

Tecnologia de usinagem de moldes e matrizes ¹

José Moreira ²

Resumo

Uma das mais complexas aplicações da usinagem moderna, é a confecção de peças destinadas ao mercado de moldes e matrizes. A evolução das tecnologias de usinagem caminha em direção ao processo que une alta velocidade, elevada qualidade superficial, fidelidade do contorno desejado, associados a uma relação custo/benefício atraente. Atualmente, a usinagem em altas velocidades, também conhecida como “*high speed cutting*” ou “*high speed machining*”, é o processo mais moderno que consegue agregar todas as qualidades citadas acima. Porém, para que este método possa ser realmente utilizado, a estrutura mecânica, o ferramental, os componentes eletrônicos e os recursos de *software* de uma máquina operatriz, devem estar preparados para tal função. Em conjunto com estes recursos, outros estão se desenvolvendo para serem utilizados desde a criação e modelagem da peça a ser usinada, como exemplo: os programas de usinagem, gerados pelos sistemas CAD/CAM, compostos de curvas complexas e que antes eram constituídos de uma malha de pontos. É importante mencionar que esta tecnologia ainda está em desenvolvimento, e por isso, sofre alguma relutância em sua aplicação. Relutância semelhante à que houve no surgimento de máquinas operatrizes equipadas com comandos numéricos, cerca de quarenta anos atrás.

Palavras-chave

1. moldes e matrizes
2. comando numérico computadorizado
3. usinagem em altas velocidades
4. curvas complexas

¹ 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes

(21 à 23 de Setembro de 2004 – Espaço Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais)

² José Moreira é engenheiro de aplicação e suporte na unidade da SIEMENS de São Paulo (SP), e trabalha atualmente com sistemas de automação para máquinas-ferramenta

1. Introdução

O conceito de usinagem em altas velocidades – também conhecida como “*high speed cutting*” (HSC) ou “*high speed machining*” (HSM) – foi desenvolvido pelo Dr. Carl Salomon em 1931, com o intuito inicial de melhorar a precisão e a qualidade das peças usinadas, e que acabou também reduzindo o tempo de usinagem. A idéia consiste em aumentar a velocidade de corte, fazendo com que o calor gerado pelo atrito entre a peça e a ferramenta de trabalho seja dissipado juntamente com o material removido (cavaco formado). Desta forma, a peça não sofre nenhum tipo de deformação proveniente de variações térmicas, mantendo altos o seu grau de fidelidade e a qualidade de seu acabamento.

Mesmo com uma teoria simples, ainda hoje é difícil estabelecer uma regra única para determinar quando uma certa processo de usinagem pode ser considerada de altas velocidades. Sendo assim, alguns optam por basear-se nas velocidades de rotação da ferramenta, enquanto outros preferem relacionar o método com as velocidades de corte da usinagem. O importante é deixar claro que a HSC não possui uma fronteira em relação à usinagem convencional, e que, na verdade, se trata de um processo de fabricação onde diversos fatores a caracterizam.

A utilização da HSC teve seu início por volta de 1976, dentro da indústria aeroespacial, sendo que ainda hoje este é o ramo industrial que mais aplica este processo. Atualmente, esta tecnologia pode ser usada como critério de seleção para fornecimento de peças, o que ajuda a difundi-la e causa uma modernização em plantas fabris, que pode ser comparada à evolução gerada pelo surgimento dos comandos numéricos computadorizados (CNC), cerca de quarenta anos atrás.

As vantagens da HSC em relação à usinagem convencional não são apenas a redução do tempo de usinagem e qualidade das peças fabricadas, mas também a possibilidade de realizar trabalhos que os métodos normais jamais permitiriam, como por exemplo, a usinagem de paredes finas. Em alguns casos, processos antes realizados através de eletroerosão, estão sendo substituídos por usinagens em altas velocidades.

Outra aplicação onde a HSC está sendo muito aplicada é a indústria de moldes e matrizes. A exigência de superfícies com excelente acabamento, somada à necessidade de redução de tempo de usinagem criam o ambiente perfeito para a utilização deste processo.

Para a HSC, existem três parâmetros almejados durante a usinagem: a velocidade, a precisão e o acabamento. Na prática, é possível trabalhar bem com dois deles, porém o terceiro parâmetro poderá ser comprometido.

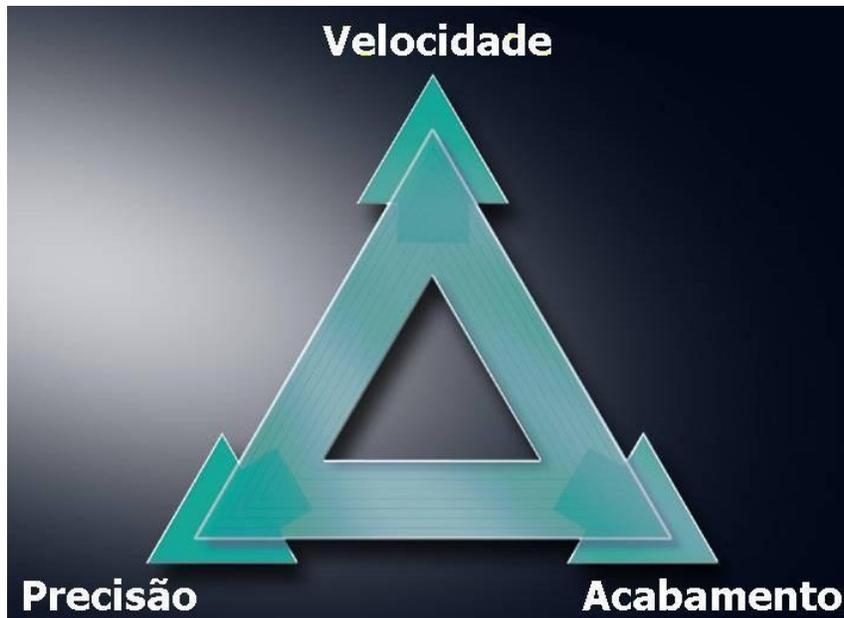


Figura 1 – Parâmetros da usinagem em alta velocidade

Graças a esta nova tecnologia de processo, se fez necessário também o desenvolvimento de itens essenciais para o aprimoramento da HSC. Todo o conjunto de equipamento mecânico e eletrônico, ferramental e os algoritmos (*software*) que compõe uma máquina operatriz tiveram que evoluir para poder usufruir, de forma máxima, da capacidade da HSC.

Entre outros, o CNC é um dos itens que mais sofreu evoluções tecnológicas focadas para a usinagem em altas velocidades, tanto em seu *hardware* quanto no seu *software*.

2. Evoluções do *hardware*

Grande parte dos recursos disponíveis nos CNC's atuais, só são possíveis graças a evolução que o seu *hardware* sofreu nos últimos anos. Alguns dos principais exemplos de inovações estão citados à seguir.

2.1. Processador do comando numérico (CNC)

Pode ser considerado o coração de uma máquina operatriz, pois é o responsável por toda a interpretação de programa, movimentação e interpolação dos diversos eixos, controle de variáveis internas, entre outras funções. Então, fica claro que a performance da máquina está diretamente ligada a este componente eletrônico. Atualmente é muito comum a utilização de processadores existentes no mercado, do mesmo tipo que equipa microcomputadores pessoais, e que evoluem muito rapidamente. Desta forma, a evolução destes equipamentos industriais acompanha a evolução do mercado de informática, o que pode ser observado com a existência de controles numéricos compostos de processadores com mais de 900MHz de frequência de trabalho.

Em outros casos, o processamento do CNC não é realizado em um processador específico, mas em um que compartilha sua performance com o controle de um microcomputador (industrial ou não). Isto ocorre em modelos de CNC cujo o algoritmo é executado como um simples *software* sobre uma plataforma conhecida (sistema operacional). Sendo assim, o mesmo processador deve controlar tanto os algoritmos dedicados ao funcionamento da máquina operatriz, quanto o funcionamento dos periféricos convencionais de um microcomputador: teclado, disco rígido, mouse, placa de vídeo, além de todo o *software* de interface homem-máquina. Com certeza, um CNC com processador exclusivo tende a ter um processamento mais rápido, sendo utilizado com maior frequência em aplicações que exigem uma performance mais elevada.

2.2. Processador do controlador lógico (CLP)

A função primária deste componente é controlar toda a interface da máquina com o meio externo, através de entradas e saídas, que podem ser digitais ou analógicas. Esta interface é responsável por todo o intertravamento relativo à segurança, liberações de movimento e demais funções que são diretamente relacionadas com o funcionamento da máquina operatriz, sendo assim, sua performance deve ser compatível com as velocidades e demais recursos aplicados pela usinagem em altas velocidades.

Atualmente estes processadores conseguem realizar uma operação binária em menos de meio milissegundo, permitindo que mesmo a máquina mais rápida possua condições de segurança suficiente para operação sem perigo.

2.3. Acionamentos digitais (*digital drives*)

Os antigos servoacionamentos, com interfaces analógicas (*setpoint*), não possuem todos os recursos necessários para fazer parte de uma máquina operatriz moderna, por isso, os atuais servoacionamentos digitais já são praticamente unanimidade entre os fabricantes de máquinas, mesmo que estas não possuam recursos para HSC.

A interface analógica (normalmente valores entre -10 e +10V) está sujeita a erros que podem comprometer a performance do trabalho, como as interferências eletromagnéticas ou erros de ajuste do valor zero (que causa o *drift*). Estes problemas não existem em servoacionamentos digitais, uma vez que a comunicação com o CNC se realiza-se através de barramentos ou redes de comunicação que trabalham com protocolos de informação digital. Mas este não é o único recurso que favorece aos novos equipamentos. Os servoacionamentos digitais possuem diversos recursos de *software* que podem ser utilizados durante um processo moderno.

Os servoacionamentos normalmente são responsáveis também pela aquisição de dados provenientes do encoder: velocidade atual e posição angular do motor. Hoje em dia, os equipamentos mais modernos conseguem realizar uma multiplicação interna da resolução real do sistema de medição, deixando a máquina ainda mais precisa.

2.4. Interface homem-máquina (IHM)

Como os programas de usinagem utilizados na fabricação de moldes e matrizes são extensos, é necessário que o comando numérico possua uma interface

amigável para o transporte deste imensos arquivos. Atualmente, o meio mais comum para transmissão de informações é a rede ethernet, e portanto passou a ser item fundamental em máquinas operatrizes que trabalham com programas de grande porte. Alguns dos modelos atuais utilizam discos rígidos (*hard disks* ou *HD*) e sistemas operacionais comerciais, como por exemplo, os sistemas Windows da Microsoft, facilitando o intercâmbio de informações entre diferentes plataformas. Além disto, o fato de trabalharem sobre uma plataforma difundida e conhecida, faz com que as interfaces homem-máquina existentes em máquinas operatrizes possam ser utilizadas como meio de programação, já que podem ser instalados aplicativos comerciais, como sistemas CAD/CAM.

O protocolo de comunicação ethernet é muito mais ágil e confiável do que o seu antecessor – o sistema serial RS-232 – mas ainda é muito comum a utilização desta interface serial em sistemas atuais. Contudo a tecnologia de rede vem substituindo-a por diversos motivos, como comprimento máximo dos cabos, velocidade de transmissão e padronização dos protocolos de comunicação.

Ou seja, até a interface homem-máquina, que às vezes é dispensável em uma máquina operatriz, pode ser responsável por melhorias no processo de fabricação de peças complexas para a indústria de moldes e matrizes.

2.5. Motores especiais

Com todo o avanço que o equipamento eletrônico vem sofrendo, também se tornou necessário o desenvolvimento de tecnologia para melhorar a performance dos servomotores, e com isso, novos conceitos de motorização foram criados. Os servomotores integrados, ou "*built-in*", são um exemplo. Estes servomotores são, normalmente, maiores do que os servomotores convencionais, porém possuem níveis de rotação (30.000 rpm) e de torque (1.200 Nm) muito superiores aos demais. Para suprir a deficiência causada pelo tamanho, a estrutura da máquina operatriz é utilizada como carcaça do estator e o eixo do seu rotor é vazado, portanto os componentes rotativos são acoplados através de interferência mecânica (dilatação térmica).



Figura 2 – Exemplos de servomotores *built-in*

Outro destaque de inovação tecnológica em motores de avanço, são os motores lineares. Ao contrário dos motores convencionais, estes servomotores não possuem nenhuma parte girante, mas deslizante. O seu "estator" é um barramento

retilíneo que pode chegar à grandes comprimentos, enquanto o seu “rotor” (chamado de “*slider*”) desliza sobre este barramento. Não há contato entre o barramento a parte deslizante, portanto a estrutura mecânica da máquina operatriz que o comporta deve ser precisa e extremamente bem alinhada, para que o espaçamento entre os componentes não ultrapasse mais do que 2 milímetros. As grandes vantagens deste modelo de motor são a altíssima velocidade de trabalho (cerca de 400 m/min), a elevada aceleração (até 450 m/s²) e a força que podem exercer (mais de 20.000N).



Figura 3 – Componentes (barramento e *slider*) de um servomotor linear

3. Evoluções do *software*

3.1. Tempo de processamento de bloco

Por mais moderno que seja o processador que esteja sendo utilizado em uma máquina operatriz, os recursos de programação devem contemplar comandos específicos para HSC. Portanto, não é viável utilizar programação em blocos de interpolação linear (p.ex.: gerada à partir de um sistema CAD/CAM convencional), pois a velocidade máxima de deslocamento dos eixos de avanço (velocidade de avanço) é diretamente proporcional à relação entre a distância entre os blocos de programa e o tempo de processamento de um bloco de instruções (tempo de ciclo). Ou seja, a seguinte fórmula deve ser considerada:

$$f = \frac{d \times 60}{t} \text{ m/min}$$

f = velocidade máxima de avanço (m/min)
 d = distância programada entre pontos (m)
 t = tempo de ciclo do CNC (s)

Em caso de ausência de informação direta, o tempo de ciclo do processador pode ser calculado através da mesma fórmula. Para isso é necessário gerar um programa com um número de linhas e distância entre blocos conhecidos e medir o seu tempo de execução. Os CNC's atuais possuem um tempo de ciclo que varia entre 1 e 20ms.

Já que o usuário não consegue melhorar o tempo de ciclo do processador, a velocidade de avanço pode ser incrementada se os blocos de programa possuírem uma distância maior entre si. Para realizar isto, os blocos com

interpolações lineares podem, e devem, ser substituídos por blocos com interpolações circulares, polinomiais ou serem constituídos de curvas complexas.

3.2. Cálculo de velocidade em blocos subsequentes

Este recurso é um dos mais utilizados para melhorar a performance de um CNC, no que diz respeito à velocidade e acabamento. Enquanto um determinado bloco está sendo executado, as próximas linhas do programa já estão sendo interpretadas e analisadas. Neste instante, o cálculo da velocidade máxima de avanço permitida é realizado, considerando-se que a fase de desaceleração pode ocorrer no término de um deslocamento contínuo. Com isso, o que antes era analisado como diversos blocos com pequenos deslocamentos, são interpretados como um único bloco de longo percurso. Portanto, a capacidade de carregar e interpretar linhas subsequentes do programa, também conhecida como “*Look Ahead*”, é uma ferramenta indispensável para que este cálculo possa ser realizado.

A função se torna mais visível quando são executados blocos com pequenos deslocamentos lineares numa mesma direção, como por exemplo, um trajeto descrito através de uma malha de pontos. Sem este recurso o CNC interpreta que o eixo deve acelerar no início e desacelerar no término de cada um dos blocos de avanço, fazendo com que a velocidade real de deslocamento seja muito baixa, além de criar marcas de usinagem. Com a utilização do *Look Ahead*, o CNC consegue aumentar a velocidade de avanço, por conseguir interpretar que a desaceleração não se faz necessária no término de cada bloco, mas sim, quando houver um parada de avanço, ou então, uma reversão no sentido da velocidade.

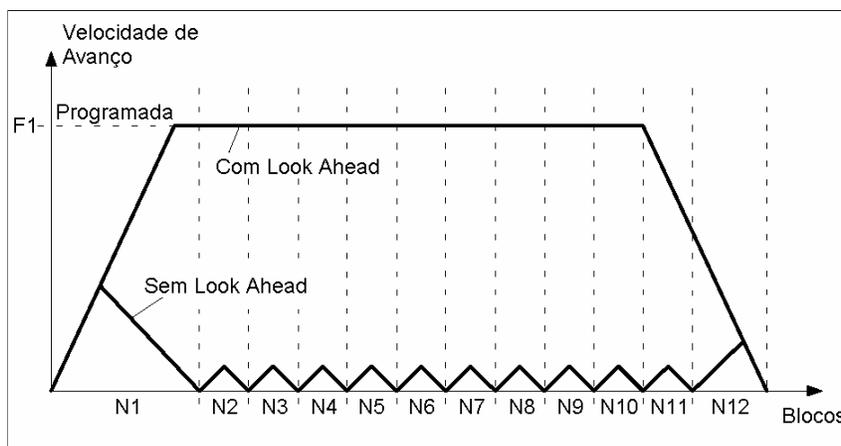


Figura 4 – Funcionamento da função *Look Ahead*

3.3. Modo de aceleração suave

Uma das principais causas de problemas com o acabamento final, são as marcas deixadas por vibrações provenientes das mudanças bruscas de velocidades entre blocos de programa. As velocidades variam rapidamente e com uma certa brutalidade graças às altas acelerações que as máquinas HSC devem desenvolver.

Com os intuitos de aumentar mais agilmente a velocidade e ganhar tempo de processo, as curvas de aceleração possuem rampas instantâneas. Estas rampas “verticais” geram curvas de velocidade com picos e vértices, que são alguns dos causadores de problemas com acabamento. Para prevenir estes problemas, as

curvas de aceleração devem ser modificadas quanto à sua forma, variando ao longo do tempo durante uma aceleração ou desaceleração. Assim, a forma das curvas deixa de ser quadrada e passa a ser trapezoidal, gerando transições suavizadas nos perfis de velocidade.

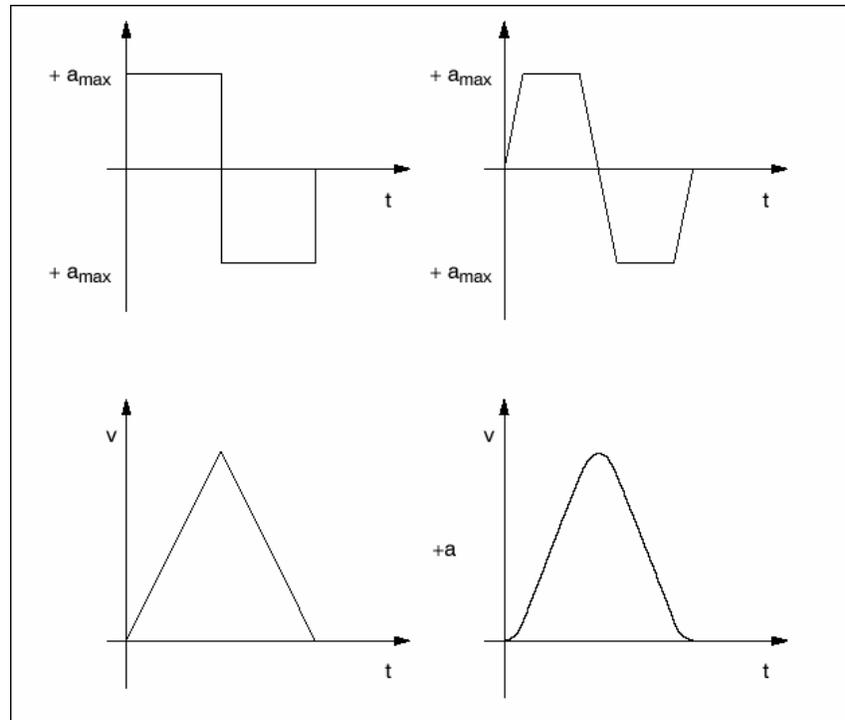


Figura 5 – Comportamento dos modos de aceleração

3.4. Funções polinomiais

Como visto anteriormente, uma das maneiras de evitar problemas com velocidade e acabamento durante a usinagem, é aumentar a informação fornecida ao CNC em um só bloco de programa. Normalmente, os blocos são compostos de interpolações lineares e/ou circulares, o que faz com que a velocidade de avanço esteja limitada. Como solução à este problema, os comandos numéricos modernos possuem sintaxes de programação em formato de polinômios, que já atingem o sexto grau.

Com este tipo de programação, os programas tendem a ser menos extensos, pois cada bloco indica o percurso de toda uma curva, e não de apenas um ponto. Desta forma, o CNC consegue absorver mais informações antecipadamente (com a função *look ahead*) e portanto permite que a velocidade de avanço seja elevada. Além disso, os problemas de acabamento, como facetas, são eliminados devido à suavização da transição de blocos.

Mas, como citado anteriormente, para melhorar a velocidade e o acabamento, o processo poderá perder na precisão do contorno. E isto acontece, pois nem sempre as curvas conseguem manter a total fidelidade da malha de pontos, utilizando então uma tolerância que pode variar de acordo com a necessidade. Portanto, quanto maior a tolerância admissível do contorno, mais facilmente podem ser encontradas curvas complexas que se encaixem no processo.

E quanto menor a tolerância, menor será a velocidade de avanço que o sistema conseguirá trabalhar, devido às pequenas curvas que satisfarão esta precisão.

3.5. Interpolações *SPLINE*

Como auxílio aos problemas encontrados em programas de malha de pontos, gerados manualmente ou por sistemas CAD/CAM, alguns comandos numéricos permitem que estes pontos sejam convertidos em curvas durante a sua própria execução. Uma das curvas mais comuns atualmente, são as conhecidas como *SPLINE*, que se baseiam em modelos matemáticos para gerar curvas através de uma malha de pontos, e que podem ser de três tipos: *AKIMA (A-SPLINE)*, *BEZIER (B-SPLINE)* ou *CUBIC (C-SPLINE)*. Estas adaptações matemáticas são diferentes entre si e possuem características específicas, que fazem com que cada uma delas seja melhor aplicada em diferentes processos.

A curva gerada com o modelo de *AKIMA* (polinômio de 3º grau) passa obrigatoriamente em todos os pontos fornecidos, porém a continuidade entre estes pontos não é muito suavizada. Sendo assim, este recurso possui características excelentes para que seja respeitado a fidelidade do contorno, porém o acabamento pode não ser o esperado.

Da mesma forma que a anterior, a curva construída com a função *C-SPLINE*, passa por todos os pontos fornecidos, porém possuem uma melhor continuidade na união de seus pontos. Para melhorar esta continuidade, o trajeto a ser percorrido pode sofrer alterações, fazendo com que a fidelidade ao contorno seja atingida, mas melhorando o acabamento.

O algoritmo de *Bezier* é, provavelmente, o mais interessante e utilizado de todos, por se tratar de um algoritmo que pode ser parametrizado. A curva resultante deste algoritmo não passa por todos os pontos fornecidos, apenas pelos das extremidades. Os pontos intermediários são utilizados como referência para a criação da curva complexa, semelhante ao traçar de uma curva média de pontos, e podem ter diferentes pesos, determinados pela sua devida importância. Quando o algoritmo fornece diferentes pesos para pontos de uma mesma curva, esta é chamada de curva *NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)*, e sua aplicação é necessária quando um determinado detalhe da peça deve ser enfatizado. Isto porque este peso age como uma força gravitacional, fazendo com que a curva resultante se aproxime mais dos pontos de maior peso. A tolerância de contorno a ser aplicada neste processo é determinada durante a criação da listagem do programa, no sistema CAM.

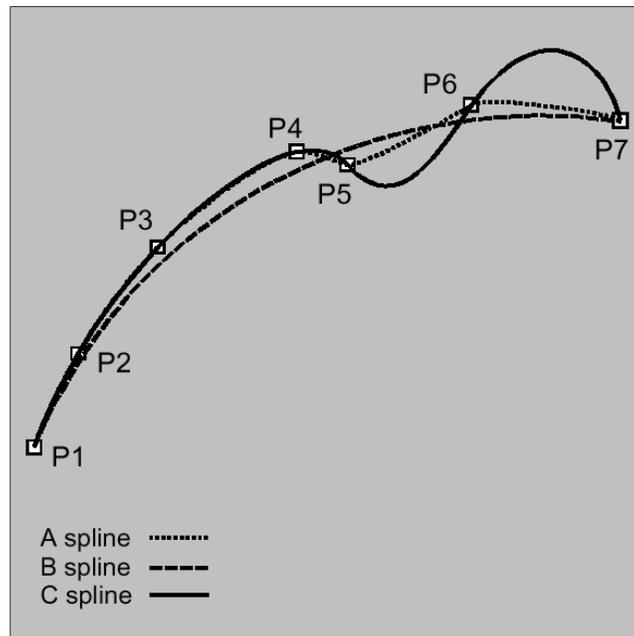


Figura 6 – Sobreposição de curvas *SPLINE*

3.6. Conversor de blocos lineares de programa

Semelhante à interpolação por curvas *SPLINE*, alguns modelos de CNC modernos podem transformar trechos de programa constituídos de malhas de pontos em curvas complexas de até 5º grau. Esta transformação é feita durante o processamento do programa, e portanto não requisita de nenhum tratamento externo do mesmo, como por exemplo, utilizar um pós-processador.

Uma vantagem sobre as demais curvas de interpolação, é que a tolerância do contorno é determinada através de parâmetros da própria máquina operatriz, enquanto as outras utilizam a tolerância fornecida pelo sistema CAM.

3.7. Transformações cinemáticas / Precisão de contorno ajustável

As máquinas operatrizes destinadas a aplicação de usinagem de superfícies complexas possuem, normalmente, cinco eixos de movimentação: os eixos referentes às três componentes do espaço cartesiano e mais dois eixos rotativos. Isto permite que a ferramenta de corte possa trabalhar em diversas direções e ângulos, atingindo diferentes pontos da peça, sem ter a necessidade de efetuar muitas fixações desta na mesa de trabalho. Mas, existem diferentes arquiteturas que podem ser utilizadas para tal finalidade, cada uma com características próprias.

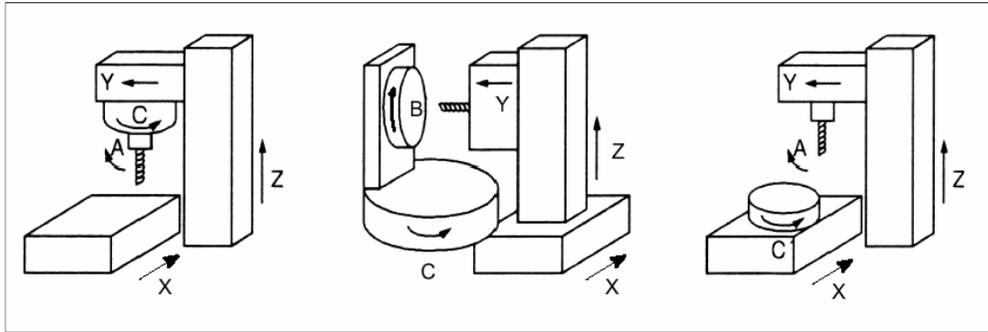


Figura 7 – Exemplos construtivos de máquinas operatrizes de 5 eixos

Afim de minimizar o tempo de preparação das máquinas, os comandos numéricos atuais possuem funções de transformações do sistema de coordenadas e transformações cinemáticas. O primeiro tipo de transformação é responsável por rotações, escalonamentos, espelhamentos e translações das coordenadas convencionais da máquina, que podem ser necessários em diversos tipos de aplicação. As transformações cinemáticas são utilizadas apenas em máquinas especiais, como aquelas que não possuem os seus eixos de avanço ortogonais entre si. Neste caso o comando numérico é responsável por realizar cálculos que permitem ao programador gerar o seu programa em coordenadas cartesianas, embora os eixos reais estejam fora deste padrão.

Estes recursos também são necessários para que o mesmo programa possa ser executado em diferentes tipos construtivos de máquina operatriz, reduzindo o tempo de preparação no caso de uma transferência de programa entre máquinas que não são idênticas. Como o processo de fabricação de uma peça começa pela sua preparação, todo o tempo que se possa ganhar nesta fase será importante.

3.8. Compensações de erros mecânicos

A eletrônica, por trabalhar com *software* e algoritmos, dificilmente comete erros que podem prejudicar a performance da máquina operatriz, porém a mecânica pode ter erros em sua construção ou mesmo na montagem. Para solucionar isto existem recursos internos ao CNC que podem ser acionados pelo fabricante da máquina, ou mesmo durante a aceitação desta pelo cliente final. Os erros mais comuns já são previstos, e portanto são aqueles que possuem compensações por *software*. No caso de erros construtivos, podem ser citados: o erro de passo de fuso, alinhamento de eixos, esquadria da máquina, folgas na inversão do sentido de rotação dos motores, entre outros.

Mas nem sempre os erros são causados por falhas de fabricação e/ou montagem, como por exemplo: vibrações causadas pela frequência de ressonância e a variação dimensional da estrutura mecânica da máquina operatriz ocasionada pela dilatação térmica. Neste último caso, sensores de temperatura são fixados na máquina, informando ao CNC a temperatura atual, para que este se encarregue de realizar cálculos de compensação, deste que seja informado o coeficiente de dilatação da estrutura mecânica. Ainda existem os erros causados pela inclinação da ferramenta de corte, como o seu comprimento e seu diâmetro, que podem ser automaticamente compensados para manter a precisão e fidelidade do contorno.

Todos estes recursos são fundamentais para manter a precisão e fidelidade do contorno programável, admitindo que este tipo de erros existem. Se

estas compensações não fossem pré-ajustadas, o programador teria que compensá-las alterando cotas e medidas no programa de usinagem. Além de consumir muito tempo, este trabalho impossibilitaria que o mesmo programa pudesse ser executado em diferentes máquina operatrizes.

3.9. Integração com sistemas CAD/CAM/Pós-Processador

Cada vez mais, estes sistemas são indispensáveis na fabricação de moldes e matrizes, pois com eles é possível criar e modelar objetos virtuais que posteriormente se tornarão peças reais. Normalmente, os sistemas CAM geram programas utilizando coordenadas pontuais, ou seja, diversos blocos contendo pequenas interpolações lineares. Como a velocidade de avanço depende da distância entre blocos de programa, este não é o melhor método a ser utilizado para manter elevados o acabamento e a velocidade do processo, porém ainda é o mais difundido.

Para suprir esta deficiência, os sistemas CAM começaram a gerar programas com blocos de interpolações lineares e, quando possível, circulares. Desta forma, algumas curvas deixam de ser programadas de forma facetada, melhorando a velocidade de processo e o acabamento da peça. Mas, como os moldes podem ter superfícies complexas, este recurso ainda pode não ser o suficiente.

Hoje em dia, muitos sistemas CAM conseguem gerar programas de blocos com sintaxe de curvas complexas, como polinômios e *splines*. Para tal, deve haver uma integração entre os sistemas de geração de programa e o CNC em que será utilizado. O responsável por esta integração é chamado de pós-processador, e tem como função primária compilar a listagem gerada pelo CAM, em sintaxe que possa ser compreendida pelo CNC.

A tecnologia rumo em direção a sistemas que conseguem trabalhar, em sua totalidade, com curvas complexas, desde a criação de moldes e matrizes virtuais, até a geração de programas de usinagem. Isto impede a perda de informações que surge quando a peça é modelada de forma complexa, mas o programa é gerado de forma pontual.

4. Resultados

Abaixo, a Figura 8 e a Tabela 1 mostram um comparativo entre três tipos de processos diferentes para usinagem de uma mesma peça (corpo de alumínio com duas cavidades, ou bolsões).



Figura 8 – Peça utilizada para realizar comparativo em processos

Tecnologia utilizada	tempo de usinagem	tamanho do programa (killobytes)	número de linhas do programa
blocos lineares	8' 46s	196	4382
compressores (polinômios de 5º grau)	6' 50s	196	4382
<i>NURBS (B-SPLINE)</i>	4' 58s	148	1932

Tabela 1 – Resultados de diferentes métodos de usinagem

Agradecimentos

Os meus grandes agradecimentos vão para as pessoas que me ajudaram e me incentivaram à realizar este trabalho, o sr. Jorge M. F. Moreira (meu pai) e a sra. Maria José L. P. Moreira (minha mãe). Gostaria também de lembrar dos meus colegas de trabalho, que, junto comigo, formam uma equipe curiosa e que adora discutir assuntos técnicos, melhorando assim o nosso nível de conhecimento. Obrigado a todos.

Referência bibliográfica

Todo o conteúdo deste trabalho foi desenvolvido e escrito pelo autor, utilizando como fonte de dados os manuais técnicos e apresentações de carácter informativo da SIEMENS. Este material, sem autores definidos, é desenvolvido pelo departamento de automação industrial para máquinas-ferramenta, atualmente denominado IND1 MC MT, na casa matriz da SIEMENS.

Abstract

One of most complex usage of modern machining, is the workpiece making for the mould and die market. The evolution of the machining technologies heads to a process which adds high speed, high surface quality, contour accuracy, and an attractive cost/benefit relation. Nowadays, the high speed machining (HSM), also known as high speed cutting (HSC), is the state of the art process, which consolidates all the characteristics listed above. However, in order to effectively use this method, the mechanical structure, the tooling, the electronic components and the software resources of a machine tool, must be prepared for that. Together with these resources, others are being developed to be used, starting with design and molding of the piece to be machined. It can be mentioned, as example the machining programs, generated by CAD/CAM systems, with complex curves, that, before, were constituted by a net of points. It is important to mention that this technology is still in development, thus, suffering some reluctance to be adopted. This reluctance is similar to that happened in the beginning of the machine tools equipped with numerical control, about forty years ago.

Keywords

1. mould and die
2. computerized numerical control
3. high speed cutting
4. complex curves