

COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO:

PRINCIPAIS COMPONENTES

1 MÁQUINA OPERATRIZ COM COMANDO NUMÉRICO

Para muitos fabricantes de bens de consumo, a manufatura e a montagem flexível é o único meio no qual eles podem competir eficientemente no mercado com uma grande variedade de produtos. Isto ocorre porque os consumidores têm buscado cada vez mais variedades de produtos feitos sob medida para as suas necessidades em vez de produtos produzidos em massa. Tais produtos variados não podem ser mais produzidos através dos métodos tradicionais de produção em massa, e neste caso sistemas flexíveis de produção são necessários. Sistemas Flexíveis de Manufatura e Montagem normalmente consistem de várias máquinas individuais programáveis que podem fabricar um dado produto de acordo com a demanda.

Equipamentos de manufatura e montagem, em conjunto com equipamentos de transporte e manuseio, formam os ingredientes para o suporte à produção integrada. Hoje, tais equipamentos caracterizam-se pelo princípio do comando numérico.

O comando numérico pode ser utilizado em qualquer tipo de máquina-ferramenta. Tem aplicação nas máquinas de maior versatilidade de operações de usinagem, como tornos, fresadoras, mandriladoras e centros de usinagem. Componentes importantes de uma máquina-ferramenta com comando numérico incluem: componentes mecânicos, o controle, os acionamentos e os sistemas de medição. Parâmetros para movimentos tais como, posições, trajetórias, velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, forças e momentos, podem ser ajustados automaticamente usando-se o controle por computador.

Para que a máquina CNC possua as características necessárias para permitir grande produção e precisão dimensional das peças usinadas, sua construção deve atender requisitos importantes de alta rigidez, absorção de vibrações, baixo atrito e precisão de movimentos.

Nas próximas seções, uma descrição dos componentes mecânicos, dos acionamentos e do controle da máquina CNC são apresentados. Como muitos componentes, como barramentos, eixo e transmissões de movimentos, entre outros, são semelhantes nos diversos tipos de máquinas, um torno CNC será tomado como exemplo e as características e propriedades analisadas em cada componentes podem ser generalizadas para os demais

tipos de máquinas com comando numérico. No entanto, alguns componentes são típicos de tornos e diferentes de outras máquinas ferramentas, necessitando detalhes adicionais. A

Figura 1 mostra um torno CNC ROMI, seus principais componentes mecânicos, acionamentos e o painel do controle da máquina.

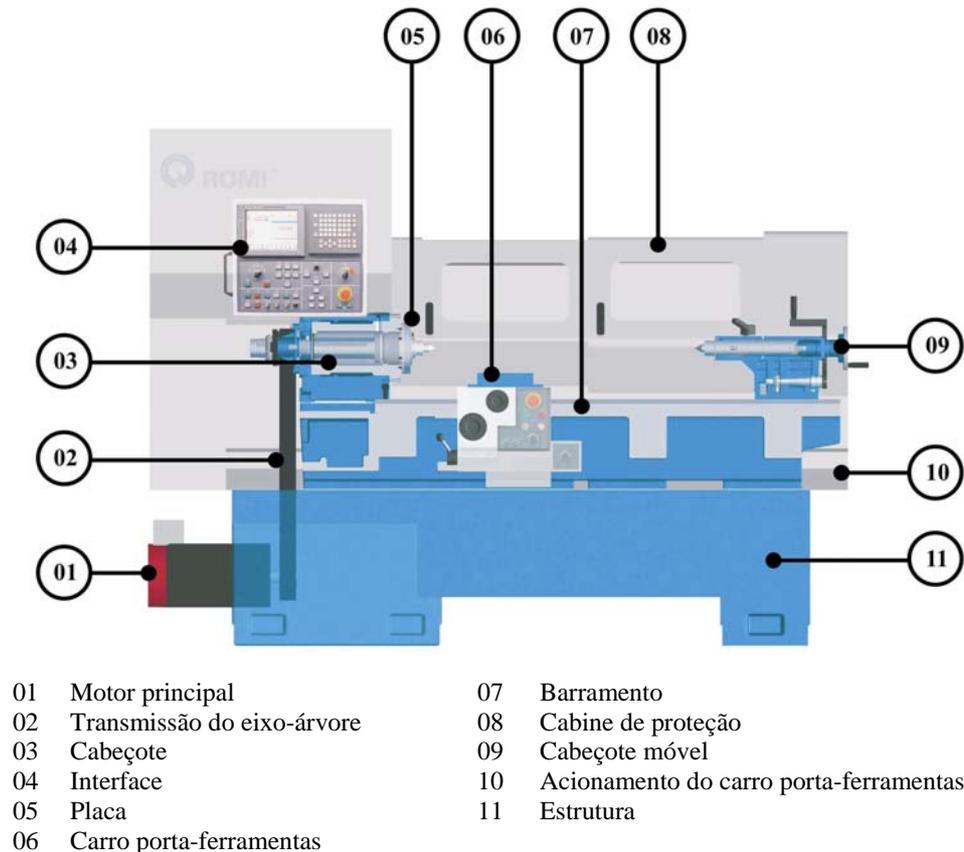


Figura 1. Torno CNC ROMI

1.1 COMPONENTES MECÂNICOS DE UMA MÁQUINA CNC

1.1.1 Guias e Barramentos

Os barramentos são elementos de vital importância em uma máquina operatriz, pois determinam toda a precisão geométrica da máquina. Cabe a eles a responsabilidade de sustentar os carros porta-ferramentas e orientar seus deslocamentos.

Várias formas de guias e barramentos já foram utilizadas, sempre visando reduzir o atrito e o desgaste. Com a utilização das máquinas CNC, o problema complicou-se, pois

além do problema do desgaste, o problema do atrito no deslocamento dos carros porta-ferramentas tornou-se ponto crítico pelo efeito “*stick-slip*”. O efeito “*stick-slip*” é observado quando há mudança de posição alternando entre deslizamentos (“*slip*”) e paradas (“*stick*”) e ocorre em movimentos de translação ou rotação com baixa velocidade. Em velocidades pequenas (5 a 20 mm/min), a película de óleo lubrificante é rompida e ocorre atrito estático. Os elementos de transmissão (correias e fusos) possuem comportamento elástico e se deformam quando o motor é acionado. Uma força elástica crescente é aplicada sobre o carro até que o atrito estático seja superado. O movimento acontece e a força de atrito que se opõe ao movimento diminui (o atrito passa a ser cinético), diminuindo a deformação dos elementos de transmissão de forma a diminuir a força aplicada. Isso provoca uma nova parada do carro, restabelecendo-se o atrito estático. Novos deslizamentos e paradas podem se repetir, proporcionando erros e defeitos de usinagem.

Cabe salientar que o efeito “*stick-slip*” ocorre na usinagem de peças com arestas arredondadas, uma vez é realizada pela composição de movimentos de mais de um carro (este tipo de geometria de peça, geralmente, necessita baixa velocidade em algum carro para ser usinada).

A escolha de materiais adequados, tais como uma camada de resina sintética de baixo coeficiente de atrito (Turcite) e baixo desgaste (Figura 2), ou aditivos no óleo (bissulfeto de molibdênio) podem ajudar na solução do problema. Outra solução é o uso de guias de baixo atrito e reduzido desgaste como as guias de rolamentos (Figura 3) e guias hidrostáticas. Estas estratégias para construção de guias e barramentos reduzem a potência dos servomotores para acionamento dos carros porta-ferramentas. Nos barramentos cilíndricos é injetado entre a guia e o corpo a ela ligado, óleo sob pressão, este sistema é denominado de “cama hidrostática” ou “barramento hidrostático”, e reduz a força de atrito a quase zero.

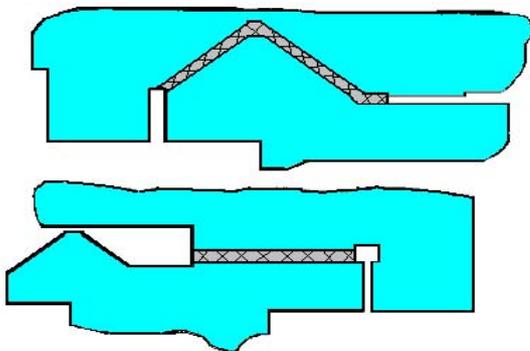


Figura 2. Barramento revestido com Turcite

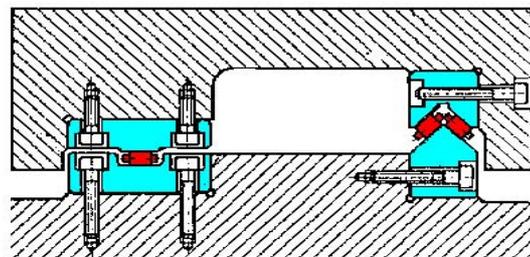


Figura 3. Barramento revestido com Turcite

Para o amortecimento de vibrações são adotados barramentos de alta rigidez construídos em ferro fundido e em alguns casos com enchimento de concreto ou areia do macho de fundição.

1.1.2 Meios de Fixação de Peças e Ferramentas

A fixação de peças em torno CNC através de placa com 3 castanhas podem ser acionadas de forma manual (Figura 4) ou de forma automática com abertura e fechamento através de comando contido no programa CNC. Quando necessário, também podem ser programados posicionamentos da contra-ponta, avanço e retrocesso do mangote e luneta, para uma melhor fixação (Figura 5).

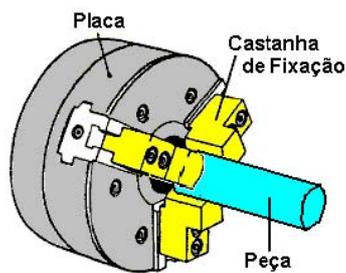


Figura 4. Placa com fixação manual da peça

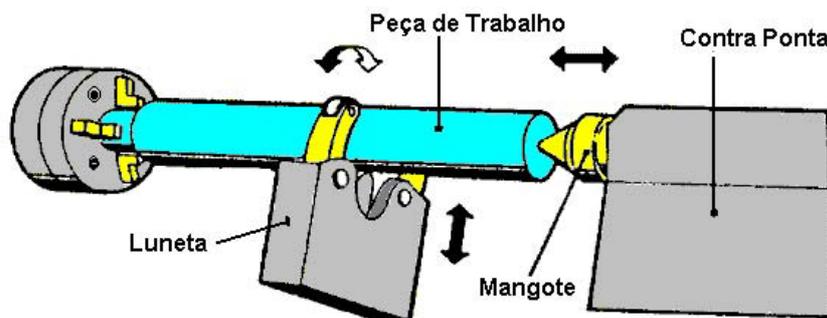


Figura 5. Fixação placa / contra-ponto com apoio de luneta

Em breve, outros meios de fixação de peças e ferramentas.

1.1.3 Dispositivos de Troca de Ferramentas

Nos processos de usinagem, poucas as peças podem ser usinadas com uma única ferramenta. Por este motivo, o sistema de troca de ferramentas em máquinas CNC vem sendo otimizado pelos fabricantes.

Nos tornos CNC a troca de ferramentas pode ser realizado automaticamente. Numa forma de minimizar os tempos passivos durante a execução de um trabalho pode-se utilizar um suporte porta-ferramentas capaz de fixar várias ferramentas. Neste sistema, a troca das ferramentas utilizadas é comandada pelo programa CNC, necessitando apenas dos posicionamentos corretos das ferramentas, evitando assim as paradas no programa para eventuais trocas manuais das mesmas.

Os tornos possuem dispositivos de concepções que se diferenciam em função da quantidade de ferramentas a serem usadas.

Podemos assim destacar alguns desses dispositivos:

- *GANG TOOLS*: dispositivo dotado de rasgos T para posicionamento dos suportes de ferramentas, oferecendo flexibilidade de montagem de ferramentas para múltiplas aplicações;
- Torre elétrica: Neste sistema a troca automática de ferramentas é realizada através do giro da mesma que é comandado pelo programa CNC, deixando a ferramenta na posição de trabalho;
- Revolver: No sistema de revolver a troca é realizada com o giro ou tombo do mesmo, que também é comandado pelo programa CNC, até que a ferramenta desejada fique na posição de trabalho.
- Magazine: No sistema magazine de modo geral, a troca de ferramentas é realizado por um braço com duas garras. O programa posiciona a próxima ferramenta do magazine que entra em ação e interrompe a usinagem. Um braço com duas garras entra em ação, tirando de um lado a nova ferramenta do magazine e do outro lado a ferramenta que estava operando na árvore principal da máquina. As posições das ferramentas se invertem pelo giro de 180 graus do braço de garras o qual logo após introduz as ferramentas em seus lugares e são de modo geral comandados com lógica direcional.



Figura 6. Porta-ferramentas tipo GANG TOOLS

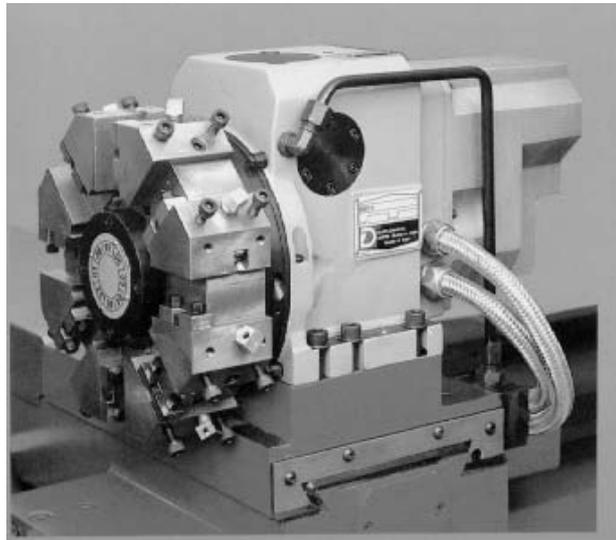


Figura 7. Torre elétrica

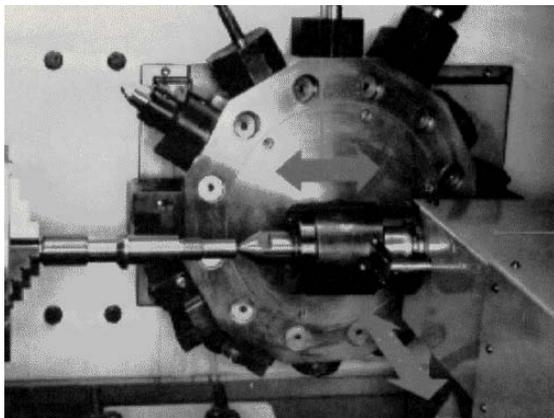


Figura 8. Porta-ferramentas tipo revólver

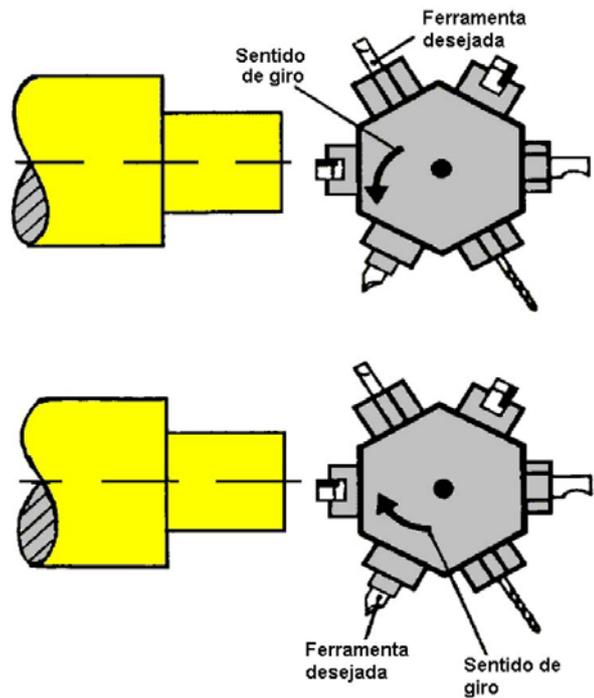


Figura 9. Funcionamento do Porta-ferramentas tipo revólver

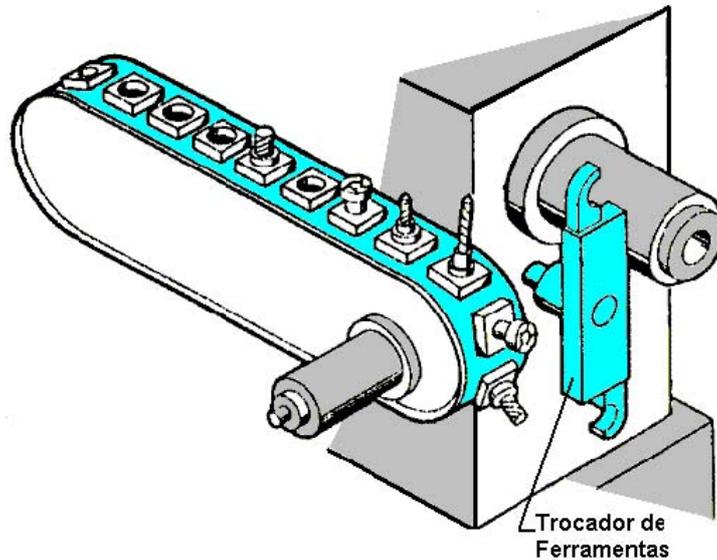


Figura 10. Magazine de ferramentas

1.1.4 Sistema de Refrigeração e Transporte de Cavaco

Como as máquinas CNC podem operar com altas velocidades de corte, é necessário um sistema que possibilite refrigerar, lubrificar e auxiliar na remoção dos cavacos.

Algumas máquinas apresentam sistemas de ferramentas onde o fluido refrigerante é conduzido através de canais no interior do suporte porta-ferramentas (Figura 11). Algumas outras utilizam mangueiras flexíveis (Figura 12).

Quando o fluido refrigerante incide sobre a peça e ferramenta provoca uma grande quantidade de respingos. Por este motivo, muitas máquinas CNC são equipadas com portas protetoras contra respingos e que também protegem contra o arremesso de cavacos ou partes que possam ser quebradas durante a usinagem, aumentando a segurança de trabalho.

Uma outra solução o problema de refrigeração da usinagem é a utilização de ar comprimido. Ao direcionar um jato de ar para a ponta da ferramenta, a temperatura é reduzida e evita-se a contaminação do ambiente pelos fluidos refrigerantes.

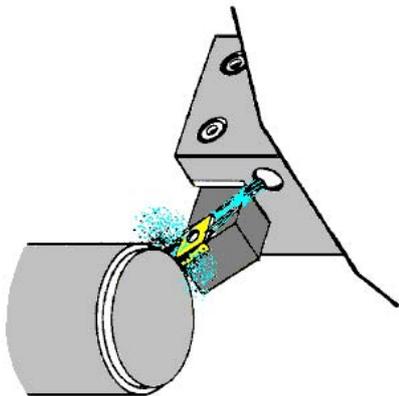


Figura 11. Fluido refrigerante conduzido através do porta-ferramentas

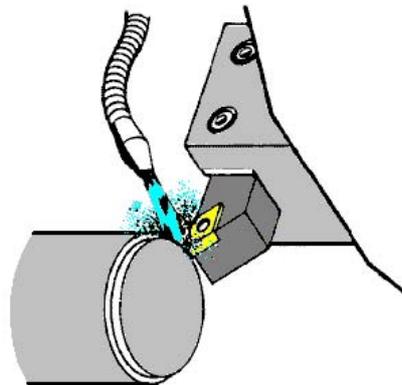


Figura 12. Fluido refrigerante conduzido através de mangueiras flexíveis

A maioria das máquinas CNC pode ser equipada com transportador automático de cavacos. O transportador, que é muitas vezes acionado por um comando no programa de usinagem, é fundamental para retirar o de cavaco acumulado na máquina, permitindo um trabalho contínuo sem necessidade de interrupção da usinagem.

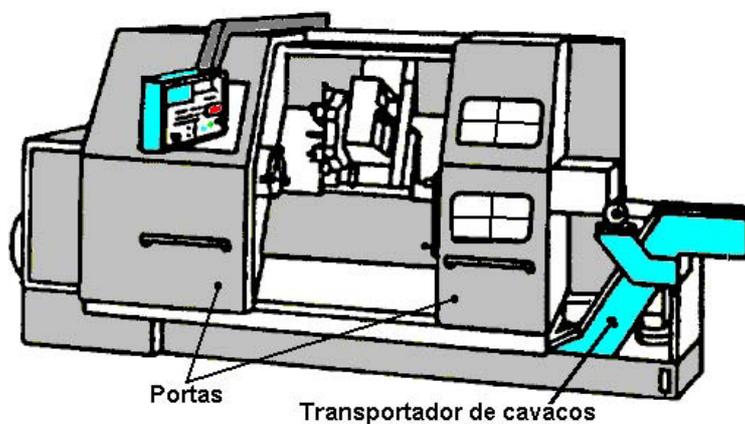


Figura 13. Transporte de cavacos

1.2 ACIONAMENTO DA MÁQUINA CNC

1.2.1 Motor de Acionamento do Eixo-Árvore

As transmissões de rotação para a peça nos tornos e para a ferramenta nas fresadoras são realizadas pelo eixo-árvore. O acionamento da árvore é realizado através de um motor de corrente alternada, de corrente contínua. A Figura 14 o acionamento do movimen-

to de corte realizado pela peça em um torno e na Figura 15 o acionamento do movimento de corte realizado pela ferramenta em uma fresadora.

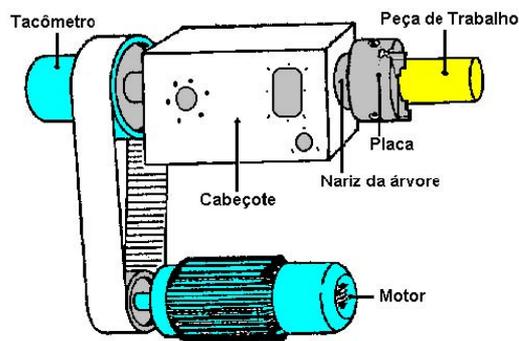


Figura 14. Motor de acionamento do eixo-árvore de um torno

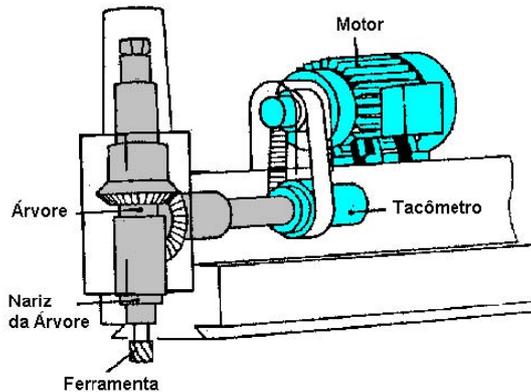


Figura 15. Motor de acionamento do eixo-árvore de uma fresadora

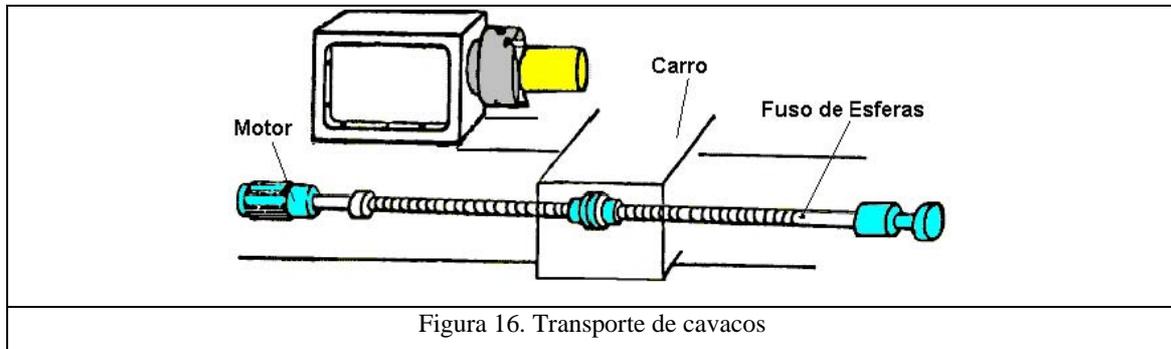
Quando o acionamento é feito por motor de corrente alternada se utilizam inversores de frequência para realizar o controle da rotação da peça.

Quando as árvores principais das máquinas CNC são acionadas por motores de corrente contínua, o controle da rotação pode ser realizado através de controle da tensão ou pela utilização de um circuito eletrônico chamado PWM (*Pulse Width Modulation* ou Modulação por Largura de Pulso). O PWM é uma forma de controle de tensão de alimentação do motor CC por recorte de tensão, onde tiristores ou transistores de potência do circuito eletrônico do PWM são ligados ou bloqueados de modo a obter na saída o valor de tensão desejada. A principal vantagem da utilização destes circuitos em relação a alimentação do motor CC com tensão variável é que se pode produzir baixas rotações com torque elevado.

1.2.2 Motor de Acionamento dos Fusos

Os movimentos de avanço devem ser realizados de forma a gerar a geometria desejada da peça atendendo exigências de uniformidade de movimentos e de rapidez de reação na alteração de velocidades. A interferência de forças externas, como a força de corte e de atrito, provoca erros nos movimentos dos carros. Isso aumenta a dificuldade do controle dos movimentos pelo CN e de acionamento dos motores.

Em geral são utilizados motores de corrente contínua para o acionamento dos avanços, que são regulados por um circuito de potência e podem acionar ou frear em ambas as direções de movimento (Figura 16).



Em máquinas CNC de concepção simples e menores exigências de precisão são utilizados motores de passo nos acionamentos do avanço. Para usinagem em altas velocidades é necessário um elevado torque de partida e de freagem, não sendo possível segurança no número de passos. Portanto sua aplicação é restrita a pequenos torques.

São adotadas medidas eletrônicas de segurança adicionais para se evitar sobrecarga do motor devido:

- Gume de corte da ferramenta gasto;
- Picos de carga durante a aceleração e a desaceleração;
- Bloqueio do movimento do carro.

1.2.3 Transmissão de Movimento por Fuso de Esferas Recirculantes

Durante a usinagem de peças nas máquinas operatrizes são realizados movimentos de peças, ferramentas e carros. O sistema de transmissão de movimento para os carros porta-ferramentas é o sistema de fuso e porca, que permite converter a rotação de um motor em um movimento linear. O conjunto parafuso/porca de rosca trapezoidal utilizado em máquinas convencionais possui o inconveniente de introduzir baixo rendimento à transmissão por efeito do atrito gerado no contato da rosca do parafuso e da porca. A perda de energia provocada por este componente é incompatível com a aplicação em CNC e as precisões de usinagem requeridas. A folga no conjunto parafuso/porca também deve ser levada em conta

quando se inverte o sentido de deslocamento, pois pode provocar imprecisão e até ruptura de ferramentas.

Numa máquina convencional corrige-se essa folga manualmente e o motor tem potência suficiente para compensar as perdas de energia provocadas pelo atrito, mas numa máquina CNC isso não é aceitável. As máquinas automáticas devem inverter o sentido de deslocamento dos carros porta-ferramentas com velocidades altas e baixas com acelerações e desacelerações adequadas ao processo de produção. Por isso, os sistemas parafuso/porca clássicos não são aplicados nos sistemas de transmissão das máquinas CNC.

Pelos motivos expostos anteriormente, mesmo sendo onerosos, os sistemas parafuso/porca com esferas, chamados de fusos de esferas recirculantes (Figura 17), substituem a transmissão convencional utilizando o mesmo tipo de montagem na máquina (ver Figura 16).

Como num rolamento que possui esferas entre os anéis interno e externo, um fuso de esferas recirculantes transmite a rotação do parafuso para a porca através de esferas (Figura 17). Isso permite transformar o atrito de deslizamento (atrito cinético) das roscas parafuso-porca num atrito de rolamento (atrito estático).

Algumas vantagens dos fusos de esferas recirculantes são:

1. Alto Rendimento: A redução de atrito possibilita um rendimento mecânico em torno de 90%;
2. Movimento Regular: Os fusos de esferas possuem movimento regular também a rotações muito baixas, eliminando possíveis trepidações (efeito “*stick-slip*”) características dos fusos de rosca trapezoidal;
3. Folga Axial Zero: A alta eficiência do contato por esferas permite pré-carga reduzindo bastante a folga axial;
4. Maior velocidade permitida: Os fusos de esferas permitem maior velocidade de rotação e possuem ponto de velocidade crítica muito superior aos fusos trapezoidais.
5. Maior vida útil: Os sistemas com fusos trapezoidais necessitam de mais intervenções de manutenção devido ao aparecimento de folga;
6. Repetibilidade de posição: A redução de desgaste por atrito e as folgas muito pequenas permite a repetibilidade de posicionamentos requeridos em certas máquinas de alta precisão;

7. Mínima Lubrificação: Os fusos de esferas eliminam a necessidade constante de lubrificação, característica dos fusos de rosca comum (trapezoidal). A lubrificação é feita somente na montagem da máquina conforme instrução dos fabricantes.

A empresa NSK, um dos fabricante de destes tipos de fusos, produz porcas com sistema de recirculação dos seguintes tipos (Figura 18): por tubos, defletores e “*end cap*”. O sistema mais comum para os fusos NSK é o de recirculação por tubos, suas principais vantagens são baixo custo e alta rigidez.

De acordo com a empresa NSK um dos fabricante de destes tipos de fusos, a folga pode ser reduzida utilizando (Figura 19): porca dupla com espaçadores, porca simples com “*off set*” no passo e interferência das esferas. Assim, pode-se atingir assim uma alta precisão e repetibilidade nos movimentos dos carros.



Figura 17. Fusos de esferas recirculantes (NSK)

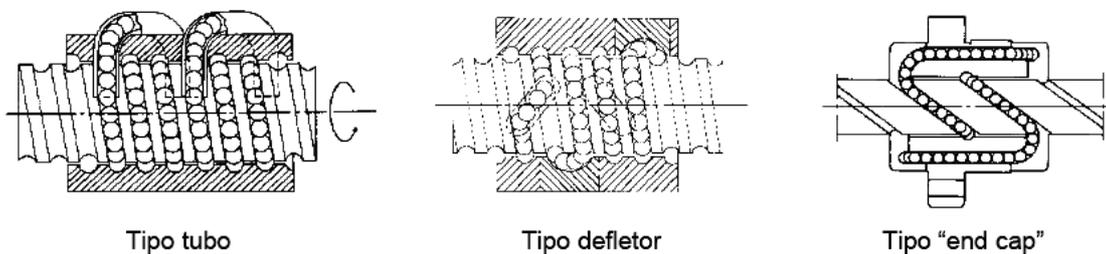


Figura 18. Tipos de recirculação de esferas (NSK)

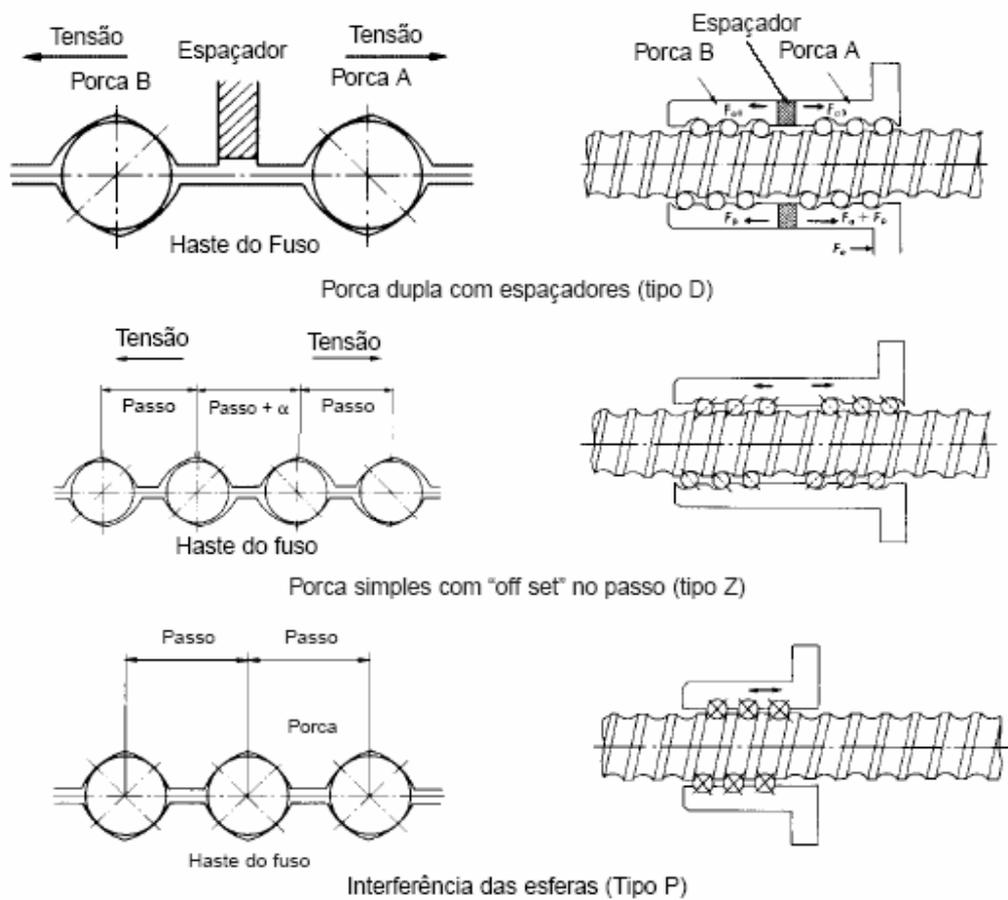


Figura 19. Detalhe da porca de um fuso de esferas recirculantes

1.2.4 Transmissão de Movimento por Correias e Polias

Em breve, meios de transmissão de movimento por correias e polias.

Em máquinas CNC é comum a aplicação de correias do tipo sincronizadoras...

1.3 CONTROLE DA MÁQUINA CNC

Na sequência, texto não revisado e não formatado...

1.3.1 CN – Comando Numérico

O comando (controle) numérico (CN) pode ser definido como o controle de máquinas ferramentas pela interpretação de instruções codificadas na forma de números e letras. O sistema interpreta os dados programados e gera o sinal de saída que controla os componentes de acionamento de movimentos da máquina.

Em breve, mais detalhes sobre a estrutura de comandos numéricos.

1.3.2 Sistema de Medição da Máquina

A medição das posições dos carros pode ser direta ou indireta e isso pode ser facilmente identificado pelos componentes montados na máquina CNC.

- **Medição Direta**

Quando a medição for direta, utiliza-se uma escala e um receptor/emissor, que são fixados, um no carro e outro no corpo da máquina (figura abaixo). Imperfeições nos eixos e nos acionamentos não influenciam nos resultados das medições. O sistema óptico de medição faz a leitura das divisões da escala de medição e transforma esta informação em sinal elétrico que é enviada ao comando.

- **Medição Indireta**

Na medição indireta de posicionamento o curso do carro é tomado pelo giro de um eixo (fuso) de esferas recirculantes.

O sistema de medição é rotativo e registra o movimento de giro de um disco de impulso, que está montado no eixo de esferas recirculantes (Figura abaixo), onde o comando, levando em conta o passo do eixo de esferas recirculantes, transforma os impulsos de giro em deslocamento do carro.

Ainda em função dos tipos de escala adotada, diferencia-se a medição de posicionamento em absoluta ou incremental.

- **Medição Absoluta**

Na medição absoluta é utilizada uma escala de medição codificada, (em breve inclusão de figura), que a cada momento mostra a exata posição do carro com referência ao Zero máquina (o ponto zero máquina é um ponto de referência fixo na mesma, que define a origem de seu sistema de coordenadas). Importante é que o campo de leitura da escala de medição estende-se pelo campo total de trabalho.

A codificação da escala de medição é realizada em forma binária. Com isto, o comando pode em cada posição determinar um valor numérico correspondente.

- **Medição Incremental**

Na medição de posição incremental é utilizada uma escala de medição com uma simples régua graduada, (figura abaixo). Esta régua é composta de campos claros-escuros, cuja a leitura é efetuada pelo sistema de medição através do movimento de avanço do carro.

O sistema de medição conta cada número de campos claros-escuros, calculando assim a posição atual do carro pela diferença em relação à sua posição anterior.

Para este procedimento de medição funcionar, após se ligar o comando, o carro deve ser conduzido à uma posição cuja distância do ponto zero da máquina, seja conhecido, o que ocorre no referenciamento da máquina.

Após este procedimento, o sistema de medição pode utilizar a escala da régua graduada para realizar as medições de posicionamento.

A palavra "absoluto" em correspondência à medição de posicionamento, significa que os dados da posição são sempre mensuráveis independente da condição da máquina e do comando, pois eles sempre se baseiam em um ponto-zero fixo.

A palavra "Incremental" (incremento = a comprimentos iguais, pequenos percursos) significa, na medição de posicionamento, que são mensuráveis os aumentos e diminuições dos comprimentos dos cursos de movimento.

O comando conta para cada movimento o número de incrementos (por exemplo, traços divisórios), sendo que cada nova posição se diferencia da última.

Esses sistemas de medição, normalmente eletro-indutivo ou óptico, são de alta precisão, capazes de resistir ao ambiente industrial e às vibrações.

1.3.3 Painel de Comando

O comando CNC é um equipamento eletrônico, dotado de um processador ou mais de um, e de memórias de armazenamento, capaz de receber informações através de entrada própria de dados, processar e compilar estas informações, transmitindo-as em forma de impulsos à máquina ferramenta, gerando o movimento simultâneo dos eixos em combinação com seu sistema de medição e funções de programação, de modo que esta sem a intervenção do operador, realize as operações de usinagem na seqüência programada.

Os painéis de comando CNC diferem muito de um fabricante para o outro, porém alguns elementos são básicos entre eles, tais como:

- **Display / Vídeo**

Através do display é possível monitorar todo o Status da máquina, assim como efetuar e visualizar testes como os de análise de sintaxe e teste gráfico-dinâmico, dentre outros.

- **Teclado Alfa-numérico**

Através do teclado do comando é possível promover toda a entrada de dados necessária a execução de uma determinada peça, fazendo inserções de caracteres que viabilizam a edição de programas, as correções ou alterações de parâmetros etc..

- **Seletor de Variação**

Através dos Seletores de Variação é possível modificar (Diminuir / Aumentar) valores referentes ao Rpm ou Avanço programado, dentro de uma determinada faixa estipulada pelo fabricante.

- **Volante Eletrônico**

Através do volante eletrônico pode-se operar manualmente a movimentação dos eixos da máquina.

- **Teclas de Função**

As teclas de função são utilizadas quando da necessidade de aplicações específicas, tais como registros de parâmetros, inserções de correção de ferramentas, movimentações manuais e outras.

- **Botões de segurança / Chave geral**

Os botões de segurança têm por objetividade a preservação do equipamento. Quando pressionado causará a parada imediata dos eixos de movimento e de rotação da máquina.

- **Transmissão de Dados**

Índice

Uma vez de posse do programa CNC, pode-se transferir os dados de programação para o comando de várias maneiras, tais como: Através da inserção manual de dados (A); Através de Fitas perfuradas (B); Através de Fitas cassetes (Fitas magnéticas) (C); Através de Disquetes (D); Através da utilização de Cabo de comunicação RS232C (E), cuja evolução e desenvolvimento visou principalmente minimizar a margem de erros de digitação e tempos perdidos com a máquina parada para a inserção desses dados.

- **Inserção Manual de Dados**

A inserção Manual de Dados é o meio mais antigo de transmissão de dados, e consiste na digitação do programa, direto no comando da máquina. Este processo ainda é muito utilizado porém é onde ocorre o maior índice de erros, e maior tempo de máquina parada na inserção de dados, pois depende exclusivamente da habilidade de operador.

Fita Perfurada A Fita Perfurada foi uma evolução no sistema de transmissão de dados. Ela é constituída por uma fita de papel, perfurada por carreiras de 8 furos, que representam uma combinação binária de um determinado caractere (letra, algarismo, símbolos especiais etc.), que são interpretados pelo comando. Tais carreiras de furos são normalizadas através dos códigos ISO e EIA, que são normas internacionais, onde a diferença básica entre ambas está no número de furos de uma determinada linha da fita, no qual para o código ISO, temos um número par de furos e no código EIA temos, um número ímpar de furos em sua combinação.

Apesar da evolução este sistema ainda tinha alguns problemas, onde o principal é a necessidade de se adaptar ao comando um Leitor de Fita e de ter a máquina Codificadora / Perfuradora da Fita, o que acarreta em um maior custo à máquina CNC.

- **Fig. Leitor de Fita**

Fig. Perfurador / Codificador

- **Fita Magnética**

A inovação da Fita magnética na introdução de dados, se constituiu numa forma mais barata de introduzir dados no comando das máquinas CNC, porém não é um sistema muito seguro, pois, as fitas são muito suscetíveis à sujeira e a campos eletromagnéticos.

- **Disquete**

A implantação dos Drivers para Disquetes nos comandos foi um ponto alto na evolução da transmissão de dados, porém se tornaram incompatíveis quanto a capacidade de armazenamento, onde o disquete tinha uma capacidade muito maior em relação aos comandos existentes, tornando assim esse sistema ideal para ser instalado num escritório e não em uma máquina operatriz.

- **Cabos RS232C**

Dotadas de uma porta de comunicação serial, as máquinas CNC passaram a transmitir programas através de Cabos e Conectores RS232C, sendo necessário para isso apenas uma Interface de Comunicação Periférica (Software de Comunicação) e o meio físico adequado (Cabos, Configurações e Conexões), tornando-se um dos sistemas mais seguros e rápidos de comunicação de dados.