

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

FERRAMENTAS DE CORTE EM USINAGEM

TORNEAMENTO, FRESAMENTO E FURAÇÃO

Prof. Dr. REGINALDO T. COELHO

Abril 2020

ÍNDICE

1 – TORNEAMENTO	3
1.1 – FERRAMENTAS DE TORNEAMENTO	4
2 – FRESAMENTO	13
2.1 – FERRAMENTAS DE FRESAMENTO	14
3.- FURAÇÃO	18
3.1 – FERRAMENTAS DE FURAÇÃO	18

As ferramentas apresentadas neste texto são as mais básicas utilizadas para tornos, fresadoras e furadeiras, e são utilizadas para a fabricação mecânica, especificamente para a remoção de material por meio da usinagem. Fundamentalmente o torno é usado para produzir superfícies de revolução sobre um eixo da peça. A fresadora, por sua vez, produz superfícies planas e pode ser usada também para furação, embora a máquina mais adequada seja a furadeira.

1 –TORNEAMENTO

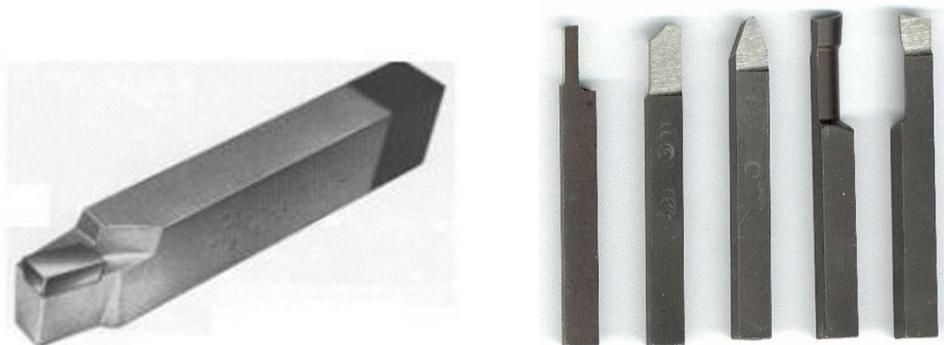
O torno é uma máquina-ferramenta muito versátil utilizada, comumente, na fabricação de eixos, polias, pinos, qualquer tipo possível e imaginável de roscas, peças cilíndricas internas e externas, além de cones, esferas e diversas outras peças mecânicas para indústrias das mais variadas naturezas. A Figura 1.1 mostra alguns exemplos de peças fabricadas exclusivamente por torneamento.



Figura 1.1 – Exemplo de peças fabricadas por torneamento.

1.1 – Ferramentas de Torneamento

As operações de torneamento são executadas por ferramentas, em geral, compostas de um suporte de aço no qual é fixado um inserto intercambiável de metal duro, responsável pela remoção de material por usinagem. Há ainda em uso insertos para torneamento na forma de bastões quadrados, ou redondos de Aço Rápido (HSS 10%Co), conhecidas também por bits e ferramentas com suporte em aço com insertos soldados, mas tornam-se cada vez mais raros em indústrias. A Figura 1.2 ilustra algumas dessas ferramentas.



(a) Ferramenta de Carbetto Soldadp

(b) Ferramentas de aço rápido (10% Co)

Figura 1.2 – Ilustração de alguns exemplos de ferramentas de torneamento em barras de aço rápido e insertos de carbetos soldados em suportes de aço.

Para ferramentas mais modernas, tanto o suporte como o inserto possuem determinadas características geométricas que são mais adequadas a cada operação de torneamento. Para cada operação de torneamento, deve-se selecionar o suporte adequado, assim como a geometria do inserto, para que se obtenham os melhores resultados possíveis, em termos de qualidade e produtividade. Suportes para ferramentas de torneamento possuem, basicamente, três sistemas de fixar o inserto: grampo superior, interno e inserto soldado. A Figura 1.3 mostra exemplos de diversas geometrias de insertos e alguns tipos de fixação dos insertos.

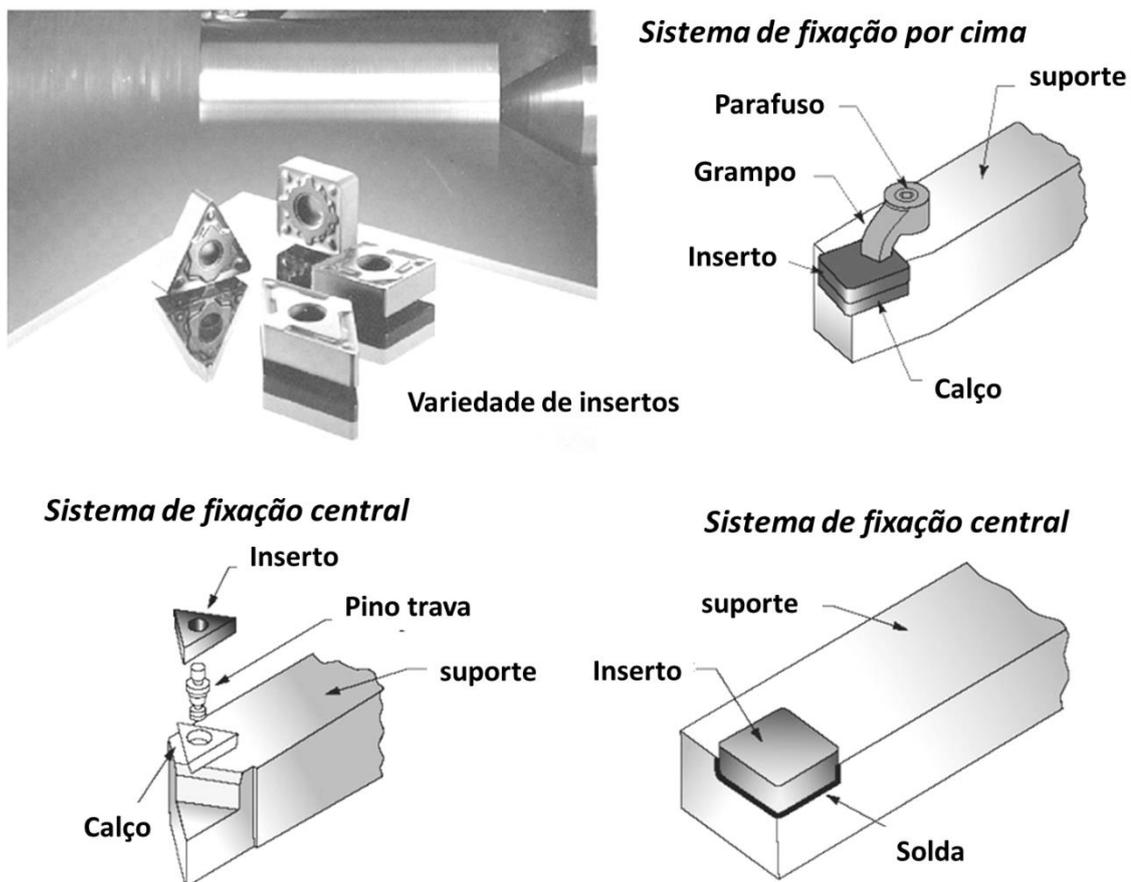


Figura 1.3 – Exemplos de insertos de diversas geometrias e alguns tipos de fixação no suporte para torneamento.

Assim, por exemplo, para uma operação de torneamento interno em um furo cego deve-se usar o suporte na forma de barra como um inserto que permita o torneamento da face ao fundo do furo, conforme mostrado na Figura 1.4.



Figura 1.4 – Exemplo de uma ferramenta especial para torneamento interno.

Diversas são as ferramentas de torneamento feitas de aço cobalto (10% Co) comumente chamadas de “bits”, as quais podem ser afiadas manualmente para trabalhos simples em torno, conforme mostrado na Figura 1.5.

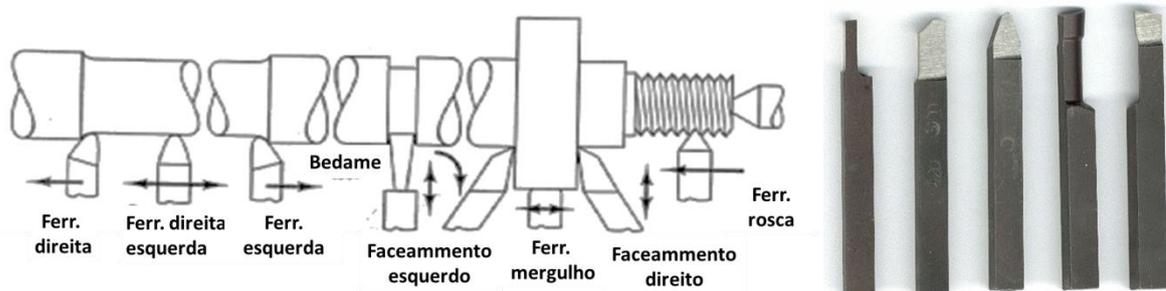


Figura 1.5 – Operação de torneamento interno em furo cego.

Na Figura 1.6 têm-se diversos exemplos de suportes para insertos de torneamento e suas aplicações típicas. Tais suportes comportam uma determinada gama de insertos compatíveis com as aplicações.

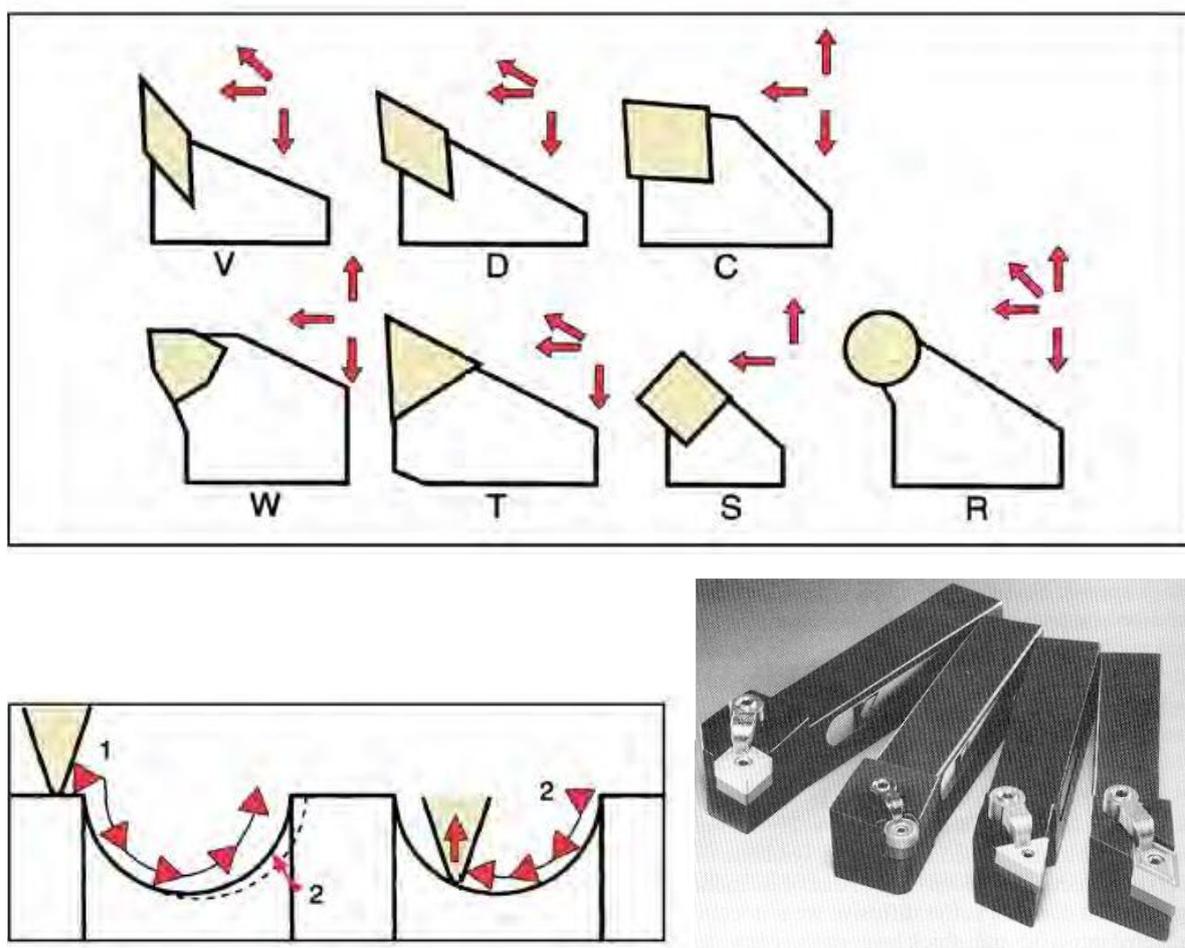


Figura 1.6 – Exemplos de geometrias de suportes e de insertos indexáveis para torneamento.

Além da acessibilidade, a geometria externa de um inserto está também ligada à sua resistência mecânica. Insertos circulares são os mais resistentes passando em seguida para os quadrados, retangulares até aqueles em forma de losangos com ângulos de ponta de 35° , como sendo os de menor resistência. A Figura 1.7 Mostra, esquematicamente a relação entre as formas mais usuais de insertos e sua resistência mecânica e acessibilidade.

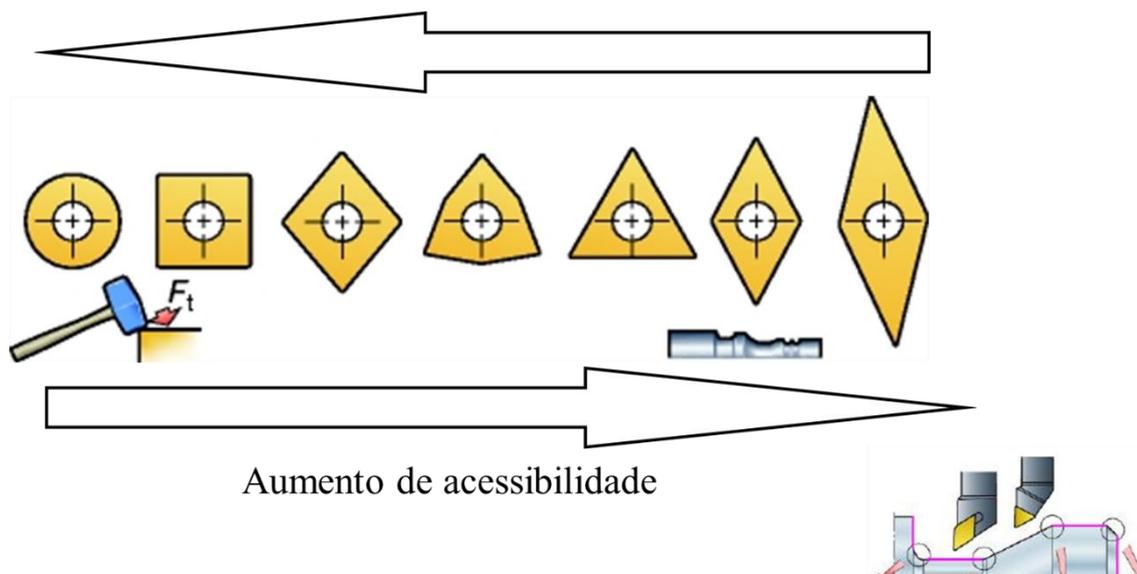


Figura 1.7 – Esquema para relacionar a resistência mecânica de a acessibilidade de insertos em torneamento

Salienta-se que a seleção da geometria do inserto é também fundamental para o sucesso da fabricação por torneamento, conforme mostra a Figura 1.8.

Factors affecting choice of insert shape	R	90	80	80	60	55	35
							
Roughing (strength)	●	●	●	○	○		
Light roughing/Semi-finishing (No. of edges)		○	●	●	●	●	
Finishing (No. of edges)			○	○	●	●	●
Turning and Facing (feed directions)			●	○	○	●	●
Profiling (Accessibility)			○	○	○	●	●
Operational versatility	○		●	○	○	●	○
Limited machine power			○	○	●	●	●
Vibration tendencies (reduction)				○	●	●	●
Hard material	●	●					
Intermittent Machining	●	●	○	○	○		
Large entering angle			●	●	●	●	●
Small entering angle	●	●		●	●		

Most suitable
 Suitable

Figura 1.8 – Exemplos de geometria de inserto e suas aplicações típicas.

Em seguida à seleção da ferramenta para o torneamento, deve-se determinar melhor sequência de operações, visando a qualidade e a produtividade. Operações de desbaste, por exemplo, devem ser usadas antes do acabamento, quando as condições dimensionais e de acabamento superficial exigirem. Caso o acabamento superficial seja muito exigido, em termos de rugosidade, uma operação de acabamento deve ser seguida, terminando com uma de polimento para alcançar os valores de rugosidade especificados.

Uma ferramenta de torneamento contém ainda um raio de ponta, o qual é responsável pela resistência mecânica necessária para a formação e remoção dos cavacos. A Figura 1.9 mostra esse detalhe.

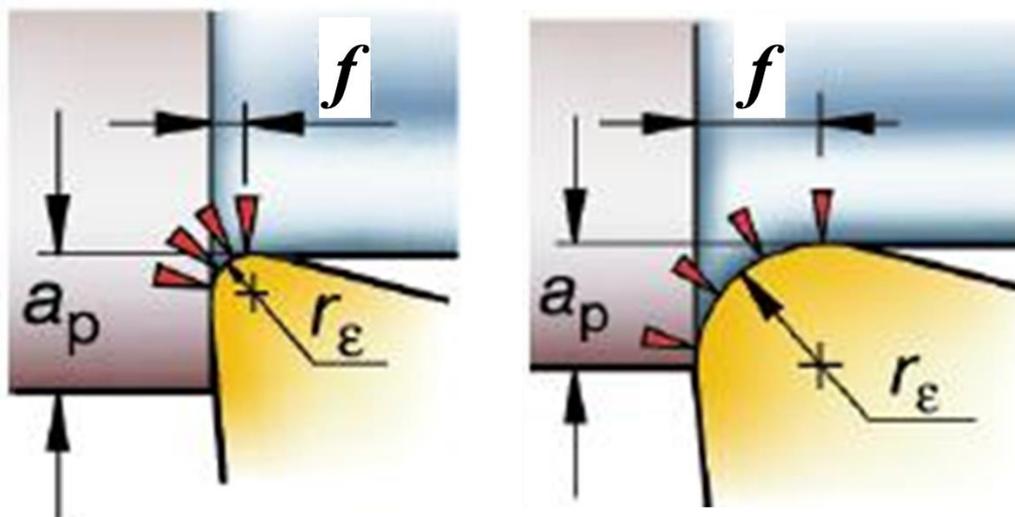


Figura 1.9 – Exemplos de raios de ponta de ferramentas de torneamento

Maiores raios de ponta oferecem maior resistência mecânica, porém requerem maior potência das máquinas para a formação de cavacos. O raio de ponta de uma ferramenta de torneamento tem uma influência direta no acabamento superficial (rugosidade) deixado pela operação. O máximo avanço permitido para a operação de torneamento será dado por uma combinação entre o raio de ponta e a profundidade de usinagem a_p , conforme mostrado pela Figura 1.10.

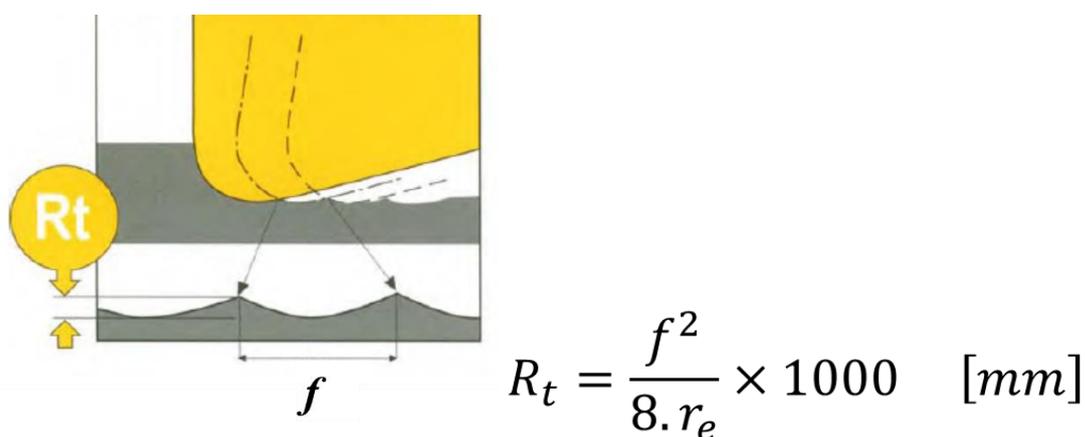


Figura 1.10 – Relação do avanço com o raio de ponta da ferramenta.

O valor da rugosidade máxima, R_t , pode ser estimado com base na equação:

$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_e} \times 1000 \quad [mm] \quad (1)$$

Insertos comerciais são fornecidos com raios de ponta normalizados e em valores pré-determinados, conforme a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Raios de ponta normalizados

Insertos negativos

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

Insertos positivos

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

A tabela 1.1 também mostra recomendações para os valores de avanço, f (mm/rev), para as operações típicas de acabamento e desbaste. A geometria da cunha cortante é outro fator a ser considerado na seleção de um inserto para torneamento. Um inserto possui 3 ângulos importantes quanto a esse aspecto: ângulo de saída, de cunha e de folga, ilustrados na Figura 1.11

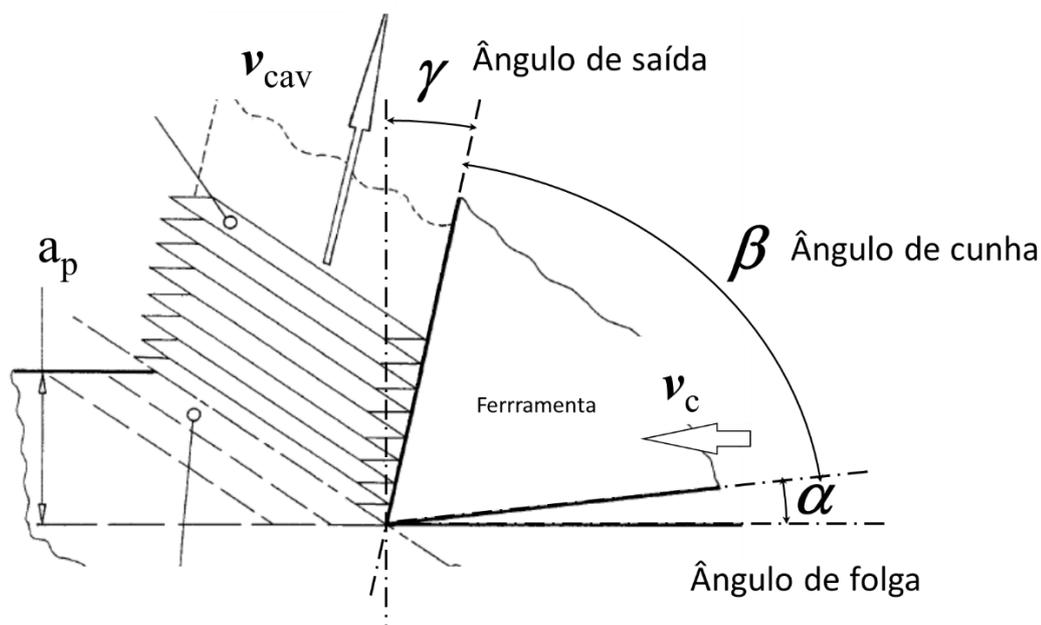


Figura 1.11 – Ângulos de importância para a geometria da cunha cortante de um inserto.

Quanto à cunha de corte, insertos podem ser positivos ou neutros. O inserto positivo tem um ângulo de cunha menor que 90° enquanto o neutro tem esse ângulo igual ou maior que 90° . Desta forma, insertos positivos somente podem ser usados em uma face, enquanto os neutros, podem ser utilizados em ambas as faces. Insertos positivos são, geralmente, empregados em operações de acabamento com pequenas remoções, raios de ponta menores e valores menores de a_p , conforme mostrado na Tabela 1.1.

Ao ser montado no suporte os insertos podem ter seu ângulo de saída alterado, conforme o tipo de suporte selecionado. A Figura 1.12 ilustra esse fato.

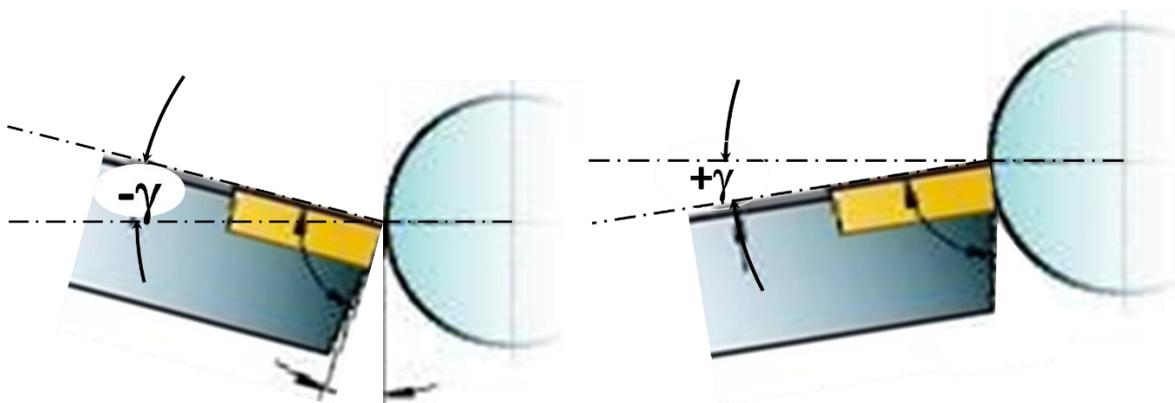


Figura 1.12 – Ângulos de saída positivo e negativo, conforme o suporte selecionado para o inserto.

Insertos neutros podem ser combinados com suportes negativos ou neutros, enquanto insertos positivos podem trabalhar com suportes positivos, neutros ou negativos, embora essa última combinação não seja usual.

Além dos ângulos da aresta de corte de um inserto há detalhes menores sobre a geometria superfície de saída que nem sempre é plana, podendo conter quebra-cavacos como os mostrados na Figura 1.13.



Figura 1.13 – Detalhes da superfície de saída de insertos, contendo quebra-cavacos.

Estes quebra-cavacos têm como função principal quebrar os cavacos sendo formado, antes que se choque com a superfície usinada, prejudicando o acabamento superficial, como ilustrado na Figura 1.14.

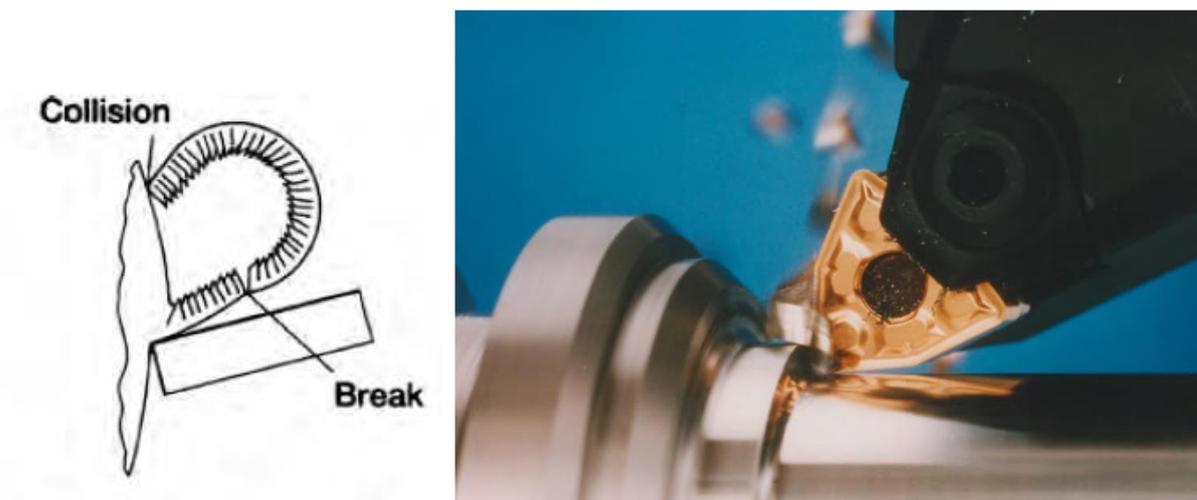


Figura 1.14 – Exemplo de cavaco quebrando contra a superfície da peça e fora dela.

Além do quebra-cavacos, a geometria da aresta de corte podem conter ângulos, raios e chanfros que ajudam na formação e remoção dos cavacos, conforme ilustrado na Figura 1.15.

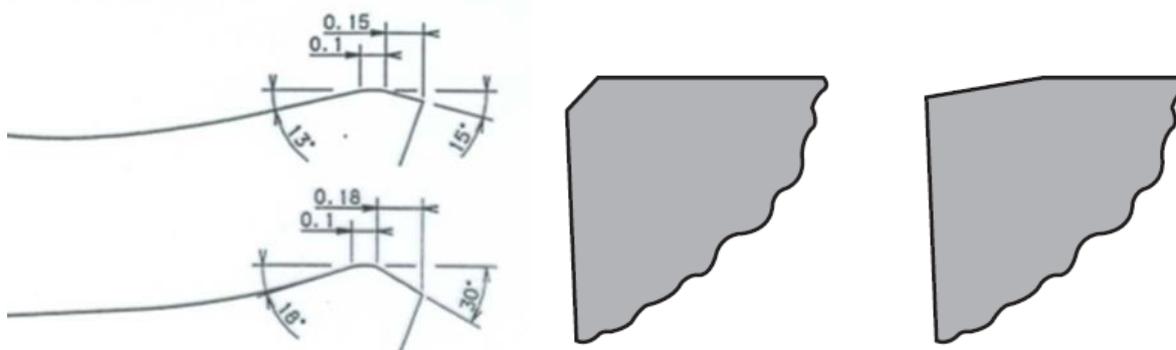


Figura 1.15 – Exemplos de geometria de aresta de corte contendo ângulos, raios e chanfros.

Por último, as arestas de corte podem ainda passar por um processo de alisamento das arestas chamado de “*honing*”, o qual produz arestas com mínima rugosidade, reduzindo a possibilidade de lascamentos e prolongando a vida útil dessas ferramentas. A Figura 1.16 mostra um exemplo de uma aresta que passou pelo processo de *honing*.

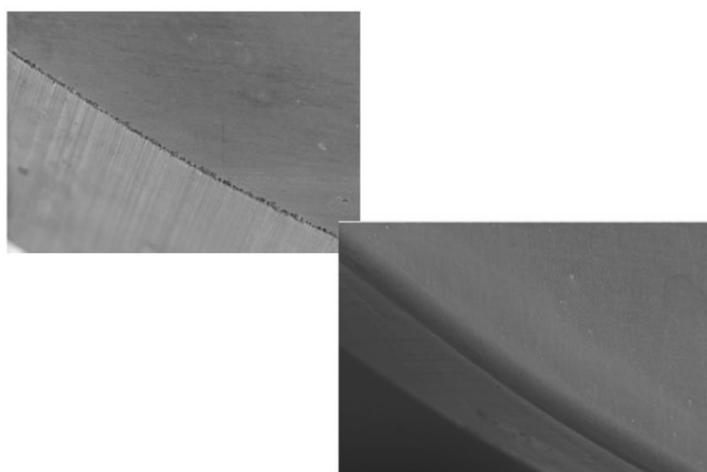


Figura 1.16 – Exemplo de uma aresta polida pelo processo de *honing*

2 – FRESAMENTO

O processo de fresamento é aplicado principalmente para a usinagem de peças prismáticas, superfícies planas ou esculpidas, mais recentemente, por meio do uso de máquinas comandadas

por computador (máquinas CNC). A Figura 2.1 mostra exemplos de peças tipicamente obtidas por fresamento.



Figura 2.1 – Exemplos de peças tipicamente obtidas por fresamento.

2.1 – Ferramentas de fresamento

As ferramentas para o fresamento podem ser fabricadas de forma maciça, em geral de aço rápido, o que limita sua aplicação ao corte de materiais não endurecidos e de baixa dureza. Devido aos altos custos, o diâmetro dessas ferramentas não passa de aproximadamente 200-250 mm. Outra opção são os cortadores fabricados com aço que contêm insertos intercambiáveis de metal duro. Neste caso, o limite para o diâmetro máximo depende da capacidade da fresadora em comportar tais ferramentas. Por outro lado, há limitações quanto ao diâmetro mínimo possível de se conseguir fixar insertos, que atualmente está em torno de 10 mm. Para diâmetros menores, usam-se ferramentas maciças de aço rápido ou de metal duro, como é o caso das fresas de topo. A Figura 2.8 mostra exemplos dessas ferramentas.



(a) Fresas aço rápido

(b) Fresas Metal duro

(c) Fresas metal duro maciço

Figura 2.8 – Exemplos de ferramentas para fresamento.

As ferramentas de fresamento de pequeno diâmetro, em geral abaixo de 25 mm, são presas a suportes, os quais se fixam ao eixo-árvore. A fixação das ferramentas pode ser feita por diversos meios, entre eles a pinça é o mais comum. Há vários modelos de pinças, segundo diversas normas, dependendo de cada país. A Figura 2.9 mostra um exemplo de fixação por meio de pinça.



Figura 2.9 – Exemplo de fixação da fresa por meio de pinça.

Além do sistema de fixação das ferramentas por pinça, há outros sistemas mais sofisticados usados, em geral, para usinagem de altas velocidades, que garantem menores desvios de batimento, são eles a fixação hidráulica e por contração térmica, mostrados na Figura 2.10.

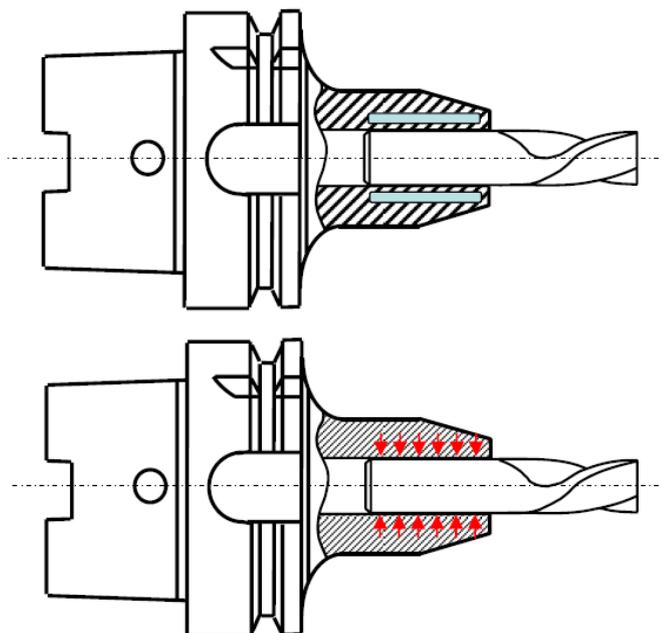


Figura 2.10 – Exemplos de fixação de ferramentas para fresamento usando força hidráulica (acima) e contração térmica (abaixo).

Quando as ferramentas devem ser de diâmetros maiores, acima de 25 mm, em geral, usa-se fixar o cortador a um suporte, contendo o cone de fixação no eixo-árvore, conforme exemplos mostrados na Figura 2.11.

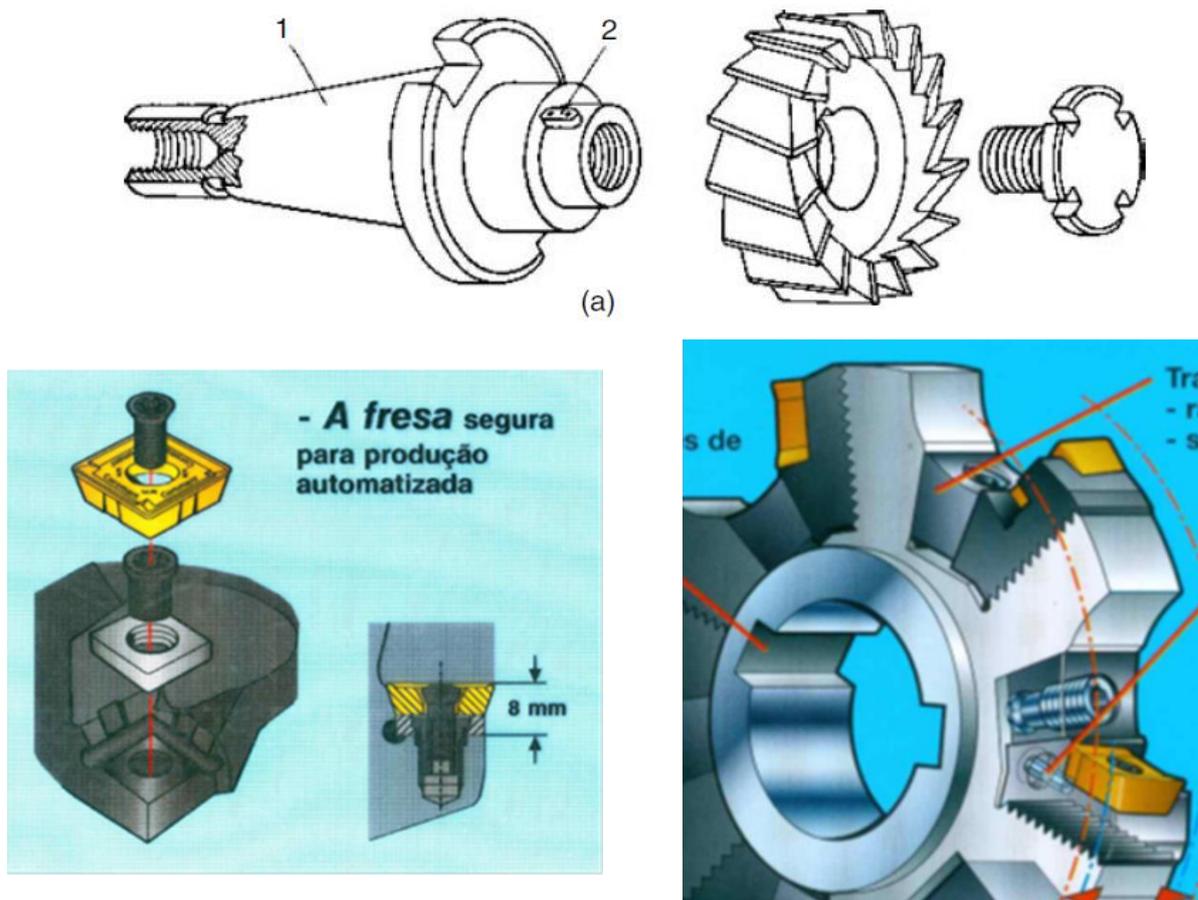


Figura 2.11 – Exemplo de fixação das ferramentas em um suporte, o qual se fixa ao eixo-árvore.

Os suportes contêm cones para centralização e minimização de desvios de batimento. Há vários tipos de cones como os tipos BT, CAT, ISSO e HSK, conforme ilustrados na Figura 2.12.



Figura 2.12 – Exemplos de cones BT e HSK para fixação no eixo-árvore.

3.- FURAÇÃO

A Furação é dos mais conhecidos e antigos dentre os processos de fabricação. Consiste em usar uma ferramenta rotativa, por exemplo, uma broca, para produzir furos, sendo, em geral, um processo amplamente utilizado atualmente. A Figura 3.1 mostra alguns exemplos de peças que passaram por operações de furação.



Figura 3.1 Exemplo de peças que passaram por operações de furação.

3.1 – Ferramentas de furação

As brocas podem ser de vários modelos, sendo a mais a helicoidal de haste paralela, usada para aplicações gerais, com diâmetros abaixo de 25 mm. Brocas helicoidais com diâmetros maiores possuem a haste cônica, com cone do tipo Morse, para facilitar a fixação no eixo-árvore das furadeiras. A Figura 3.5 mostra exemplos desses tipos de brocas com as principais denominações das suas partes.

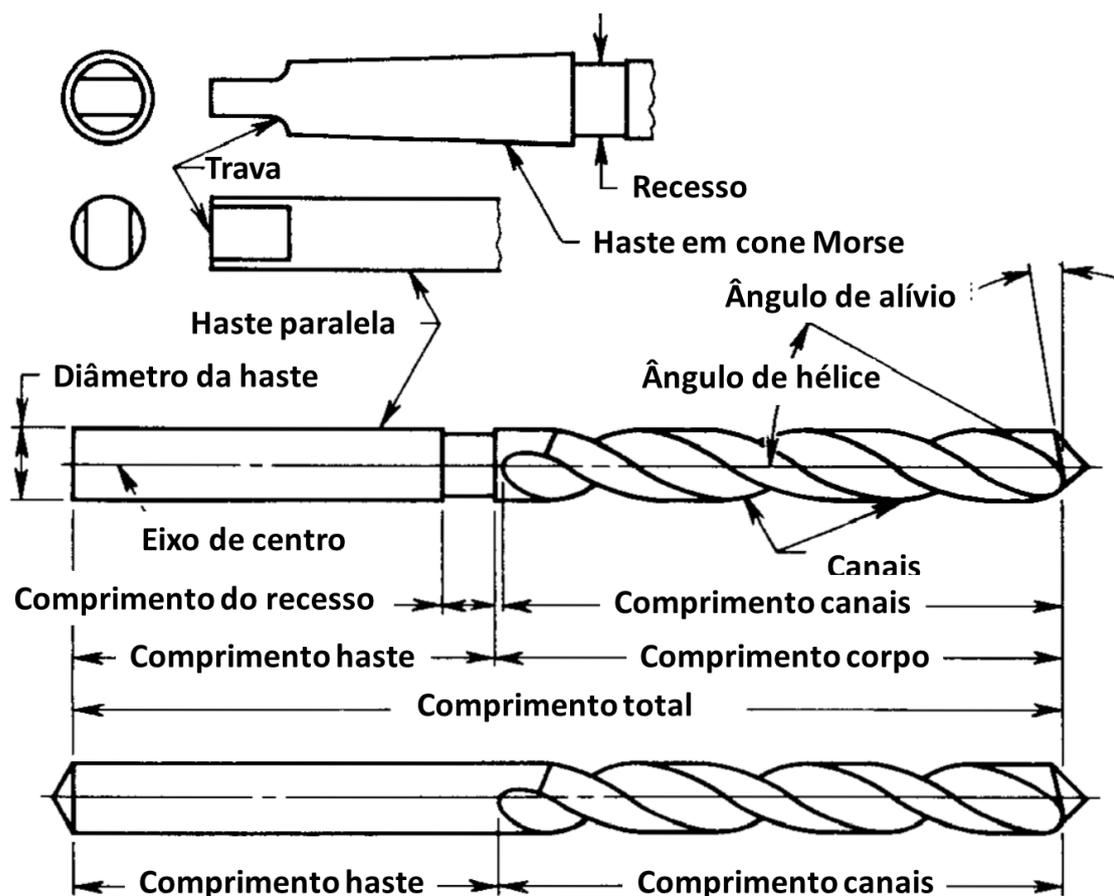


Figura 3.5 – Borcas helicoidais de haste paralela com nomenclatura.

A ponta das borcas helicoidais são a parte principal, responsáveis pelo processo de corte e remoção do material. Sua geometria é, normalmente, complexa evoluída ao longo de anos para aumento de produtividade e eficiência. A Figura 3.6 mostra um exemplo de geometria da ponta de uma broca helicoidal.

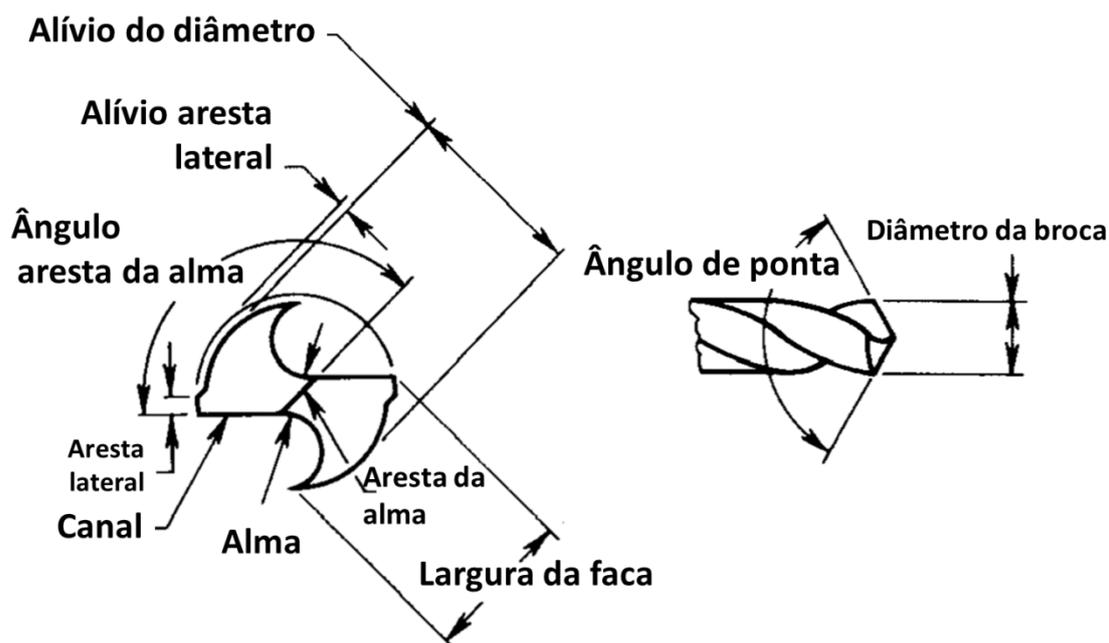


Figura 3.6 – Geometria típica da ponta de uma broca helicoidal.

Outro aspecto importante das brocas helicoidais é o ângulo de hélice, o qual é responsável pela retirada dos cavacos da área de corte, por meio dos canais. Tipicamente a broca helicoidal tem um ângulo de ponta de 118° com ângulo de hélice de 30° empregada para furação de aços em geral. Brocas com ângulo de hélice de 20° e ponta de 118° são normalmente empregadas para furação de $\epsilon 40^\circ$, os quais servem para latão e de bronze. Com ângulo de ponta mais agudo de 90° normalmente são empregadas em plásticos. Ângulos de hélice de 40° combinados com ângulo de ponta de 100° são usados para ligas leves como as de alumínio. Tais brocas estão exemplificadas na Figura 3.7.

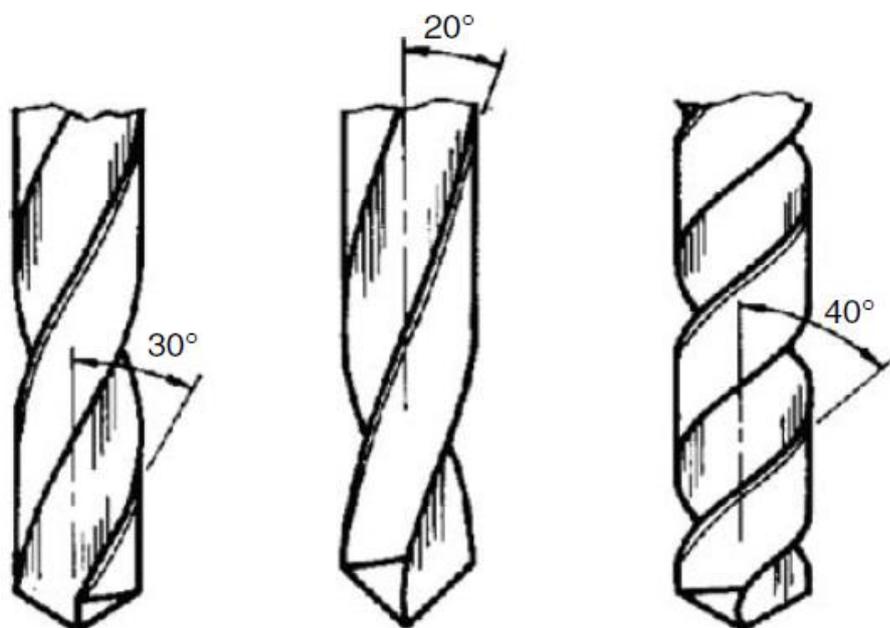


Figura 3.7 – Exemplos de brocas com diferentes geometrias para diversos materiais com características distintas.

A Figura 3.8 mostra ainda alguns outros tipos especiais de brocas helicoidais.

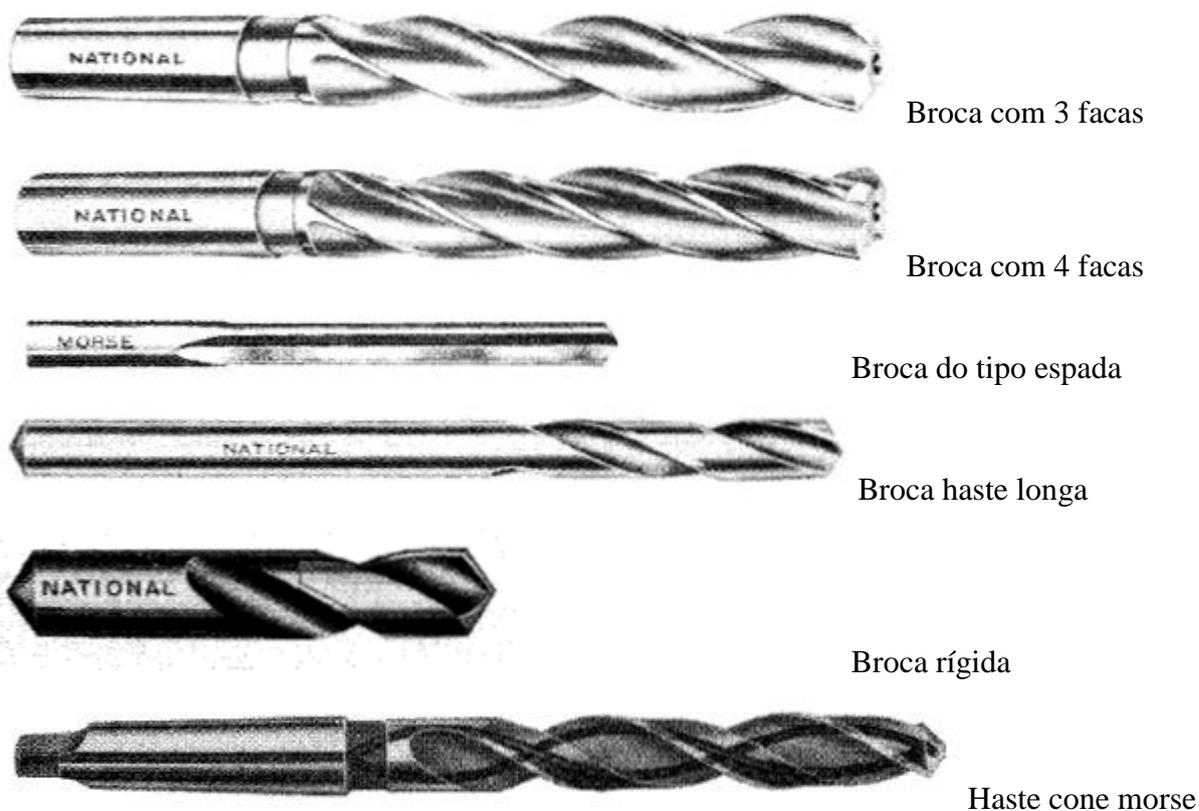


Figura 3.8 – Exemplo de diversos tipos de brocas.

A fixação das brocas para a realização dos furos é feita por meio dos mandrils, que são similares a uma placa de 3 castanhas com fechamento simultâneo. O mandril é, normalmente, fixado ao eixo-árvore por meio de um cone Morse. A Figura 3.9 mostra como é um mandril por dentro.

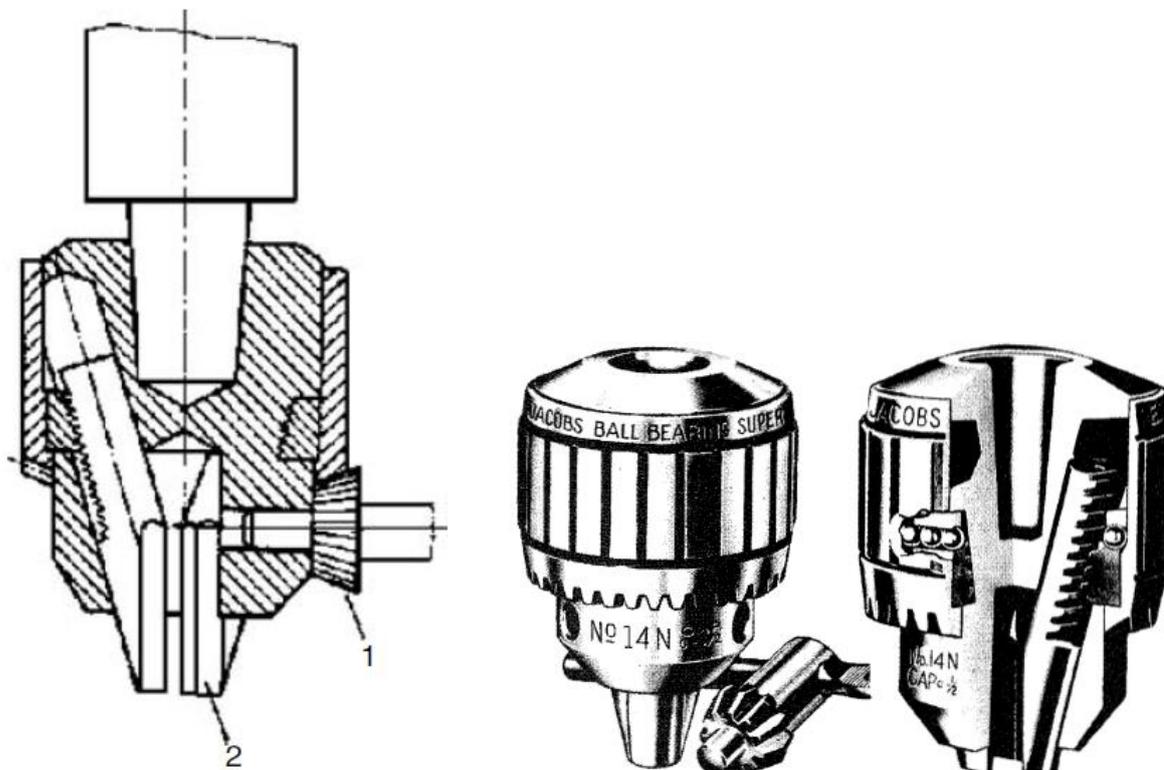


Figura 3.9 – Mandril para fixação das brocas.

Para a abertura de furos de grande diâmetro, em geral acima de 25 mm, as brocas helicoidais se tornam inviáveis, devido ao seu alto custo e alto risco de ruptura em trabalho. Furos de grandes diâmetros são realizados iniciando-se com brocas de menor diâmetro, seguida de aumento progressivo até os limites das brocas helicoidais. Acima de, em geral 30 mm, usam-se brocas com insertos indexáveis, como aquelas mostradas na Figura 3.10.



Figura 3.10 – Exemplo de broca com insertos intercambiáveis.

Para furos ainda maiores, onde mesmo as brocas com insertos se tornam economicamente inviáveis, a solução pode ser o mandrilamento com cabeçotes expansivos, como mostrado na Figura 3.11.



Figura 3.11 – Exemplos de cabeçotes expansivos para mandrilar.

O mandrilamento, normalmente, é uma operação de acabamento e se usado para aumentar diâmetros de furos pode resultar em longos tempos de operação, devido á vibração que ocorre quando se tenta profundidade de usinagem de desbaste, aumentando os custos. Se uma máquina CNC com interpolação simultânea em 3 eixos é disponível, pode-se abrir furos de grandes diâmetros, e forma diferentes da cilíndrica, usando-se a interpolação helicoidal em uma fresa de topo, como esquematizado na Figura 3.12.



Figura 3.12 – Exemplo de abertura de furos por interpolação helicoidal.