

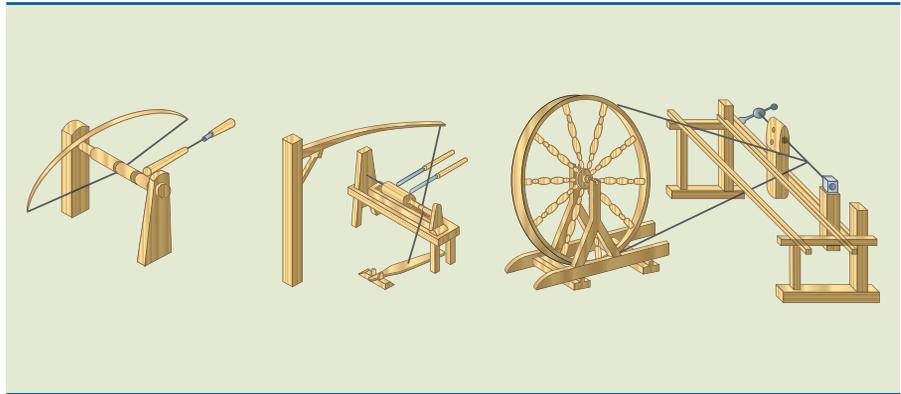
Capítulo 8

Torneamento

A humanidade já aplicava os princípios dos processos de fabricação desde o momento em que começou a produzir suas ferramentas e utensílios. O torneamento baseia-se em um princípio da mais remota Antiguidade, quando o homem fabricava as vasilhas de cerâmica rotacionando a peça sobre seu próprio eixo e produzindo superfícies cilíndricas, perfiladas ou cônicas. A figura 8.1 mostra exemplos de tornos mais antigos.

Figura 8.1

Exemplos de tornos de arco, de vara e de fuso – do Império Romano até o início do ano 1600.



Apesar de antigo, esse princípio foi efetivamente usado para o trabalho de metais a partir da Revolução Industrial, na Inglaterra, no final do século XIX. Foi impulsionado pela invenção das máquinas a vapor e a criação do suporte para ferramenta e do avanço do carro transversal. A partir desse momento, o torno, que era operado por mais de uma pessoa, passou a ter apenas um operador. Pode-se dizer que já visava à colocação de um operador menos especializado como forma de redução de custos, pois a manufatura tornou-se mais mecânica e empregou mão de obra mais barata.

As melhorias de condições de operação ficaram possíveis com o avanço e a evolução das partes componentes do torno, e as principais são citadas na evolução histórica ilustrada na figura 8.2, em que se apontam as partes do torno e o ano de implantação.

As melhorias para o operador vieram oferecer maior segurança de uso, ao introduzir componentes nas máquinas como as proteções e sensores e, mais recentemente, os equipamentos de proteção individual (EPI): óculos de segurança e protetores auriculares.

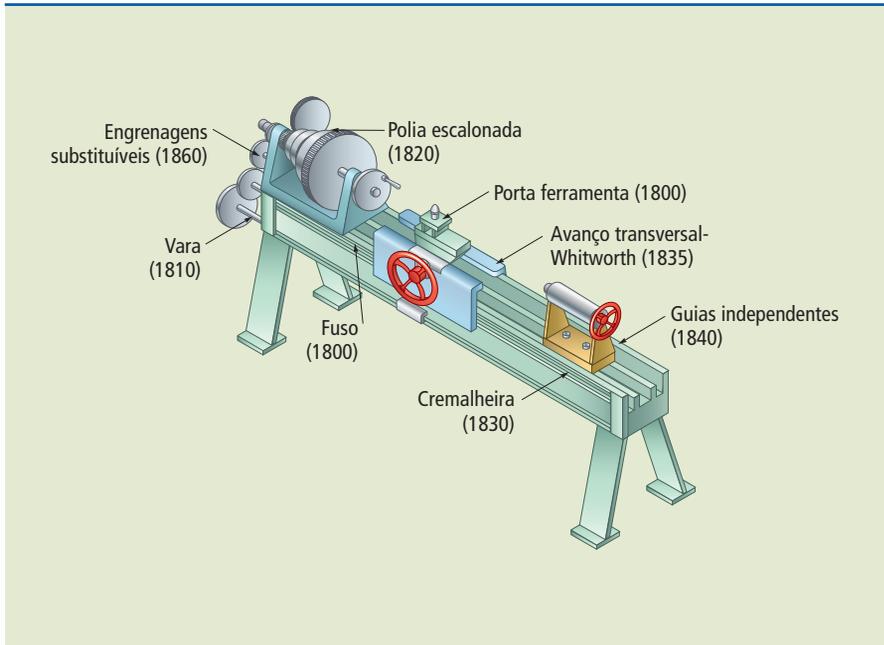


Figura 8.2
Evolução histórica do torno.

No torneamento, atualmente, o metal é removido em altas velocidades, buscando-se ferramentas e parâmetros de corte controlados nos processos. A intenção é atingir, na operação de torneamento de uma peça, um formato, dimensão e rugosidade superficial específicos, seguindo orientações definidas no desenho da peça ou no desenho da folha de processo. Ao mesmo tempo procura-se obter cavaco que obedeça a uma forma controlada e aceitável para determinada aplicação e com dados de corte o mais elevados possível com a melhor condição de vida da ferramenta, aproveitando as características da nova geração de ferramentas de corte utilizadas em máquinas convencionais ou em máquinas CNC (comando numérico computadorizado).

O torneamento estabeleceu-se como um dos processos mais completos de fabricação mecânica, uma vez que permite conseguir a maioria dos perfis cilíndricos necessários aos produtos da indústria mecânica. Em grau de importância, quando comparado a outros modelos de máquinas-ferramenta, o torno é seguramente o tipo de máquina mais vendido e adquirido em número de unidades, pela maior ocorrência do torneamento nas empresas.

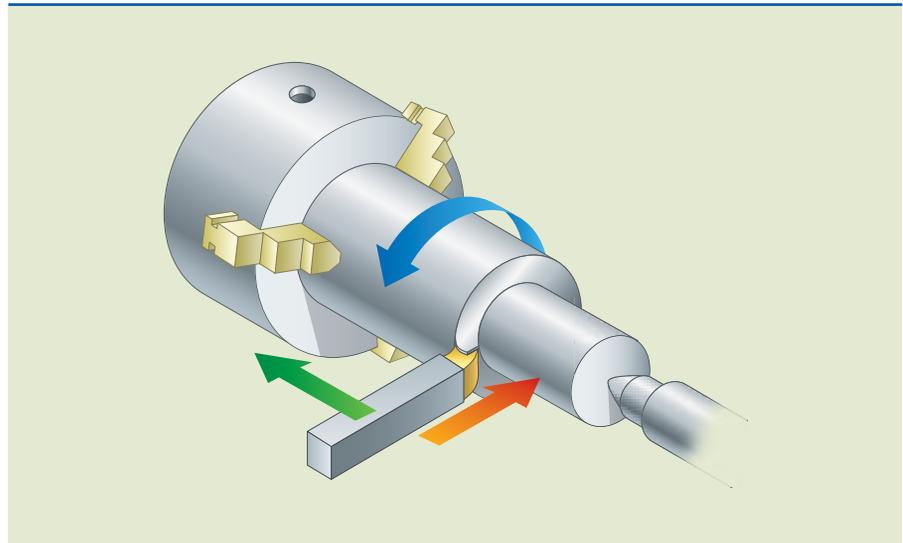
8.1 Definições em torneamento

O torneamento é um processo mecânico de usinagem em superfícies de revolução, com o uso de ferramentas monocortantes. Para realizar a operação, a peça rotaciona em torno do eixo principal de rotação da máquina e a ferramenta faz a translação ao mesmo tempo. É um processo em geral aplicado na fabricação de peças simétricas de revolução. Necessita que a ferramenta esteja na altura exata do eixo de centro da peça e da máquina, para se efetuar corretamente o corte e distribuir os esforços.

Quanto à trajetória da ferramenta, o torneamento pode ser retilíneo ou curvilíneo.

Figura 8.3

A figura mostra os movimentos de avanço e giratório da peça contra o corte da ferramenta.



8.1.1 Tipos de torneamento

A tabela 8.1 mostra os tipos de operações de torneamento externo e interno.

Tabela 8.1

Operações de torneamento externo e interno.

<p>Torneamento cilíndrico externo (1)</p>	<p>Torneamento de faceamento (2)</p>	<p>Torneamento cônico (3)</p>
<p>Sangramento radial (4)</p>	<p>Sangramento axial (5)</p>	<p>Torneamento curvilíneo (6)</p>
<p>Perfilamento radial (7)</p>	<p>Perfilamento axial (8)</p>	<p>Rosçamento externo (9)</p>
<p>Torneamento cilíndrico interno (10)</p>	<p>Torneamento cônico interno (11)</p>	<p>Rosçamento interno (12)</p>

Torneamento retilíneo

É o processo em que a ferramenta se desloca em uma trajetória retilínea. A seguir, os tipos de torneamento retilíneo, com referência numérica das figuras demonstrativas da tabela 8.1:

- **torneamento cilíndrico** – a ferramenta se desloca na trajetória paralela ao eixo principal de rotação da máquina. Pode ser externo (nº 1) ou interno (nº 10). Para obter um entalhe circular deslocando paralelamente ao eixo da máquina, o torneamento é denominado sangramento axial (nº 5).
- **torneamento cônico** – a ferramenta se desloca em uma trajetória inclinada com o eixo da máquina. Pode ser interno (nº 11) ou externo (nº 3) e ocorre de duas maneiras no torno convencional: inclinando o carro espera/manual ou deslocando o cabeçote móvel para inclinações pequenas. Nos tornos CNC, o sincronismo de movimentação dos eixos permite realizar torneamentos cônicos sem necessidade de inclinação da ferramenta, executando-os por meio de uma programação na inclinação desejada.
- **torneamento radial** – a ferramenta se desloca em trajetória perpendicular ao eixo de rotação da máquina obtendo uma superfície plana. O processo é denominado faceamento (nº 2). A face gerada é referência para as medidas que derivam dela.

As ferramentas de toronar precisam estar na altura do centro do eixo principal (figura 8.4). O ajuste é feito colocando calços abaixo da ferramenta ou trocando o tamanho do suporte da ferramenta. Os tornos geralmente são projetados para receber determinado tamanho de suporte externo e interno porta inserto intercambiável (pastilha de metal duro), por exemplo, cabo 20 × 20 mm, de modo que a ferramenta automaticamente deverá estar na altura de centro e, em geral, não necessitará de calços para ajuste de altura.

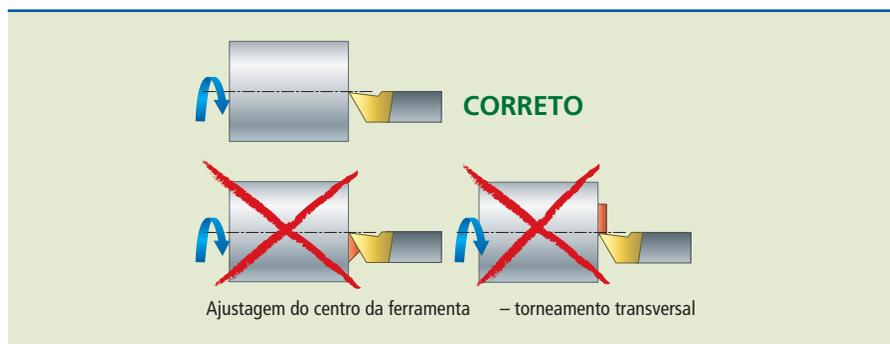


Figura 8.4

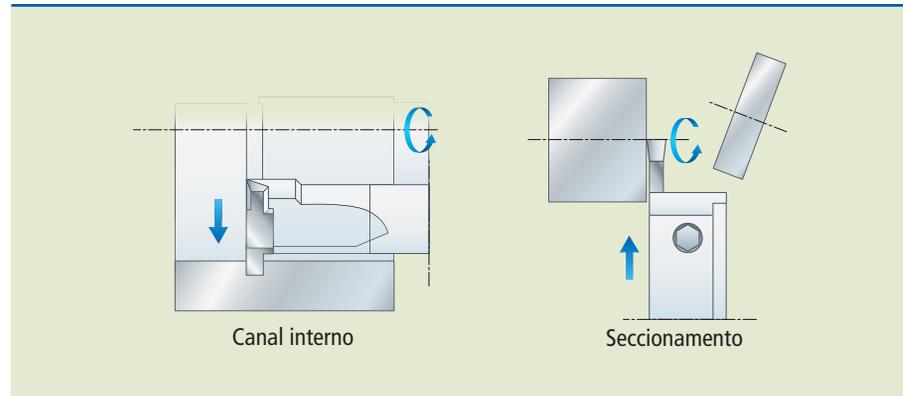
Ajustagem do centro da ferramenta.

Se a ferramenta estiver fora da altura de centro, pode ser danificada, aumentar esforços e até causar acidentes. Durante o faceamento, percebemos a real necessidade de as ferramentas de corte estarem na altura de centro do eixo da peça para não ocorrer imperfeição na face.

O sangramento radial (nº 4) tem o objetivo de realizar na peça um entalhe circular perpendicular ao eixo principal de rotação da máquina, podendo ser interno ou externo.

O sangramento radial externo também pode ser prolongado, a fim de realizar o seccionamento ou corte, separando parte da peça (figura 8.5). Essa operação é comum em trabalhos de torneamento em que o material é fornecido laminado ou trefilado em barras maciças ou tubos, e não em pedaços serrados. A barra ou tubo é fixada na máquina, usina-se o perfil da peça e, em seguida, a ferramenta de sangrar faz o seccionamento ou corte.

Figura 8.5
Operações de
torneamento.



- **perfilamento** – a ferramenta possui um perfil reproduzido da forma final da peça e se desloca em trajetória retilínea radial (nº 7) ou axial (nº 8). Esse processo é muito utilizado em tornos de cabeçote múltiplo.
- **torneamento curvilíneo** – a ferramenta se desloca segundo uma trajetória curvilínea, sem referência fixa ao eixo de rotação da máquina (nº 6).

Por causa do movimento da ferramenta, é possível executar operações de **rosca-mento** externo (cilíndrico, cônico ou radial) ou interno (cilíndrico ou cônico), com uma ferramenta afiada segundo a geometria do tipo de rosca.

As operações de torneamento podem ser de desbaste e de acabamento. A operação de desbaste faz a maior remoção e arranque de material, objetivando a forma e as dimensões próximas das finais, com maiores avanços e profundidade de corte (**ap**) para maior remoção possível visando baixos custos. A operação de acabamento visa obter na peça as dimensões finais com as tolerâncias recomendadas e a rugosidade superficial especificada, com baixa profundidade de corte (**ap**) e avanço coerente para conseguir a rugosidade superficial e manter a precisão de usinagem. A realização de torneamentos em menores faixas de tolerâncias dimensionais depende das variáveis:

- forma e material da peça e da ferramenta;
- condições de usinagem;
- rigidez da máquina, da ferramenta, dos dispositivos de fixação;
- geometria da ferramenta e condições de sua aresta de corte;
- uso ou não de fluido de corte.

Para obter maior precisão na peça, deixa-se sobremetal na operação de torneamento, seguida por uma operação de retificação cilíndrica para executar a dimensão e a rugosidade desejadas. Quando é necessário o tratamento térmico nas

peças, a operação final de acabamento nas tolerâncias e rugosidade pode ser feita nos tornos (chamada torneamento duro), com o uso de ferramentas de CBN, ou em retificadoras, dependendo do grau de precisão requerido e da avaliação de custos de fabricação. Em várias aplicações de produção seriada, o torneamento duro tem sido mais vantajoso do que a retificação.

8.2 Características e tipos de máquinas em torneamento

Os tornos possuem características que orientam os profissionais de mecânica na seleção e indicação de uso, em relação à capacidade para os diferentes trabalhos. As características técnicas principais a serem observadas nos tornos são:

- **o comprimento entre pontas** – é a distância máxima entre a ponta do cabeçote fixo e a ponta do cabeçote móvel todo recuado, que define o comprimento máximo de peça que se pode fixar para usinar;
- **a altura das pontas em relação ao barramento** – é a distância do centro das pontas à face superior do barramento, que define o diâmetro de usinagem das peças fixadas em placas (diâmetro sobre o barramento);
- **a altura da ponta em relação à mesa do carro transversal** – é a distância do centro da ponta (ou centro do eixo árvore) à face superior do carro transversal, que define o diâmetro máximo de torneamento para peças fixadas entre pontas (diâmetro sobre o carro).

Outras características importantes são: o perfil do eixo-árvore e diâmetro do furo do eixo-árvore (define o diâmetro máximo de barras que se pode trabalhar passando dentro do eixo), intervalos de rotações e máxima rotação do eixo-árvore, a potência do motor e outras, dependendo do tipo de torno. As figuras 8.6 e 8.7 mostram dois tipos de tornos, ilustrando a evolução dessa importante máquina-ferramenta.

8.2.1 Torno mecânico universal paralelo horizontal

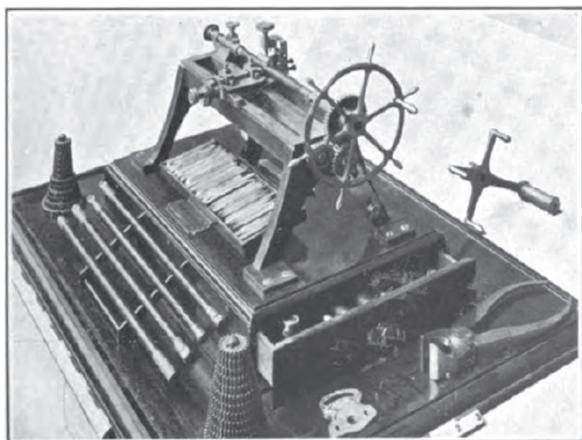


Figura 8.6

Torno do ano 1800.

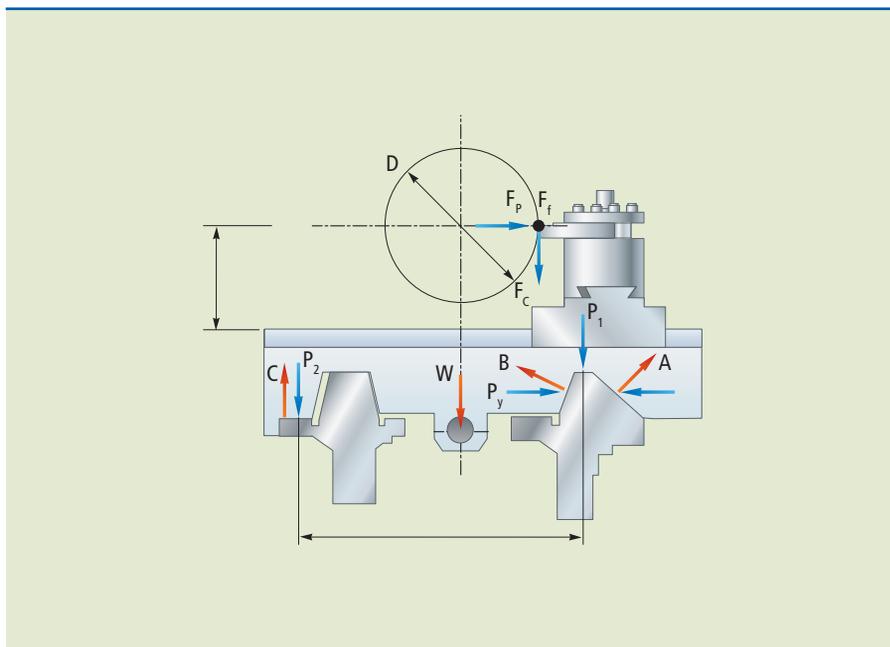
Figura 8.7
Torno – ano 2010.



Desde seu surgimento, o torno teve a característica visual similar ao torno mecânico universal paralelo horizontal que ainda é utilizado, com as melhorias de formatos visando rigidez e segurança, entre outros.

A denominação dessa máquina-ferramenta deve-se ao fato de ser de acionamento mecânico, faz operações universais de torneamento, possui guias de barramento paralelas na horizontal para o movimento da ferramenta e o posicionamento da peça na horizontal. As partes principais do torno mecânico são descritas abaixo, e algumas delas são comuns em muitos modelos de tornos.

- **Barramento** – apoiado nas colunas, o barramento forma o corpo principal do torno. Ele apoia o cabeçote fixo. O carro principal e o cabeçote móvel se movem segundo as guias prismáticas do barramento (é sua parte superior). Esse perfil prismático tem a função de resistir melhor à pressão do trabalho, compensar o desgaste das partes em atrito e proporcionar precisão. É construído de ferro fundido especial, e as guias prismáticas são endurecidas por têmpera superficial e, posteriormente, retificadas. A figura 8.8 mostra a distribuição de esforços no processo de torneamento e a altura de centro.
- **Cabeçote móvel** (também chamado contraponta) – apoia as peças longas com a ponta rotativa, para dar suporte e estabilização ao torneamento. É útil também para fixar diretamente no mangote (peça que desliza dentro do cabeçote móvel na mesma altura de centro do eixo-árvore) as brocas nas operações de furação.
- **Carro** – existem o longitudinal, o transversal e o manual (espera). Nesse conjunto é montada a torre porta-ferramentas. Os carros realizam os movimentos de translação das ferramentas de corte durante a usinagem.
- **Caixa de roscas e avanços** – mecanismo no qual se ajusta e define, por alavancas, o avanço em revoluções por minuto (rpm) em que serão feitas as operações de torner em automático e o passo da rosca para o qual será executada a operação de roscar.

**Figura 8.8**

Distribuição de esforços e altura de centro.

- **Avental** – é montado abaixo do carro principal, e nele ficam os volantes e as alavancas para acionar os carros manual ou automaticamente nos torneamentos e roscamentos.

Os anéis graduados do carro longitudinal e do transversal, da espera e do cabeçote móvel orientam o operador em relação a quanto avançar ou retroceder as ferramentas, em milímetros. A graduação acompanha uma indicação gravada do valor de cada divisão. Cada menor divisão de cada anel graduado é calculada dividindo-se o passo da rosca (PR) que movimenta a ferramenta nesses carros pelo número de divisões do anel (ND).

$$\text{div} = \text{PR}/\text{ND}$$

Os tornos convencionais são adquiridos por escolas e por oficinas em geral, para operações de torneamento em departamentos de manutenção, ferramentaria, produção e montagem. Têm baixo grau de automação e grande dependência do operador, trabalham com baixas velocidades e avanços e são usados na fabricação de pequenos lotes.

8.2.2 Tornos verticais

Possuem essa denominação porque as peças são dispostas na posição vertical, e as guias obrigam a ferramenta a fazer a trajetória vertical para a usinagem. São utilizados para usinar peças pesadas de grandes dimensões, como volantes, polias e válvulas, que ficam mais bem apoiadas em placas geralmente de 1 a 10 metros de diâmetro, podendo exceder essas medidas em casos especiais e dependendo do tamanho da máquina. Trabalham em baixas e médias velocidades e avanços, para a fabricação de pequenos e médios lotes de produção, com dependência do operador.

As versões com CNC (comando numérico computadorizado) possuem alto grau de automação mecânica e eletrônica, com menor dependência do operador. Existem, ainda, modelos atuais que acrescentam as operações de fresa e furação, como se fosse um centro de usinagem horizontal de cabeçote universal.

Figura 8.9

Torno CNC.



MATT NASH/FELICKR.COM

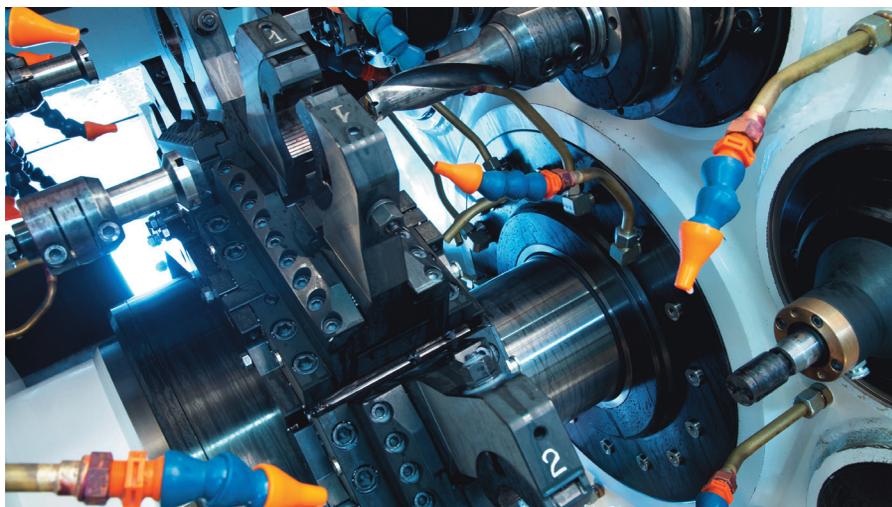
Existem tornos verticais com um sistema chamado *pickup*, para inverter o posicionamento do eixo-árvore e da peça, caso em que a ferramenta fica parada e o eixo-árvore faz os movimentos vertical e horizontal de posicionamento, além da rotação, para que a usinagem seja realizada. São utilizados em médias a altas séries de usinagem de peças, por exemplo, discos e tambores de freios, engrenagens e componentes de transmissão automotiva. As peças ficam posicionadas em uma esteira, são coletadas pela placa que está no eixo-árvore e devolvidas para a esteira após usinagem.

8.2.3 Torno revólver

Tipo de torno que trabalha em baixas velocidades e avanços, com grande dependência do operador. Possui torre na forma de castelo ou revólver para fixar as ferramentas, que se movimentam pelo acionamento de comandos mecânicos rápidos contra o material, realizando diversas operações de torneamento. Os tornos revólveres foram desenvolvidos para trabalhos em série em peças como parafusos, porcas etc.

8.2.4 Tornos multifusos

São tornos com vários eixos-árvore que fixam várias peças ao mesmo tempo, definindo uma estação de trabalho em cada um deles, conforme figura 8.10. As peças fixadas recebem a ação de uma ferramenta de corte, que faz uma operação igual ou diferente na peça em relação a outras estações, utilizando o mesmo tempo de usinagem. Ao final desse tempo, finda o ciclo, e os eixos-árvore deslocam-se em novo posicionamento para novo ciclo.



FONLINE DIGITALE BILDAGENTUR GMBH / ALAMY/OTHERIMAGES

Figura 8.10

Detalhe de torno multifuso.

O tempo de preparação da usinagem é muito grande, em geral feito pelo ajuste da posição da ferramenta e montagem de cames para definir o avanço da ferramenta de corte. Esses tornos são aplicados na produção de peças de altíssima série e de perfil não complexo. Totalmente automatizados, com baixas velocidades e grande dependência do operador na preparação, em geral trabalham com barras em alimentação automática.

8.2.5 Tornos automáticos – numericamente comandados (CNC)

Com as exigências de mercado por maior qualidade, flexibilidade e menores custos de fabricação, surgiram e foram muito difundidas as máquinas de usinagem com CNC (comando numérico computadorizado). A evolução do CNC, desde sua introdução entre os anos 1940 a 1950, nos Estados Unidos, até hoje, gerou máquinas com elevada precisão, alto grau de automação eletrônica, pouca dependência do operador no aspecto físico e maior dependência quanto à concentração (figura 8.11). Essas máquinas trabalham com altas velocidades e avanços.

Nesse tipo de torno podem ser executadas usinagens de pequena, média ou alta série, de peças cortadas de barras ou diretamente com barras e o uso de acessório alimentador de barras, ou previamente forjadas ou fundidas. Hoje, esse tipo de torno é utilizado para trabalhos de ferramentaria em geral, produção e em estabelecimentos de ensino técnico.

Figura 8.11

Vista de um torno CNC.



AGE FOTOSTOCK/REXSTOCK

A introdução do CNC na indústria mudou de forma radical os processos industriais. Os torneamentos cônicos e curvilíneos são facilmente executados em programação manual ou auxiliados por computador (CAM – computador no auxílio à manufatura), e a intervenção de operadores é reduzida. O CNC reduziu também o número de erros humanos, melhorou a qualidade dos produtos, diminuiu o retrabalho e o desperdício e facilitou as linhas de fabricação e montagens, tornando-as mais flexíveis.

Um tipo específico de torno CNC utilizado na indústria é o de cabeçote “tipo suíço”. A matéria-prima é fornecida em barras, com o acessório de alimentador automático de barras. As peças são fixadas com pinças. O movimento de comprimento (eixo Z) é feito pela peça, que vai se soltando da pinça. O movimento de diâmetro (eixo X) é realizado pela ferramenta. As peças são em geral de pequenos diâmetros em lotes seriados, com o uso de ferramentas de tamanho apropriado, em altas velocidades. As peças prontas são separadas por ferramentas de sangrar. Esse tipo de torno é comum na produção de peças para implantes dentário ou ortopédico, próteses e outros da indústria em geral e automobilística.

8.2.6 Tornos especiais

Desenvolvidos para atender requisitos específicos na fabricação de grandes lotes de um único tipo de peça, são pouco utilizados na indústria, pois são máquinas de uso especial – linhas transfer em peças de grandes dimensões. A dependência do operador depende do grau de automatização, e as velocidades e avanços ocorrem em função do tipo de peça a que se destinam.

8.3 Fixação da peça e acessórios em torneamento

O torno tem vários acessórios, e os principais deles ajudam a prender e a fixar as peças para tornar as operações executáveis. A fixação deve ser segura, rápida e precisa. A potência do motor requerida para o corte deve ser integralmente transmitida à peça. A força necessária para uma fixação segura depende da geometria e material da peça, da ferramenta e parâmetros de corte, sem deixar marcas nem distorcer a peça. A velocidade requerida para usinar depende do tamanho e da geometria da peça, da forma e acabamento desejado, da rigidez do tipo de fixação ou do tipo de operação e ferramentas.

A escolha da fixação depende da peça, do torno e das ferramentas de corte e deve suportar o torque durante o corte do material. Os sistemas mais comuns de fixação são as placas de castanhas, as pinças, os mandris e os dispositivos especiais.

Os principais acessórios são os seguintes:

- **Placa de castanhas** – as placas são presas no eixo-árvore com o auxílio de flanges. Podem ser de duas, três ou quatro castanhas autocentrantes (o giro de um parafuso aciona todas as castanhas), geralmente em formatos de fixação regular. Existe uma versão com quatro castanhas independentes, cada parafuso movimentando uma castanha de cada vez, usada em peças de geometria irregular. Podem ter funcionamento de fechar e abrir manual ou automático (pneumático ou hidráulico). Utilizam castanhas integrais ou intercambiáveis. As castanhas podem ser “moles” (sem endurecimento) ou “duzas” (endurecidas por têmpera), para fixações pelo interno ou externo das peças. A escolha depende, basicamente, do formato e geometria da peça e do tipo de operação. A placa autocentrante de três castanhas é a mais utilizada (ver figura 8.12). Como existem diversos tipos de placas, pelo tipo de movimento que fazem nas castanhas, eles trazem mais versatilidade nas operações de torneamento.

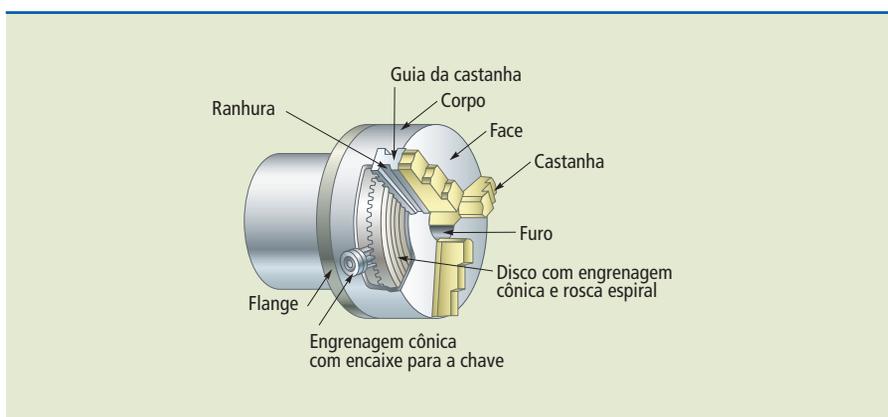


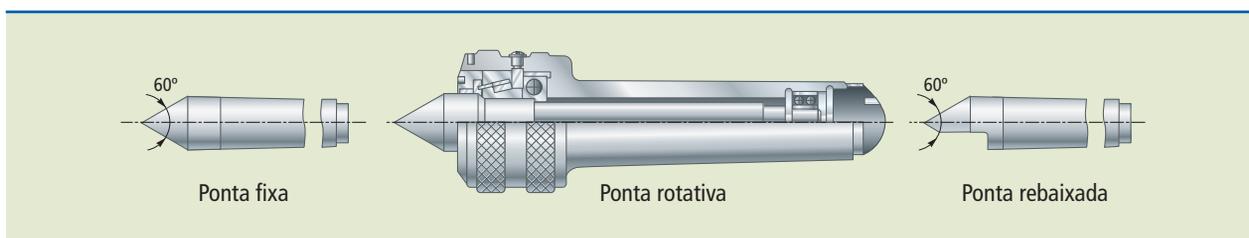
Figura 8.12

Detalhes de uma placa autocentrante.

- **Ponta fixa e ponta giratória ou rotativa** (figura 8.13) – são acessórios de formato cônico com 60° de abertura, endurecidos e retificados. Utilizados para apoiar peças que ficam distantes da face da placa em fixação placa e ponta, ou para fixação entre pontas. Possibilitam versatilidade na fixação entre pontas. Para seu uso, é necessário que a peça tenha furo de centro para acomodar a ponta cônica. A ponta giratória diminui o atrito com a peça, suportando esforços radiais e axiais.

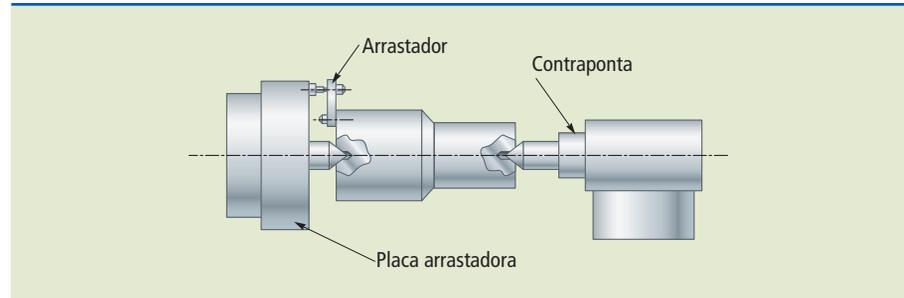
Figura 8.13

Ponta rotativa.



Na fixação entre pontas (figura 8.14), coloca-se a ponta fixa e a placa arrastadora no eixo-árvore. O arrastador (ou grampo de arraste) faz a função de transmitir a rotação e o torque do eixo-árvore para a peça. O esforço de corte é limitado pela rigidez do arrastador. Monta-se a ponta giratória no cabeçote móvel e ajusta-se o posicionamento do cabeçote.

Figura 8.14
Peça entre pontas.



A figura 8.15 ilustra alguns tipos de montagem de arrastadores.

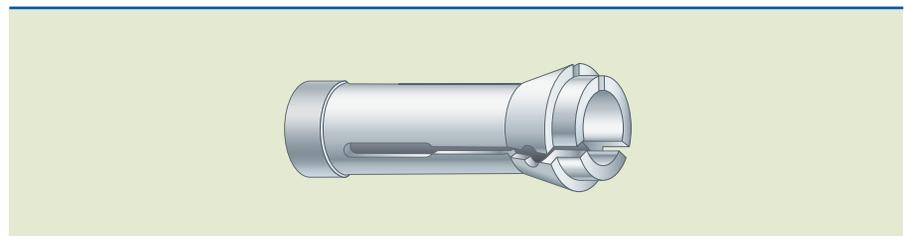
Figura 8.15
Placas arrastadoras e arrastadores.



Em usinagem seriada prefere-se a ponta com arraste (ponta com garras), em vez do arrastador. É uma ponta fixa com garras que trava na face da peça quando acionada a contraponta. O esforço de corte (profundidade de corte e avanço) é limitado pela rigidez da ponta de arraste. Substitui a placa com vantagens de redução de tempo e maior produtividade, permite a usinagem da peça em toda a sua extensão, sem necessidade de virar e fixar de novo para completar a operação.

- **Pinças** – substituem as placas de castanhas para fixar peças. São úteis para o torneamento de peças pequenas e de precisão, em geral associadas ao uso de material no formato de barras. Permitem a utilização de maiores velocidades de rotação e fornecem baixas deformações na peça. As pinças prendem a peça pelo externo. Para prender pelo interno das peças, é comum o uso de mandris expansivos. Tanto a pinça (figura 8.16) como os mandris expansivos são fabricados de aço mola.

Figura 8.16
Pinça estacionária.



- **Luneta** – é um acessório usado para solucionar a fixação de peças longas (figura 8.17). Em operações executadas na peça, longe da placa de castanhas, utiliza-se a luneta fixa posicionando as pontas de contato apoiadas em porção regular da peça, em geral já torneada, devendo receber aplicação de lubrificante para reduzir o desgaste. Para tornear peças de formato muito fino e delgado, utiliza-se a luneta móvel, que reduz ou elimina a vibração e flexão da peça por causa do grande vão entre os pontos.

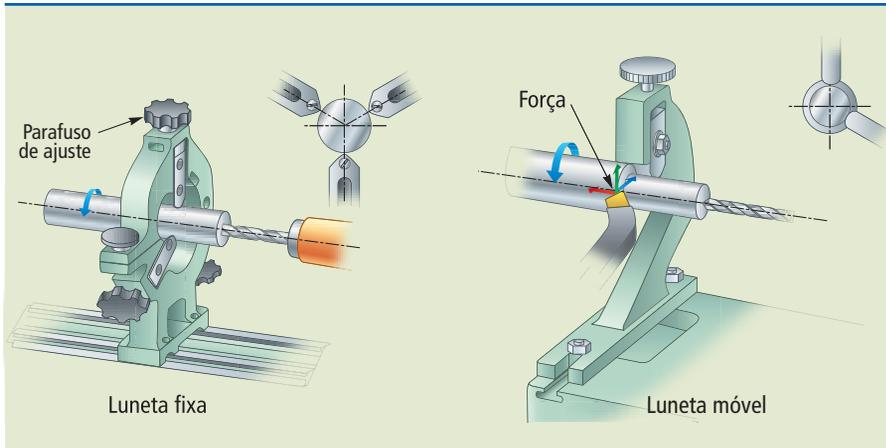


Figura 8.17
Tipos de lunetas.

- **Mandril porta-brocas e bucha de redução** – servem para prender as brocas de haste paralela que serão usadas para furação (figura 8.18). São comprados separadamente e depois adaptados à haste cone Morse que será alojada no cone do mangote. As brocas com haste cone Morse encaixam-se diretamente no mangote. Quando as pontas rotativas, os mandris e as brocas têm haste cone Morse menor do que o cone Morse do mangote, é necessário empregar uma bucha de redução.



Figura 8.18
Mandril.

8.4 Furar, roscar e recartilhar no torno

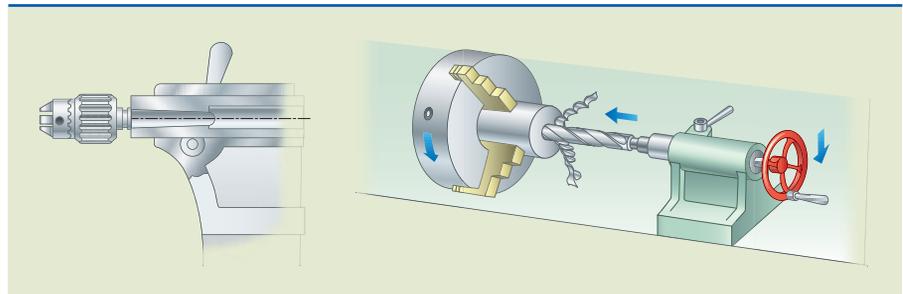
8.4.1 Furar

Em tornos convencionais são possíveis furações apenas no eixo da peça (centro da peça). As operações de furar (figura 8.19) são feitas com brocas em geral de aço rápido, com ponta cônica afiada de acordo com o material da peça. Podem ser feitas também as operações de alargar, roscar com macho e escarear.

Para a operação, no início é feito o faceamento no topo da peça. Em seguida, realizam-se os seguintes passos:

- fixar a broca diretamente no cone do mangote ou em mandril, verificando se é necessário o uso de bucha de redução, com esforço para fazer pressão da haste da broca ou do mandril no cone do mangote (tomar cuidado com as mãos) ou em mandril;
- acoplar o mandril no mangote do cabeçote móvel;
- selecionar a rpm ideal em função do diâmetro da broca, da V_c recomendada para o material da broca e da peça;
- aproximar e travar o corpo do cabeçote móvel;
- ligar o torno para girar a peça contra o corte da broca, girar o volante do cabeçote móvel para fazer avançar a broca e realizar a furação no formato ideal, guiando a profundidade pelo anel graduado.

Figura 8.19
Operação de furar.

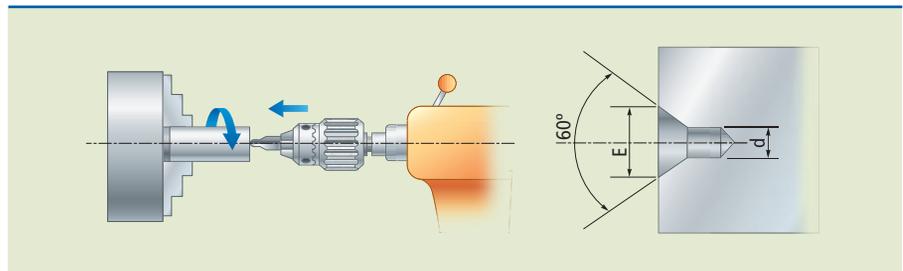


Furar centro – A operação de furar centro tem duas finalidades:

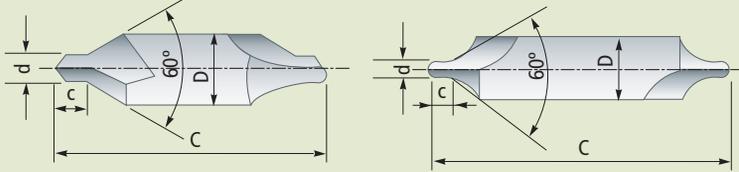
- guiar a broca, que será usada na operação de furação em cheio;
- suportar peças no torneamento externo entre pontas que são longas demais e necessitam do encosto pelo centro para poderem ser torneadas. Nesse caso, operações posteriores eventualmente também utilizarão o centro para fixação e referenciamento, como a retificação e alguns fresamentos, aumentando a responsabilidade do furo de centro quanto à qualidade da peça.

Os furos de centro simples possuem forma cônica de 60° (figura 8.20) para adaptar os cones das pontas rotativas e fixa. Podem ocorrer variações de formato com algum outro furo cilíndrico que alivia o contato das pontas. O furo de centro protegido possui, além das partes cônicas e cilíndricas do furo de centro simples, um alívio a 120° para proteger a parte cônica contra possíveis deformações por choques ou rebarbas capazes de prejudicar a centragem.

Figura 8.20
Furo para centro.



Para fazer furos de centros nas peças são usadas brocas de centrar, ou “brocas de centro”. As brocas de centrar comumente utilizadas são feitas de aço rápido em medidas padronizadas. Os furos de centro devem ser proporcionais aos diâmetros das peças. A seguir, a tabela 8.2 mostra valores práticos de medidas das brocas em função do diâmetro da peça a centrar.



Diâmetro da peça a centrar em mm	Medidas das brocas			
	d	D	c	C
5 até 15	1,5	5	2	40
16 até 20	2	6	3	45
21 até 30	2,5	8	3,5	50
31 até 40	3	10	4	55
41 até 60	4	12	5	66
61 até 60	5	14	6,5	78

Tabela 8.2

Medidas das brocas em função do diâmetro da peça a centrar:

8.4.2 Roscar no torno

Roscar ou abrir roscas (figura 8.21) é criar sulcos ou filetes com ferramenta de corte monocortante perfilada no formato da rosca desejada (triangular, quadrada ou trapezoidal, no sistema métrico ou polegada), principalmente em superfície cilíndrica interna ou externa, ou ainda na face da peça. É necessário que a ferramenta esteja perpendicular à superfície de corte, selecionar a velocidade em rpm e o passo da rosca na caixa de roscas e avanços. Em tornos CNC esses parâmetros são programáveis, e também é possível roscar superfície externa ou interna cônica.

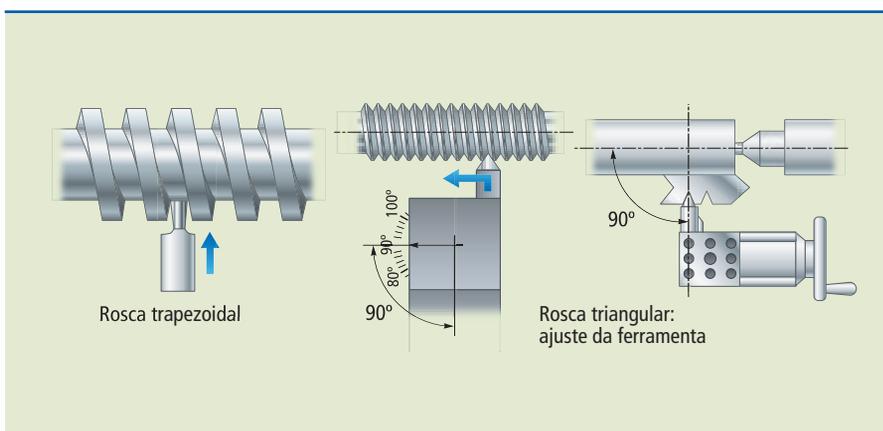


Figura 8.21

Ajuste da posição com o escantilhão.

Após o ajuste com o escantilhão, é preciso fazer uma passada de rosca em pequena profundidade para verificar o passo da rosca usando o pente de rosca.

Havendo a necessidade de fazer roscas com mais de uma entrada, primeiro executa-se uma entrada e depois se desloca no carro secundário (espera) a quantidade necessária, definida pelo passo da rosca.

Além do roscamento convencional no torno, podem ser produzidas superfícies internas roscadas com o uso de machos para roscar, fixados com adaptadores especiais no cabeçote móvel. Os sistemas de roscas são padronizados, definem as tolerâncias e dimensões gerais, como o perfil, os diâmetros, o passo da rosca (em milímetros ou fios por polegada), a altura do filete e demais características. A seguir, um resumo de indicações de roscas.

Normalização europeia

M 10 – rosca métrica de 10 mm de diâmetro nominal, passo normal – se externa, tornear com diâmetro nominal e, se interna, furar seguindo indicações de tabelas de fabricantes de machos, observando se a rosca será feita com macho convencional ou com macho para prensar ou esmagar;

M 10×1 – rosca métrica fina de 10 mm de diâmetro nominal e com 1 mm de passo;

Tr 48×8 – rosca trapezoidal métrica de 30° com 48 mm de diâmetro nominal e 8 mm de passo;

Tr 48×16-2E – rosca trapezoidal métrica, com 48 mm de diâmetro nominal, 16 mm de passo da rosca e de duas entradas à esquerda.

O passo da rosca norte-americana é fornecido em tabelas de fabricantes de ferramentas e em livros de normas.

Normalização americana

3/8" – 16 UNC-2 – rosca norte-americana grossa, diâmetro nominal de 3/8" com 16 fios por polegada (**passo** em mm é 25,4/16), da classe 2 de ajustagem;

1/4" – 20 BSW – rosca sistema Whitworth grossa, com 1/4" de diâmetro nominal e 20 fios por polegada (passo em mm é 25,4/20).

8.4.3 Recartilhar no torno

Algumas peças de constante manuseio, como cabeças dos parafusos de instrumentos de medida, por exemplo, o parafuso existente no paquímetro para travar o cursor, ou corpo de instrumentos como o calibrador de furo, precisam ter pequenos sulcos de geometria regular na superfície, para torná-las mais rugosas e facilitar o uso.

Com a recartilhadora, composta de roletes em aço temperado extremamente duros chamados recartilhas, aplica-se grande pressão no material da peça. Monta-se a recartilhadora no porta-ferramenta da mesma forma que uma ferramenta comum do torno, observando a altura de centro e girando a peça em baixa rotação. Os roletes giram pela rotação da peça e, como estão firmemente pressionados contra ela, imprimem o desenho na superfície. Um comprimento maior do que a largura dos rolos pode ser obtido engatando o automático do carro e

deslocando a quantidade necessária. A execução da operação é feita com muita pressão da ferramenta na peça. Os roletes devem estar inclinados cerca de 3° no contato com a superfície em operação. Alguns cuidados precisam, ainda, ser tomados, como:

- dosar a pressão, executar vários passes para não deformar as peças;
- centralizar a peça corretamente na placa;
- certificar-se de que o furo de centro e a ponta rotativa não estão deformados, para que a peça não gire excentricamente;
- escolher de forma correta a recartilha.

8.5 Seleção da ferramenta e máquina no torneamento

Para selecionar a máquina e as ferramentas no torneamento, é necessário conhecer as informações abaixo:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Geometria da peça (dimensões \pm tolerâncias) • Material da peça • Tamanho do lote • Prazo do lote • Relação L/D (comprimento pelo diâmetro da peça $L/D > 1,5$ usar contrapontas) • Grau de complexidade • Grau de desbalanceamento • Quantidade de operações | <ul style="list-style-type: none"> • Quantidade de ferramentas necessárias • Dispositivos e acessórios disponíveis • Qualidade da rugosidade superficial |
|--|---|

8.6 Ferramentas para torneiar

Há milhares de anos, a humanidade servia-se de instrumentos de punho, usados como armas ou ferramentas, para cortar e trabalhar materiais. Esses instrumentos, empregados para cortar, arrancar ou partir, sempre tiveram forma de cunha.

Quanto mais agudo o ângulo da cunha, menor é o esforço para fazer a cunha penetrar no material trabalhado. Portanto, a abertura do ângulo da cunha tem importância decisiva na eficiência da ferramenta de usinagem.

Analogamente, uma peça, quando é forçada contra uma ferramenta cuja parte ativa tenha forma cônica (cunha), recalca o material contra as faces da cunha, e a penetração da cunha ocorre na direção da mínima resistência oferecida pelo material. Se a cunha se move paralelamente à superfície do trabalho, o material se solta com maior facilidade. A figura 8.22 mostra ferramentas e formatos de cunha.

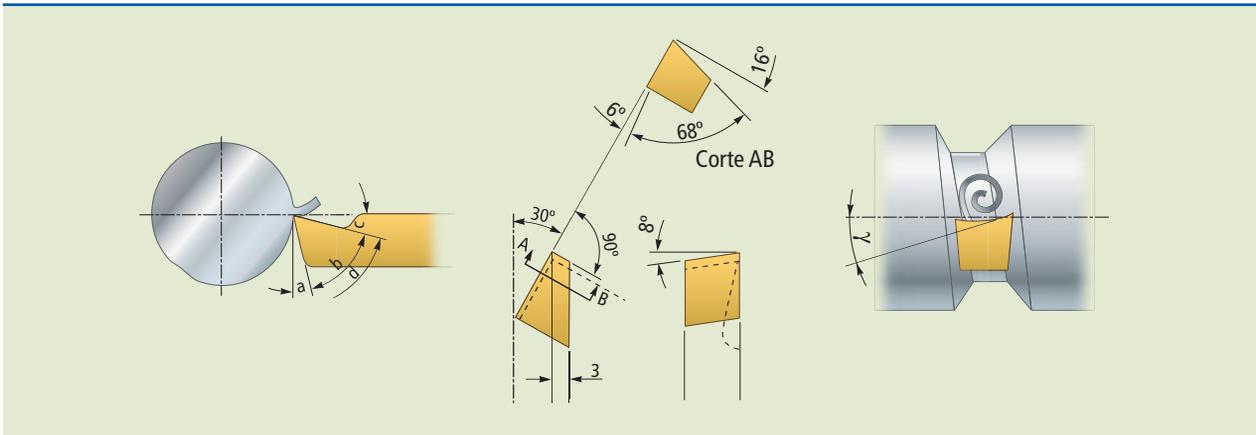


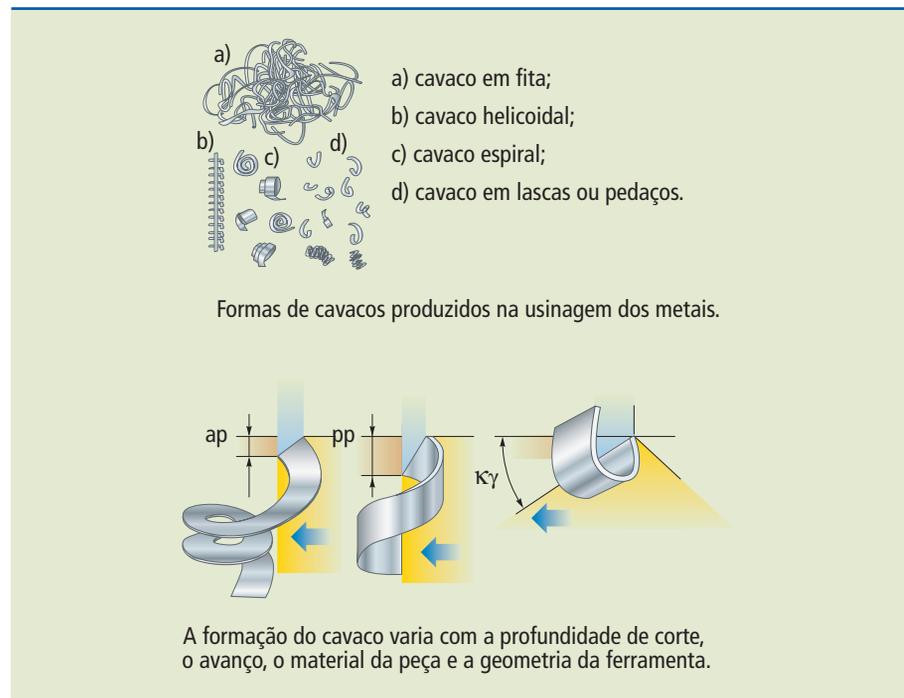
Figura 8.22

Ferramentas e formatos de cunha.

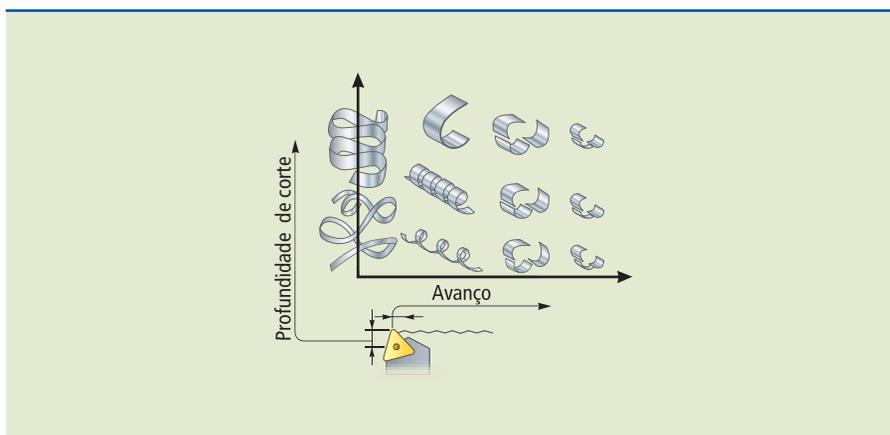
O material que se solta é o cavaco, e o tipo de material cortado define o tipo de cavaco para a mesma geometria da ferramenta. Por exemplo, no ferro fundido, não existem ligações entre os cavacos retirados. Nesse caso, formam-se cavacos muito pequenos, porque o material é quebradiço. No trabalho com materiais mais tenazes, por exemplo, o aço de baixo carbono, os cavacos agarram-se uns aos outros, formando verdadeiras fitas de aço. Na figura 8.23 podem ser vistos diferentes tipos de cavacos.

Figura 8.23

Diferentes tipos de cavacos.

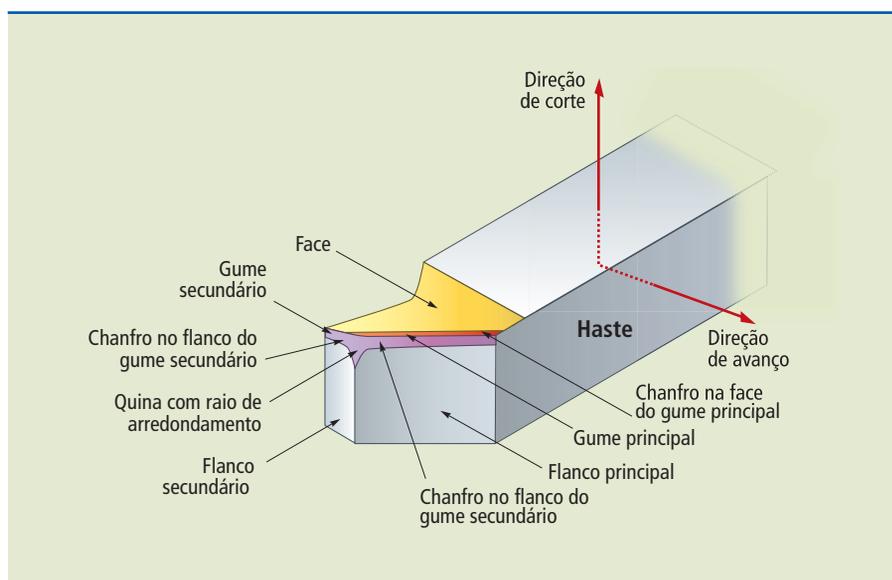


Para o controle dos cavacos, utilizamos os ajustes dos parâmetros de corte e a tecnologia dos quebra-cavacos nas ferramentas, afiadas nas pontas ou sinterizadas quando são usadas as pastilhas intercambiáveis. A figura 8.24 demonstra os efeitos da profundidade de corte e avanço na forma dos cavacos em usinagem de aço ABNT 1045.

**Figura 8.24**

Efeito da profundidade de corte e do avanço na forma do cavaco.

Existem diversos tipos de ferramentas de corte para torner. A ferramenta inteiriça de aço rápido é um pequeno prisma ou uma lâmina, com aproximadamente 10% de cobalto, chamado *bits* (vem de palavra inglesa, que significa “pedaço”). O *bits* é fixado nos suportes reto ou inclinado, e esse suporte por sua vez é preso na torre porta-ferramenta da máquina. Outra ferramenta tem ponta soldada de carboneto (metal duro). Em ambos os casos, se a ferramenta se desgasta, é possível a reafiação. A figura 8.25 ilustra um exemplo de geometria da ferramenta de torner e mostra os principais ângulos da ferramenta inteiriça.

**Figura 8.25**

Geometria da ferramenta de torner.

Pelo efeito de praticidade e produtividade, são largamente utilizadas as pastilhas, ou insertos intercambiáveis (figura 8.26), que são presas em suportes fixados na torre porta-ferramentas. Existem os insertos fabricados com os materiais metal duro, cermet, cerâmica, CBN, PCD. A seleção e indicação de uso estão descritas no capítulo 6 deste livro. Basicamente, o tipo de material da peça, as condições de dureza e forma geométrica, o tipo de operação a ser executado, nível de exigência e outros definem o tipo de material dos insertos.

Figura 8.26
Inserto intercambiável.

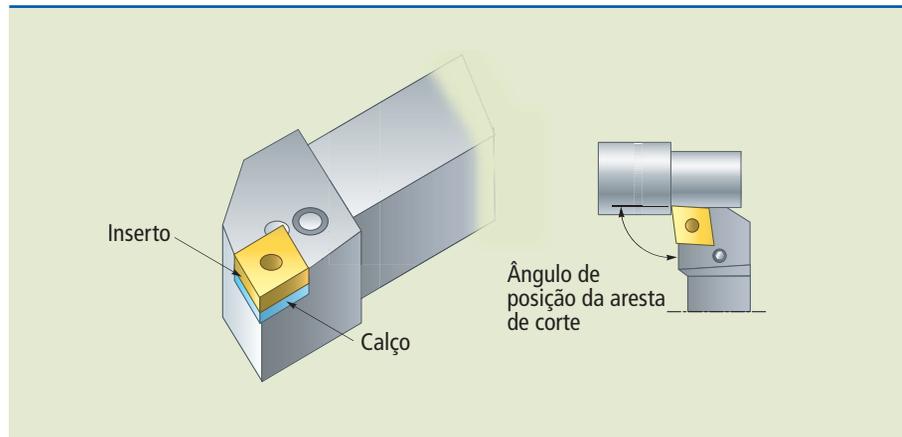
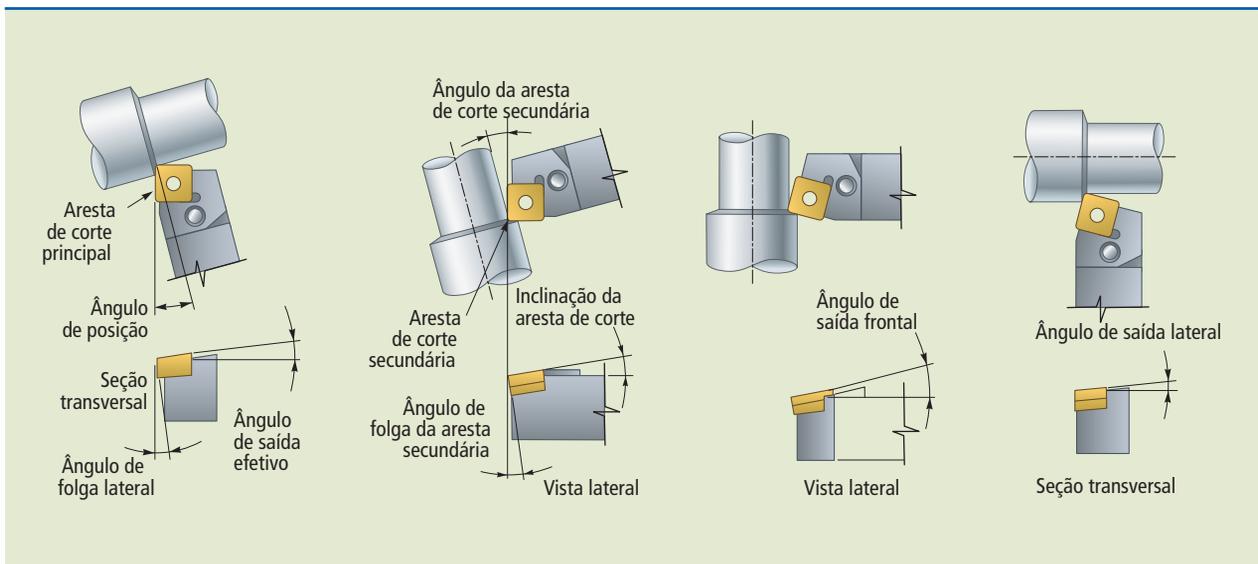


Figura 8.27
Ângulos decorrentes do uso de insertos.

Os ângulos decorrentes do uso de insertos são ilustrados na figura 8.27.



O ângulo de folga é o ângulo entre a superfície usinada e o flanco principal do inserto. Ele impede o contato do flanco principal do inserto com o material.

O ângulo de saída é por onde o material escoar e forma as aparas ou pedaços chamados de cavaco. Ele determina a agudez da ferramenta e é formado entre o plano perpendicular à superfície usinada e a face de saída do inserto. A importância dele está na influência que exerce sobre a resistência ao corte.

O ângulo de saída negativo possui ângulo entre a face de saída e o flanco principal de 90° e permite usar as duas faces ou lados do inserto, definindo insertos negativos. O ângulo de saída positivo possui, entre a face de saída e o flanco principal, ângulo menor que 90° e permite usar apenas uma face ou lado do inserto, definindo insertos positivos. Os insertos positivos são usados em geral em operações de acabamento que requeiram menor esforço de corte para não deformar a peça, caso de usinagens de furos muito precisos (figura 8.28).

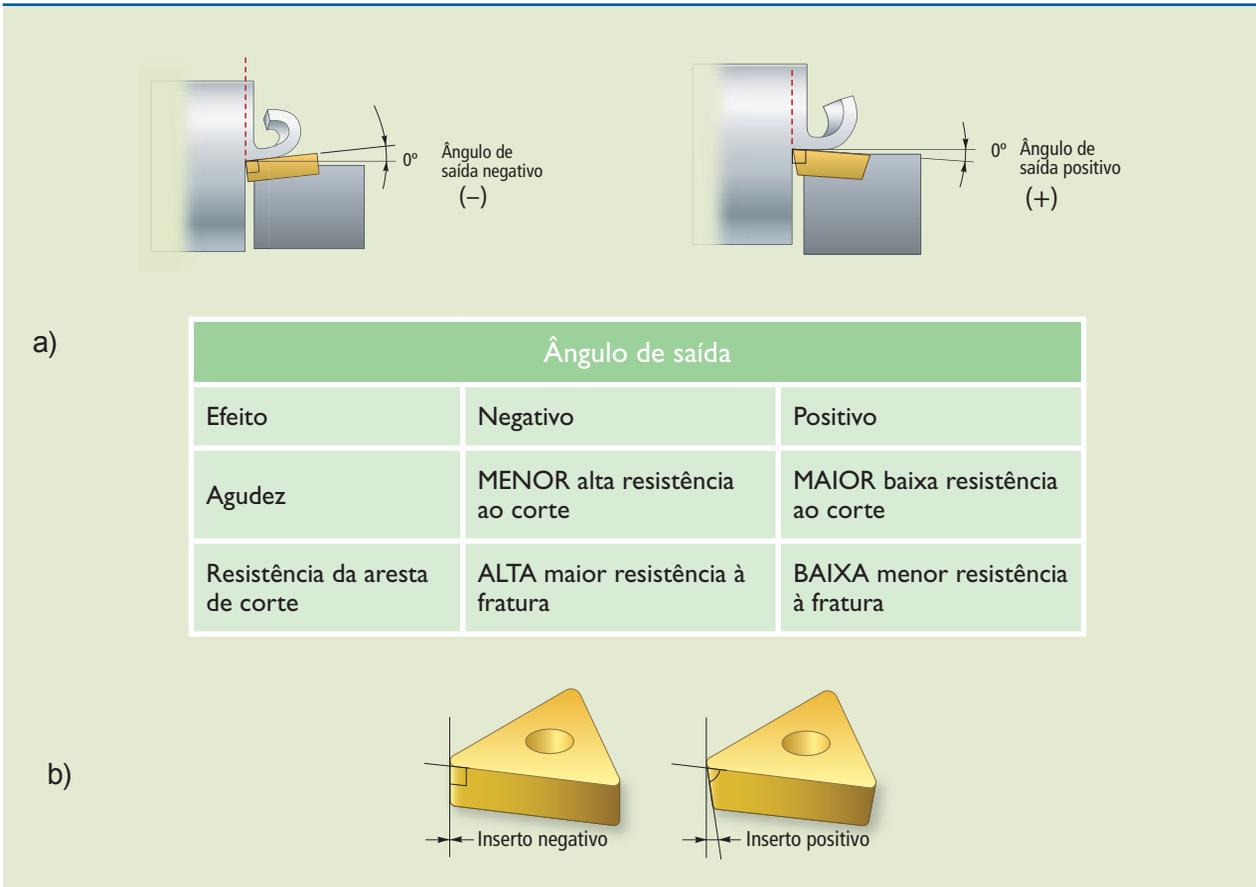


Figura 8.28

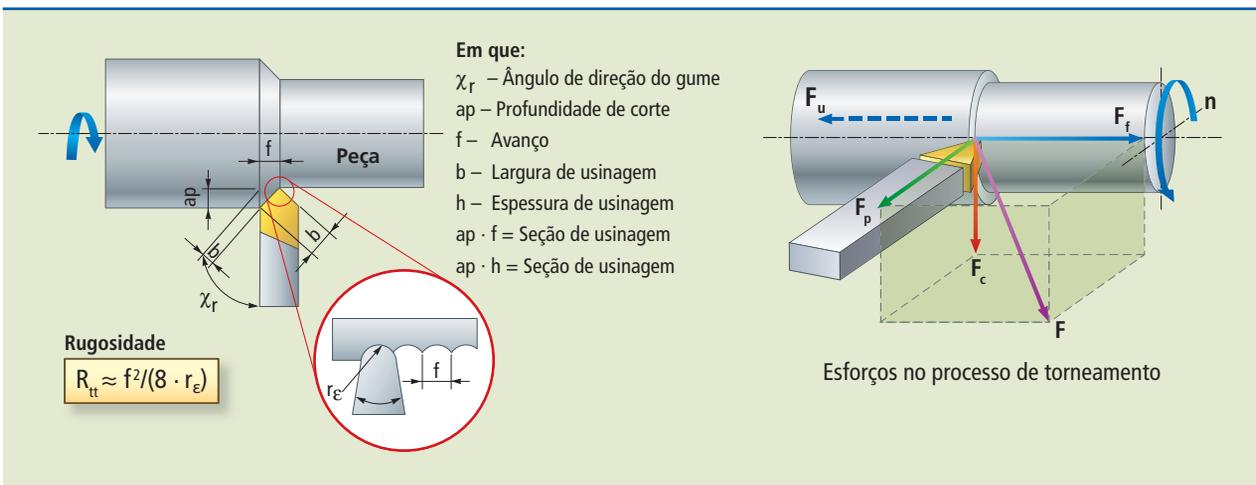
a) Ângulos de saída positivo e negativo e seus efeitos;
 b) inserto positivo e negativo.

8.7 Cinemática do torneamento

A figura 8.29 mostra os esforços que aparecem no processo de torneamento.

Figura 8.29

Esforços no processo de torneamento.



Solicitações na cunha de corte – forças na usinagem

A força de usinagem (F_u) depende de condições de corte (f , vc , ap), geometria da ferramenta, desgaste da ferramenta, uso de refrigerantes e outros.

Esforços no processo de torneamento

F_c = força de corte; F_f = força de avanço; F_p = força passiva.

A força de corte é o principal fator no cálculo da potência necessária de usinagem. Sua magnitude depende principalmente do material a ser usinado, das condições efetivas de usinagem, da seção de usinagem e do processo.

A equação fundamental da força de corte, também denominada de equação Kienzle, relaciona as constantes do processo de usinagem com o material a ser usinado.

8.8 Requisitos de potência para o torneamento

É necessário que a potência de corte seja menor do que a potência disponível no motor da máquina. Caso ela seja igual ou maior, o eixo-árvore da máquina deixará de girar pela sobrecarga, danificando a ferramenta. Dessa forma, calcula-se a potência de corte no torneamento pela expressão a seguir, válida para ângulo de posição de 90°:

$$P_c = \frac{K_s \cdot av \cdot ap \cdot V_c}{4500 \cdot \eta}$$

em que:

P_c = potência de corte (CV)

K_s = pressão específica de corte (kgf/mm^2)

ap = profundidade de corte (mm)

av = avanço (mm/rpm)

V_c = velocidade de corte (m/min)

η = rendimento. Exemplo:

transmissão direta = 0,9

transmissão por correia = 0,75

Os valores de K_s são determinados em laboratório. Existe uma lista extensa para cada tipo de material e, ainda, fatores diversos de correção da força de corte e potência de corte (P_c). A tabela 8.3 mostra alguns valores de K_s para o cálculo da potência de corte (N_c).

8.9 Considerações importantes

A **velocidade de corte**, o **avanço** e a **profundidade de corte** são os parâmetros que afetam a taxa de material removido e a vida da ferramenta. Um aumento deles aumenta a taxa de remoção de material, mas diminui a vida da ferramenta.



Tabela 8.3Valores de K_s para o cálculo da potência de corte.

Material	Resistência a tração kg/mm ² Dureza BRINELL		“ K_s ” em kg/mm ²			
			Avanço em mm/rotação			
	kg/mm ²	HB	0,1	0,2	0,4	0,8
SAE 1010 a 1025	Até 50	Até 140	360	260	190	136
SAE 1030 a 1035	50 a 60	140 a 167	400	290	210	152
SAE 1040 a 1045	60 a 70	167 a 192	420	300	220	156
SAE 1065	75 a 85	207 a 235	440	315	230	164
SAE 1095	85 a 100	235 a 278	460	330	240	172
Aço fundido mole	30 a 50	96 a 138	320	230	170	124
Aço fundido médio	50 a 70	138 a 192	360	260	190	136
Aço fundido duro	Acima de 70	Acima de 192	390	286	205	150
Aço Mn-Aço Cr-Ni	70 a 85	192 a 235	470	340	245	176
Aço Cr-Mo	85 a 100	235 a 278	500	360	260	185
Aço de liga mole	100 a 140	278 a 388	530	380	275	200
Aço de liga duro	140 a 180	388 a 500	570	410	300	215
Aço inoxidável	60 a 70	167 a 192	520	375	270	192
Aço ferramenta (HSS)	150 a 180	415 a 500	570	410	300	215
Aço manganês duro			660	480	360	262
Ferro fundido mole		Até 200	190	136	100	72
Ferro fundido médio		200 a 250	290	208	150	108
Ferro fundido duro		250 a 400	320	230	170	120
Fofo maleável (temp)			240	175	125	92
Alumínio		40	130	90	65	48
Cobre			210	152	110	80
Cobre com liga			190	136	100	72
Latão		80 a 120	160	115	85	60
Bronze vermelho			140	100	70	62
Bronze fundido			340	245	180	128

A **profundidade de corte** (a_p) é o parâmetro que menos afeta a vida da ferramenta. Aumentos de 50% na a_p reduzem em cerca de 15% a vida da ferramenta. Aumentar a a_p é o melhor método para aumentar a taxa de remoção de material. Os fatores limitantes ao aumento da profundidade de corte são:

- quantidade de material a ser removido;
- potência disponível na máquina e rigidez do sistema máquina-peça-ferramenta;
- capacidade da ferramenta;
- acabamento superficial, forma da peça e precisão requerida.

Avanço – tem grande efeito sobre a vida da ferramenta, pois 50% de aumento na taxa de avanço provoca redução de até 60% na vida da ferramenta. Aumentos no avanço são limitados pela máquina-ferramenta, dados técnicos da peça, requisitos de qualidade superficial e rigidez para suportar as forças de corte.

Acabamento superficial – o avanço tem o maior impacto sobre a qualidade superficial. O aumento no raio de quina ou redução no avanço melhora a qualidade da superfície. Selecionar o avanço (produtividade/vida) coerentemente é importante, tanto quanto selecionar o raio de quina corretamente, visando a rugosidade necessária.

Velocidade de corte (V_C) – tem o maior efeito sobre a vida da ferramenta. A seleção da V_C é crítica. No geral, 50% de aumento na velocidade de corte resulta em 90% de perda na vida da ferramenta. Um aumento na V_C é o meio menos desejável para aumentar a produtividade. Materiais de corte como metais duros revestidos, cerâmicas, diamante policristalino e CBN têm boas propriedades a altas velocidades de corte. Uma alta V_C pode gerar problemas de vibração, reduzir a vida de componentes da máquina e colocar em risco a segurança. É recomendável avaliar com o fabricante da ferramenta qual a melhor V_C para a aplicação desejada.

Criteriosas considerações devem ser feitas a respeito de aumentos na produção e custos por peça. Recomenda-se fazer alteração em um parâmetro por vez quando for solicitado mudar as condições de produtividade e vida da ferramenta, para saber qual parâmetro está realmente influenciando no resultado final.

Para o cálculo da rpm, usar:

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

em que:

V_C = velocidade de corte (m/min)

D = diâmetro de torneamento (mm)

π = 3,14 (constante)

N = rotação do eixo-árvore (rpm)



Para o cálculo da velocidade de avanço (V_A) em torneamento, usar:

$V_A = f \cdot \text{rpm}$, com $V_A = \text{mm/min}$; f é o avanço da ferramenta em mm por rpm.

O cálculo do tempo (t) de usinagem, em minutos, é dado pelo espaço percorrido pela ferramenta em milímetros dividido pela velocidade de avanço:

$$t = \frac{\text{espaço (mm)}}{V_A}$$

Ao trabalhar no torno mecânico ou CNC, o operador deve estar plenamente capacitado para trabalhar com a máquina-ferramenta. Precisa usar os EPIs de forma adequada, não manusear os cavacos e verificar as condições de uso em geral, evitando assim acidentes.

