



18º Congresso de Iniciação Científica

AVALIAÇÃO DA INTERPOLAÇÃO SPLINE COMO TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA NA MANUFATURA SUPERFÍCIES COMPLEXAS ATRAVÉS DE FERRAMENTAS DOE (DESING OF EXPERIMENTS)

Autor(es)

MARCO AURÉLIO GARRIDO PRIORE

Orientador(es)

ANDRÉ LUIS HELLENO

Apoio Financeiro

PIBIC/CNPQ

1. Introdução

A busca constante em melhorias no processo de desenvolvimento de um produto levou a evolução dos Sistemas CAD na direção do modelamento e manipulação de superfícies complexas, associado às novas exigências funcionais e estéticas no desenvolvimento do produto. Com isso, houve uma grande inserção da representação geométrica através de superfícies complexas.

Nesse cenário, a manufatura de superfícies complexas surge como destaque no ciclo de desenvolvimento do produto, uma vez que os processos tradicionais não são capazes de atender os novos requisitos relacionados com o tempo de fabricação e custos, tornando-se assim um fator limitante desse ciclo.

Neste sentido, para obter-se a concepção de um produto e o projeto de fabricação, utiliza-se o ciclo CAD/CAM/CNC como base para o desenvolvimento do produto. Inicialmente, o ciclo começa pelo Sistema CAD, onde é realizada a concepção do modelo geométrico do produto e do projeto de fabricação.

Posteriormente, utiliza o Sistema CAM para gerar a trajetória da ferramenta de corte e da simulação do processo de manufatura, onde se inclui os parâmetros necessários como: estratégia de corte a ser utilizada, velocidade de corte e de avanço, tipo de ferramenta, tolerâncias. Por último é gerado o programa NC que contem todas as informações necessárias para, com a linguagem da máquina, para fabricar o produto (ERKORKMAZ, 2001; ALTINTAS, 2001).

A Figura 1 ilustra as fases do processo de manufatura, ou seja, desde a concepção do produto até a usinagem do mesmo.

Dentro da indústria, em especial no desenvolvimento de produto, muitas vezes é necessário obter informações sobre produtos e processos empiricamente. O trabalho das pessoas envolvidas com o problema assemelha-se ao de pesquisadores ou cientistas que precisam projetar experimentos, coletar dados e analisá-los. Experimentos são empregados para resolver problemas de fabricação, decidir entre diferentes processos de manufatura, diferentes conceitos de produto ou entender a influência de determinados fatores.

Além disso, esta tarefa torna-se cada vez mais importante na medida em que se intensifica a base tecnológica dos produtos e as exigências governamentais e de clientes, aumentando a necessidade de experimentos durante todas as etapas do ciclo de vida do produto (COLEMAN, 1993).

O Planejamento de Experimentos (Design of Experiments - DOE) é uma técnica utilizada para se planejar experimentos, ou seja, para definir quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento. É, portanto, uma técnica de extrema importância para a indústria, pois seu emprego permite resultados mais confiáveis economizando dinheiro e tempo. A sua aplicação no desenvolvimento de novos produtos é essencial, uma vez que é necessária maior qualidade e confiabilidade nos resultados e com isso levar a um projeto com desempenho superior em termos de suas características funcionais (COLEMAN, 1993).

Dentro da indústria de moldes e matrizes, muitas vezes é necessário obter informações sobre os produtos e os processos envolvidos na fabricação a fim de reduzir tempo e custos.

Em função disto, a inserção de planejamento de experimentos no ambiente industrial tem recebido ênfase por melhorar o processo na questão de estratégia utilizada, a qualidade superficial, reduzir o tempo e também melhorar o aproveitamento da matéria-prima.

Alguns métodos utilizados em planejamentos são:

- Análise de Variância (MONTGOMERY & RUNGER, 2003);
- Experimento com um Único Fator (MONTGOMERY & RUNGER, 2003);
- Experimento Fatorial com dois Fatores (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

Portanto, este controle estatístico do processo entra como papel principal nas decisões do desenvolvimento de produtos, analisando através de experimentos qual o melhor caminho a ser tomado (MONTGOMERY & RUNGER, 2003).

2. Objetivos

Este projeto teve por objetivo aplicar a Interpolação Spline como trajetória da ferramenta na manufatura de um corpo de prova representativo para a indústria, verificando seus reais benefícios com relação ao tempo de usinagem, qualidade superficial e precisão geométrica. Para isso, foram determinadas e utilizadas técnicas estatísticas de planejamento de experimentos (DOE - Design of Experiments).

3. Desenvolvimento

Para atingir os objetivos propostos, foi feito o aprimoramento de conhecimento sobre o Planejamento de Experimentos. O corpo de prova utilizado em todo o desenvolvimento do projeto seguiu um modelo que melhor representasse as indústrias de moldes e matrizes. Por esse motivo, o corpo de prova teve em sua geometria uma superfície complexa, a fim de atender todas as necessidades do projeto, regiões côncavas e convexas. O material utilizado neste corpo de prova foi o aço P20, com dureza de 30 HRC.

A Figura 2 ilustra o corpo de prova com suas respectivas características.

Para a realização dos ensaios utilizou-se um centro de usinagem, modelo Discovery 760, fabricado pelas Indústrias ROMI S.A., apresentando as seguintes especificações técnicas:

- Avanço rápido: 25.000 mm/min;
- Rotação máxima: 10.000 rpm;
- Máximo avanço programável: 5.000 mm/min;
- Comando Siemens 810D configurado especialmente para a utilização de Interpolação Spline.

A primeira etapa concluída foi o planejamento de todas as atividades antes de começar a parte prática, ou seja, a manufatura do

produto. Então, para realizar o projeto foi utilizada a estratégia de planejamento de experimentos através de dois fatores, que consiste em realizar todo seu processo e analisar dois parâmetros que influenciem o produto final.

Os parâmetros analisados foram a tolerância de geração da trajetória da ferramenta utilizando a Interpolação Spline e Interpolação Linear e o método de medição. Para a tolerância Spline e Linear, foi utilizado um corpo de prova e dividido em seis faixas e cada faixa conteve uma tolerância específica.

Para que se tenha um melhor desempenho na usinagem com altíssimas velocidades, cujo projeto está inserido, necessitou-se entender e compreender diversos fatores como estratégia de usinagem, ferramenta, tipo de material e parâmetros de usinagem. Tendo em vista isto, foi feito um ensaio prático onde o corpo de prova tinha em sua geometria uma superfície complexa já conhecida. Para efeito de análise, o corpo de prova foi dividido em seis faixas e cada uma contendo uma tolerância específica.

Nas quatro primeiras faixas, foi utilizada a Interpolação Spline para representar a trajetória da ferramenta, ou seja, a representação da superfície através de segmentos de curvas com suavização que melhor representa o modelo geométrico. A variação da Tolerância Spline em cada faixa foi de 0,005mm, 0,05mm, 0,5mm e 0,1mm respectivamente.

Uma observação que deve ser feita é a respeito do software, pois quando se usa Interpolação Spline para representar uma superfície, automaticamente o sistema possibilita ao programador utilizar uma nova tolerância além da tolerância CAM já utilizada, ou seja, aplicando a Interpolação Spline é possível trabalhar com dois tipos de tolerâncias chamadas tolerância CAM e tolerância Spline.

Então, como nas quatro primeiras faixas foi utilizado Interpolação Spline, a tolerância CAM é de 0,005mm pra todas as faixas e somente a tolerância Spline tem variação.

Nas duas faixas restantes, foi utilizado Interpolação Linear para representar a trajetória da ferramenta. Esta trajetória por sua vez, como já visto anteriormente, é representada através de segmentos de retas. A variação da Tolerância CAM nessas faixas foram de 0,005mm e 0,05mm, respectivamente e neste caso não há tolerância Spline.

Algumas etapas devem ser cumpridas no decorrer da usinagem do produto. Primeiramente foi feito o desbaste, onde a finalidade foi a remoção do maior material possível sem se preocupar com a uniformidade do sobremetal deixado para as operações posteriores. Para esta operação foi utilizada a ferramenta fresa de topo com diâmetro de 12mm.

A próxima etapa foi o pré-acabamento, onde se busca a remoção do sobremetal deixado pelo desbaste a fim de aproximar-se da geometria do modelo, obtendo-se um sobremetal mais uniforme para o acabamento, evitando assim esforços desnecessários para as ferramentas posteriores.

Por fim, foi feito o acabamento final. Este teve por objetivo atingir a exatidão geométrica, deixando-a uniforme e com o acabamento superficial desejado.

Durante a execução das operações de acabamento do corpo de prova foram monitorados os seguintes parâmetros:

- Tempo de usinagem total e parcial (tempo de cada passe de acabamento)
- Avanço real em diversos pontos do perfil usinado

Estes parâmetros são de extrema importância para a determinação da velocidade de avanço médio da usinagem e da curva de avanço real. Ambos auxiliaram na análise posterior para a determinação das características de cada tipo de interpolação da trajetória da ferramenta.

Notou-se que o tempo teórico não é o mesmo do que o tempo prático. Isto se deve á influência dinâmica da máquina, ou seja, o tempo de resposta da máquina considerado pelo software é um tempo ideal com características perfeitas. Porém, sabe-se que na prática há diversos fatores que podem influenciar no desempenho do processo de usinagem, por exemplo temperatura do ambiente, características da máquina, tempo de processamento de dados, qualidade da ferramenta, etc.

Portanto, por esse motivo, o tempo real de usinagem sempre será maior do que o tempo gerado pelo software.

4. Resultado e Discussão

De acordo com a tabela de tempo, verificou-se que em todos os métodos usados para realizar o acabamento houve um aumento no tempo real comparando com o tempo simulado no software. Este aumento se deve pelo fato das características dinâmicas da máquina influenciar diretamente na velocidade de avanço programada.

Para fazer uma análise entre a variação da velocidade ao longo da trajetória e a posição do eixo X, foi preciso gerar um programa onde apenas uma linha de cada faixa fosse gerada. Depois de feito o programa, foi usinado em vazio na máquina para colher os parâmetros R gerado pela mesma, para assim iniciar as análises.

Observa-se que apesar da velocidade da Interpolação Linear com tolerância de 0,005 mm variar muito ao longo da superfície, e não conseguir chegar na velocidade programada, com a tolerância de 0,05 mm a velocidade teve um comportamento melhor devido ao aumento da faixa de tolerância para representar aquela superfície. Nota-se também que da região de 80 mm (eixo X) até o final da superfície, a tolerância de 0,05 mm conseguiu chegar à velocidade programada.

Analisando as regiões de 25mm, 45mm e 70mm (Figura 3), pode-se observar as variações da velocidade entre as Interpolações Spline. Observando o programa NC, pode-se observar que justamente nos trechos citados a distancia entre os vértices do polígono de controle é muita pequena e por esse motivo, juntamente com a limitação da máquina, a velocidade real cai drasticamente.

Essa queda de velocidade está ligada ao fato do tempo de resposta desta específica máquina ser menor, então ao invés de manter a velocidade programada e fazer uma trajetória com paradas bruscas, a máquina diminui a velocidade para suprir a necessidade de ler os blocos do programa mais rapidamente e com isso realizar uma usinagem contínua e suave.

Portanto, observando a Figura 3, tira-se a conclusão que a Interpolação Spline conseguiu chegar mais próximo da velocidade programada e em alguns pontos mantê-la constante. Isso indica que o tempo de usinagem também é muito parecido com o tempo simulado no software como visto anteriormente.

5. Considerações Finais

Com os dados obtidos nos gráficos de velocidades e na tabela de velocidade, observou-se que a Interpolação Linear não conseguiu manter a velocidade programada ao longo da trajetória. Do mesmo modo, a Interpolação Spline também não conseguiu manter a velocidade programada em toda superfície, porém essa queda só foi observada justamente onde havia junção dos pontos do polígono de controle. E observando o restante da trajetória, pode-se notar que as quatro tolerâncias Spline chegaram à velocidade programada.

Conclui-se então, que a Tolerância Spline conseguiu alcançar a velocidade programada e só nas junções das curvas houve uma queda de velocidade. Entre as tolerâncias Spline a que melhor representou, em termos de velocidade real, foi a tolerância de 0,05 mm.

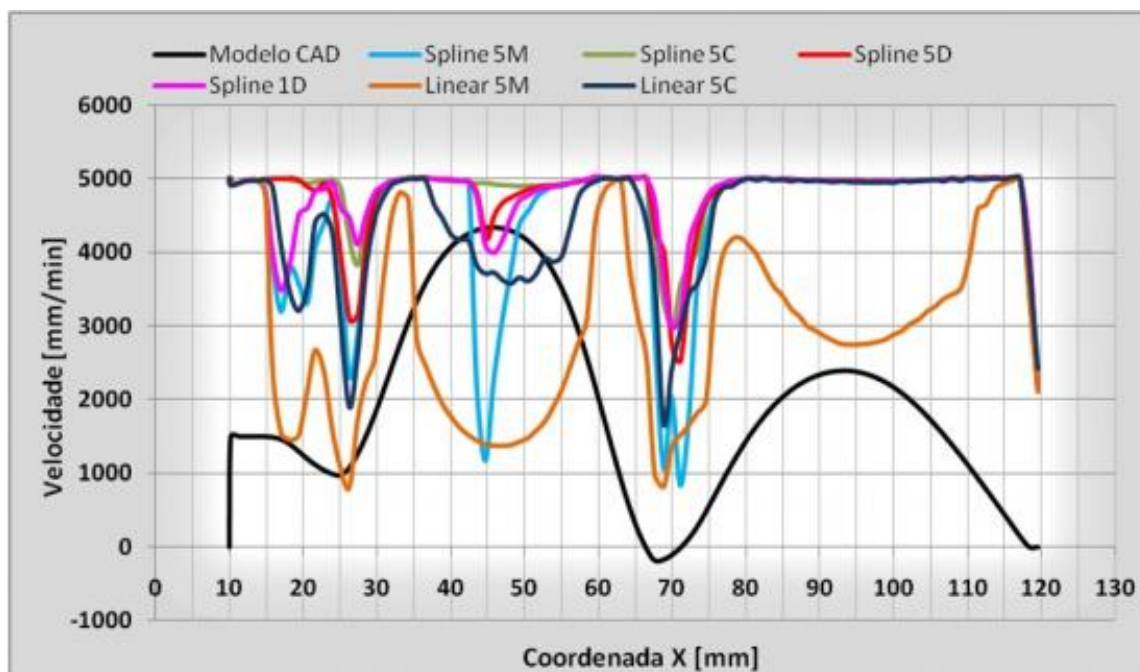
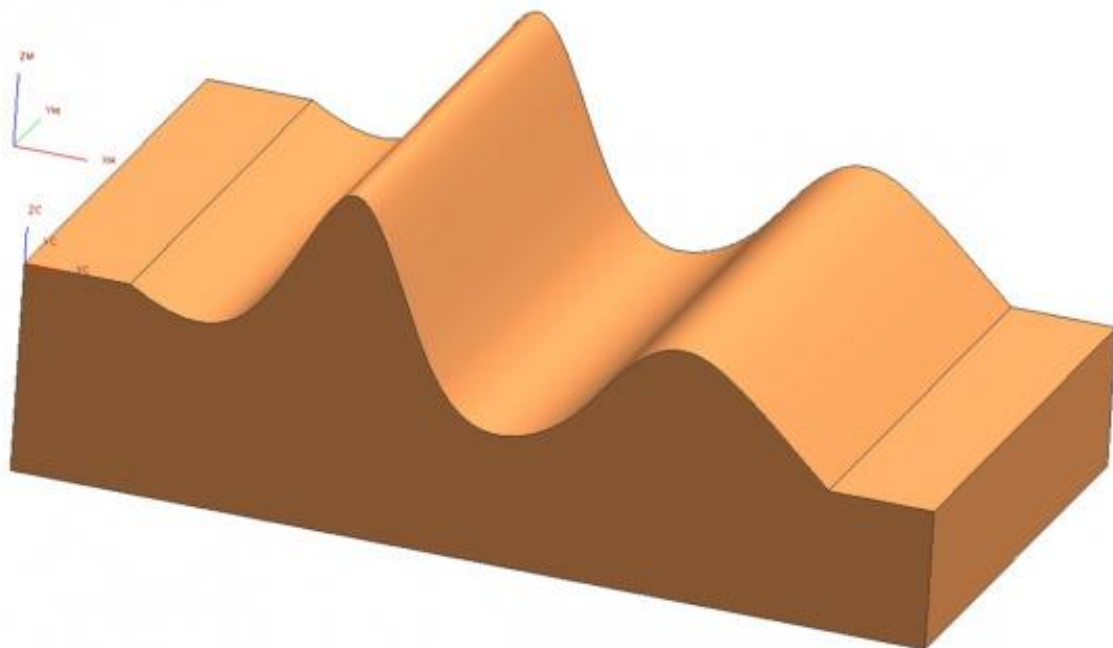
Referências Bibliográficas

COLEMAN, D. E.; MONTGOMERY, D. C. (1993). A SYSTEMATIC APPROACH TO PLANNING FOR A DESIGNED INDUSTRIAL EXPERIMENT. *TECHNOMETRICS*, V.35, N.1

ERKORMAZ, K., & ALTINTAS, Y. (2001). HIGH SPEED CNC SYSTEM DESIGN. PART I: JERK LIMITED TRAJECTORY GENERATION AND QUINTIC SPLINE INTERPOLATION. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MACHINE TOOLS & MANUFACTURE*.

MONTGOMERY, D. C., & RUNGER, G. C. (2003). *ESTATÍSTICA APLICADA E PROBABILIDADE PARA ENGENHEIROS*. RIO DE JANEIRO: LTC EDITORA.

Anexos



Integração CAD/CAM/CNC

