os materiais que estiverem sendo furados.
- Manter a mesa livre de ferramentas e de outros itens que não estejam em uso.