



16° Congresso de Iniciação Científica

APLICAÇÃO DA INTERPOLAÇÃO SPLINE COMO TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA NA MANUFATURA DE MOLDES E MATRIZES COM ALTAS VELOCIDADES

Autor(es)

RENATO LUÍS GARRIDO MONARO

Orientador(es)

KLAUS SCHÜTZER

Apoio Financeiro

PIBIC/CNPq

1. Introdução

Constantemente se busca melhorias no processo de desenvolvimento de um produto, visando sempre obter a redução de todos os custos relacionados com a fabricação do produto. Dentro desta constante busca, a Tecnologia que mais se adequou foi a cadeia CAD/CAM/CNC e por isso o seu uso tem se intensificado cada vez mais neste processo.

No processo de desenvolvimento do produto através da cadeia CAD/CAM/CNC, algumas etapas devem ser seguidas para se obter o produto final. Primeiramente, deve ser desenvolvido um modelo geométrico tridimensional que é gerado pelo Sistema CAD. Nesta etapa, o modelo geométrico pode ser desenvolvido de duas maneiras: modelamento baseado em sólidos e modelamento baseado em superfícies (Coelho; Souza; 2003).

Depois de realizado o desenvolvimento do modelo geométrico no sistema CAD, deve-se então enviar este modelo ao sistema CAM onde serão geradas as trajetórias das ferramentas a serem utilizadas na manufatura deste modelo. Com o recebimento do modelo pelo sistema CAM, o projetista irá informar ao sistema quais serão as ferramentas e as operações desejadas para a manufatura deste modelo.

O projetista terá que definir, além das operações (desbaste, pré acabamento, acabamento, etc.), quais serão as estratégias de usinagem adotadas para cada operação criada e também qual o método de interpolação na trajetória da ferramenta. Este procedimento é muito importante no processo de desenvolvimento do produto pois esta etapa pode influenciar muito no tempo de usinagem e na qualidade superficial final do modelo (McMahon; Browne, 1999).

Finalmente, depois de concluídas as etapas anteriores, o sistema CAM utilizará todas as informações fornecidas pelo projetista para gerar o programa NC que será enviado ao Centro de Usinagem CNC onde será feita a usinagem do modelo geométrico criado.

A Figura 1 ilustra toda a cadeia de desenvolvimento do produto utilizado para este projeto (Helleno, 2004).

Em função destas etapas apresentadas, apresenta-se no decorrer deste projeto que a utilização de Tecnologias CAD/CAM em projetos de produtos não envolve simplesmente um deslocamento “da prancheta para a tela”. Significa também reunir atividades tais como as de desenhar, verificar, redesenhar, analisar, calcular sensibilidades, construir protótipos, e planejar operações de manufatura (Manso, 1995).

2. Objetivos

Este projeto tem por objetivo aplicar a Interpolação *Spline* como trajetória da ferramenta na manufatura de um corpo de prova com superfícies complexas com altas velocidades, avaliando com isso os benefícios reais dessa aplicação.

Para alcançar o objetivo proposto, foi realizada uma revisão bibliográfica que, em linhas gerais, está composta com os seguintes assuntos:

- métodos de representação de superfícies;
- métodos de interpolações de trajetória de ferramenta (Linear e *Spline*);
- geração de programas NC (CAD/CAM);
- usinagem com Altíssima Velocidade.

Além da revisão bibliográfica, têm-se como objetivos específicos:

- definição de um Corpo de Prova padrão para os ensaios de usinagem;
- avaliação e definição das melhores estratégias de corte;
- detalhamento dos ensaios práticos;
- execução dos ensaios;

3. Desenvolvimento

Para alcançar todos os objetivos propostos para a realização deste projeto foi necessário fazer uma ampla revisão bibliográfica, através da busca de artigos científicos recentes, recorrendo-se aos principais periódicos nacionais e internacionais. Dentre os assuntos buscados, incluem-se:

- métodos de Interpolação para a trajetória da ferramenta (Linear e Polinomial);
- usinagem com altíssimas velocidades;
- sistema CAD/CAM/CNC;
- processo de manufatura de moldes e matrizes.

Após a pesquisa, obteve-se informações necessárias para a escolha do corpo de prova onde foram estudadas diferentes estratégias de corte e também foram aplicados diferentes métodos de Interpolação da trajetória da ferramenta através do Sistema Unigraphics NX - Módulo CAM, a fim de verificar através da usinagem destes corpos de prova no Centro de Usinagem Discovery 760 com comando Siemens 810D, a real influência destes métodos na qualidade final do produto.

4. Resultado e Discussão

Com a pesquisa bibliográfica realizada, foi possível verificar que além da correta escolha da estratégia de corte que deve ser aplicada de acordo com a complexidade da superfície a ser usinada, outro parâmetro que influencia bastante no tempo e na qualidade final é o método de Interpolação da trajetória da ferramenta definido pelo Sistema CAM antes da elaboração do programa NC (Bauco, 2003).

Assim, observou-se que o desenvolvimento das tecnologias de Interpolação vêm ganhando bastante espaço na área de manufatura de moldes e matrizes, numa constante busca das indústrias pela redução dos custos e do tempo de desenvolvimento do produto.

Na continuidade do projeto, pode-se verificar que cada método de Interpolação tem suas próprias características e pode ser aplicado de acordo com a complexidade e com a qualidade desejada do produto, conforme pode ser observado a seguir (Helleno, 2004):

Interpolação Linear: o Sistema CAM determina a trajetória da ferramenta através de segmentos de retas que melhor se adaptam à tolerância aplicada. A qualidade final fica menor conforme a complexidade da superfície aumenta e a tolerância CAM diminui;

Interpolação Circular: além da geração de segmentos de reta, são utilizados também arcos que permitem uma melhor adaptação à faixa de tolerância aplicada. Estes arcos permitem que a trajetória da ferramenta seja mais suave, aumentando a qualidade superficial e evitando o chamado “facetamento” da superfície deixado pela Interpolação Linear;

Interpolação Spline: são utilizados segmentos de curvas, baseados em modelos matemáticos complexos, que geram uma trajetória da ferramenta mais suave e também mais precisa dentro da faixa de tolerância aplicada ao modelo.

Após definidas quais as estratégias de corte e os métodos de interpolação que seriam utilizados, passou-se então a desenvolver as simulações de usinagem através do sistema CAM e posteriormente foi realizada a usinagem do modelo em resina.

Primeiramente foram criadas as operações de desbaste e pré acabamento, que são as mesmas para todos os corpos de prova, a fim de se obter um mesmo sobremetal para todos os modelos, permitindo assim que as estratégias de acabamento final pudessem ser corretamente comparadas.

Em seguida, a partir do sobremetal deixado, foi aplicada a estratégia *Follow Periphery* para o acabamento em todos os corpos de prova. Esta estratégia executa movimentos circulares a partir do centro do modelo até a sua periferia (Goellner; Silva; Oliveira, 2004). A diferença entre os corpos de prova está justamente no método de interpolação da trajetória da ferramenta que foi aplicado em cada corpo de prova, sendo Interpolação Linear no corpo de prova 1 e interpolação NURBS nos corpos de prova 2 e 3, alterando-se as tolerâncias destes últimos. A Figura 2 ilustra o processo de usinagem destes corpos de prova.

Durante a usinagem, foi obtido o tempo real de cada operação através de um cronômetro. A Figura 3 mostra uma tabela comparativa entre os tempos obtidos através da simulação no Sistema CAM e na usinagem para cada operação aplicada.

Como visto na Figura 3, em todas as operações houve uma diferença entre o tempo real e o tempo simulado. Com a análise dos resultados, pode-se observar que estas diferenças existem porque o sistema CAM calcula o tempo levando em consideração a distância total percorrida pela ferramenta e a velocidade de avanço programada, enquanto que na usinagem, a velocidade de avanço programada não consegue se manter constante, o que faz com que haja essa diferença no tempo real.

Além disso, um dado importante que deve ser levado em consideração é a grande redução do tempo para as operações de acabamento com a aplicação do método de Interpolação NURBS em relação ao método com Interpolação Linear, que no caso deste corpo de prova, chegou a 50,6%.

5. Considerações Finais

Durante o decorrer deste projeto foi possível adquirir conhecimento técnico sobre a Tecnologia CAD/CAM aplicada no processo de desenvolvimento do produto dentro da cadeia CAD/CAM/CNC. A obtenção deste conhecimento deve-se à grande pesquisa bibliográfica realizada através da busca de artigos nacionais e

internacionais.

O corpo de prova escolhido permitiu a verificação da qualidade superficial obtida de acordo com a estratégia de corte utilizada, ao método de interpolação da trajetória da ferramenta e em relação também ao grau de curvatura apresentado nas diferentes regiões deste corpo.

Por fim, este projeto proporcionou uma grande satisfação devido ao fato de permitir o desenvolvimento de uma pesquisa abrangente sobre a Tecnologia CAD/CAM/CNC e também por permitir a aplicação do conhecimento obtido através do Software Unigraphics NX. Destaca-se que o conhecimento adquirido e a preparação obtida, que permitirá entrar no mercado industrial é uma satisfação muito grande que este projeto proporcionou.

Referências Bibliográficas

ALTAN, T.; LILLY, B.; YEN, Y.C. Manufacturing of Dies and Molds. In: Annals of the CIRP, v. 50, n. 2, 2001.

ARNOME, A. High Performance Machining. USA, Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-246-1.

BAUCO, S. A. High Speed Machining na Indústria de Moldes e Matrizes. In: _____. Usinagem em Altíssimas Velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal mecânica. São Paulo: Érica, 2003. Cap. 08, p. 111 - 124.

COELHO, R.T.; SOUZA, A.F. Tecnologia CAD/CAM - Definições e estado da arte visando auxiliar sua implantação em um ambiente fabril. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2003.

FALLBÖHMER, P.; RODRÍGUEZ, C. A.; ÖZEL, T.; ALTAN, T. High-speed machining of cast iron and alloy steels for die and mold manufacturing. Journal of Materials Processing Technology. v. 98, p. 104 - 115, jan. 2000.

HELLENO, A.L. Investigação de Métodos de Interpolação para Trajetória da Ferramenta na Usinagem de Moldes e Matrizes com Alta Velocidade, 2004, 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 2004.

HONG, W. P.; YANG, M. Y. NURBS Interpolation Algorithm for CNC Machines. Journal of the KSPE, v. 17, p. 115 - 120, 2000.

JEE, S.; KOO, T. Tool-Path Generation for NURBS Surface Machining. Proceedings of the American Control Conference. Denver, v. 3, p. 2614 - 2619, 2003.

LARTIGUE, C.; TOURNIER, C.; RITOU, M; et al. High-performance NC for HSM by means of polynomial trajectories. CIRP Annals-Manufacturing Technology, v. 53, p. 317 - 320, 2004.

MANSO, F. Dirigir o Desenvolvimento de Tecnologia Através do Projeto Assistido por Computador (CAD). 1995. Disponível em: <http://www.necso.ufrj/Trads/Dirigir%20Tecnologia%20CAD-CAM.htm>. Acessado em 13/08/2008.

MCCMAHON, C.; BROWNE, J. CAD/CAM Principles, Practice and Manufacturing Management. 2ª ed. 1999.

MOREIRA, J. Tecnologia CNC para usinagem a alta velocidade. Máquina e Metais, São Paulo, v. 39, n.

RAMOS, C. A. D.; MACHADO, A. R. Usinagem de Moldes e Matrizes. 2005. Disponível em: www.ifm.org.br/fase1/congresso/inscritos/teste2.php?id_trabalho=544. Acessado em: 13/12/2007.

SCHÜTZER, K. et al. Usinagem em Altíssimas Velocidades. São Paulo: Editora Érica, 2003. 214 p.

SOUZA, A.F. Análise das interpolações de trajetórias de ferramenta na usinagem HSC (High Speed Cutting) em superfícies complexas. Universidade Metodista de Piracicaba, 2001. Dissertação de Mestrado. 88 p.

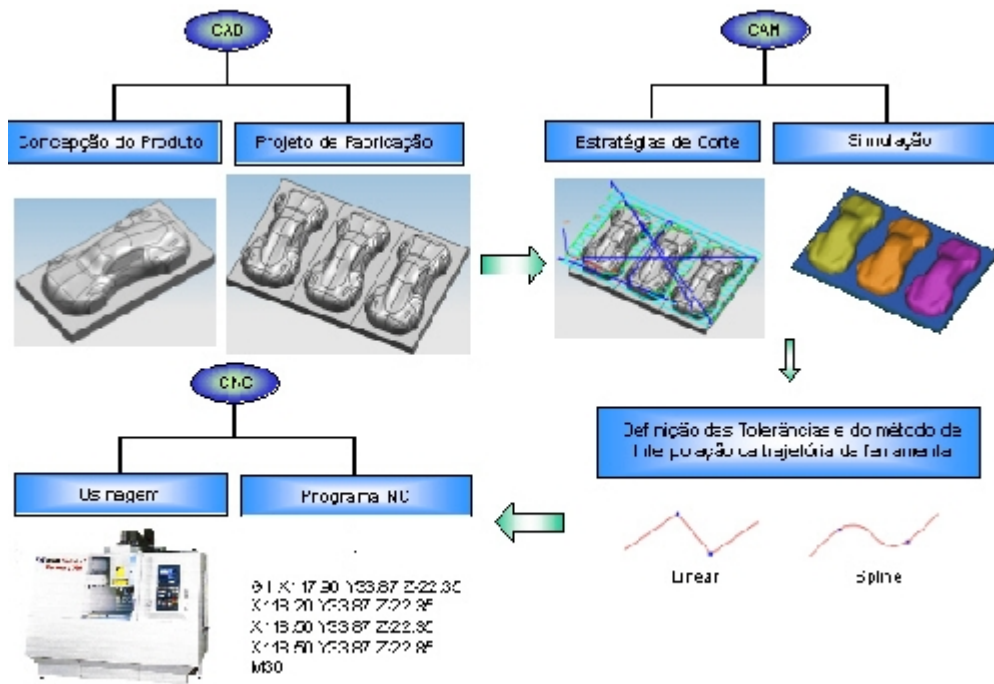
TOH, C.K. A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling. Journal of Materials Processing Technology, v.152, p. 346-356. 2004.

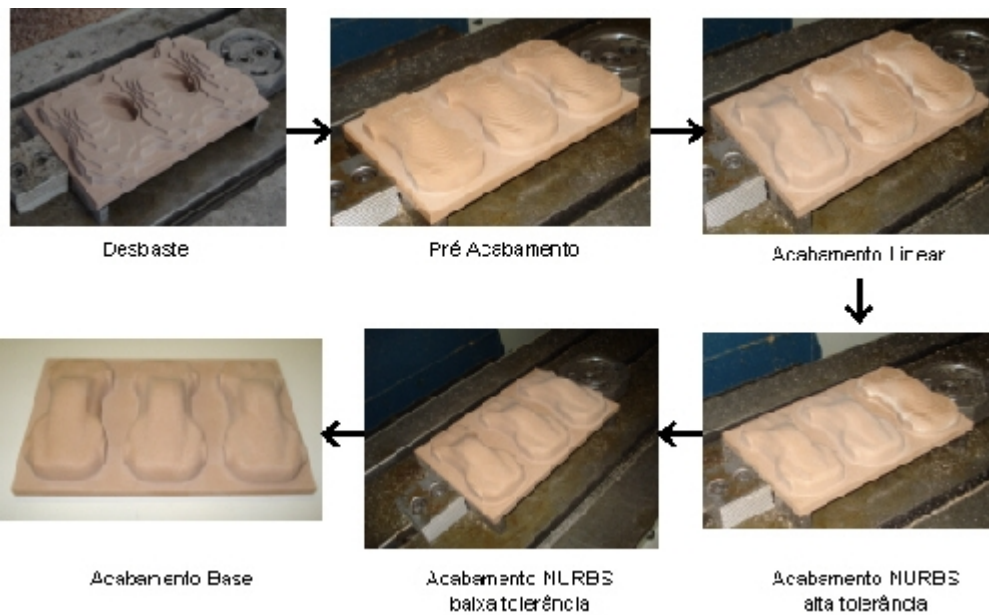
Weinert, K.; Guntermann, G. Usinagem de superfícies complexas. Máquinas e Metais, São Paulo, v. 36, n. 415, p. 18 - 27. 2000.

WERNER, E. (2003) Modern CNC Control Systems for High Speed Machining. Disponível em: <http://www.mmsonline.com/articles/0599sup.html>. Acesso em 15 de fevereiro de 2007.

ZELINSKI, P. (2003) Understanding NURBS interpolation. Disponível em: <http://www.mmsonline.com/articles/079901.html>. Acesso em: 14 de fevereiro 2007

Anexos





Operações	Tempo Simulado	Tempo Real
Desbaste	06min 10s	06min 48s
Pré Acabamento	32min 33s	48min 36s
Acabamento Linear	07min 46s	20min 37s
Acabamento NURBS alta tolerância	07min 46s	10min 31s
Acabamento NURBS baixa tolerância	07min 46s	10min 31s
Acabamento Base	02min 36s	04min 18s