

ESTRATÉGIAS DE CAMINHO DE FERRAMENTA PARA HIGH SPEED MACHINING

1. Dan Marinac

2. Rogério Francisco de Paula

Há muitos componentes envolvidos para um efetivo processo de HSM (High Speed Machining) para fabricantes de moldes e matrizes. Muito foi escrito sobre o impacto que o HSM teve sobre as máquinas CNC, fusos, toolholders, ferramentas de corte e, controles. Frequentemente esquecido é o impacto da HSM sobre as técnicas de programação de caminhos-de-ferramenta.

A tecnologia CAD/CAM é voltada para satisfazer as necessidades específicas por novas estratégias de caminhos-de-ferramentas adequadas ao ambiente HSM. Aqui, HSM pode ser definido como o uso de rotação de fuso e avanços velozes, para remoção mais rápida de material sem a degradação de qualidade da peça na manufatura. A meta é dar acabamento aos moldes de fresa e matrizes para enredar forma, melhorar o acabamento da superfície e precisão geométrica de forma que a operação de polimento possa ser reduzida ou até eliminada.

Para facilitar a HSM, deve um sistema de CAM: Manter uma carga constante, minimizar perdas de avanços e maximizar a velocidade de processo do programa.

O desafio aos sistemas CAD/CAM é de realizar passagens com o mínimo valor de passo lateral em avanços extremamente altos. Garantindo, assim, a ausência de sobrecarga da ferramenta para realização e viradas exatas, porque os comandos de HSM permitem a redução automática dos avanços quando da aproximação de cantos. Além disso, para superar o problema de look-ahead - que também prejudicam os avanços - o sistema de CAD/CAM pode ser requerido a caminhos-de-ferramentas destinados a controles de HSM capazes de operar em rotinas baseadas em Código-G e no formato NURBS.

Esta conferência discute características de CAD/CAM que podem ajudar ferramentarias e matrizarias a realizarem HSM de maneira efetiva. E sentirem-se seguras quando evidenciado sucesso de empresas no exterior e no Brasil.

1. Usinagem inteligente

Esta é uma função, que produz um caminho de ferramenta inteligente e otimizado. Este tipo de recurso inclui opções para : examinar dados entre níveis de usinagem em Z, conexões de avanço especiais para HSM, usinagem com controle de tangência, e identificação de geometria para usinagem de alta velocidade. Ele inclui ainda funções para entrada em hélice na peça, que é normalmente utilizado para áreas de “bolsões” de material, e ciclos de acabamento otimizado com comprimento de ferramenta restrito, resultando na produção de um caminho de ferramenta otimizado de acordo com a geometria.

A função de entrada em hélice determina um movimento helicoidal que é baseado no ângulo de entrada (normalmente fornecido pelo fabricante da ferramenta) e na geometria da peça. Esta função é mais importante quando a ferramenta encontra uma região fechada na peça. Neste caso a segurança do processo será assegurada, e uma entrada efetiva será criada automaticamente de acordo com cada geometria.

Para conseguir um formato quase perfeito durante o desbaste, é importante para o software de CAM que o mesmo entenda “que mudanças ocorrem na topologia da peça entre cada nível em Z”. O algoritmo de reconhecimento do material remanescente (KSR - Knowledge of Stock Remaining) deve “enxergar adiante” para poder determinar quantos passos de descida extras são necessários para que o resultado desta operação tenha um formato quase perfeito. “Usinagem Inteligente” é como os sistema CAM usina este material remanescente entre níveis em Z.

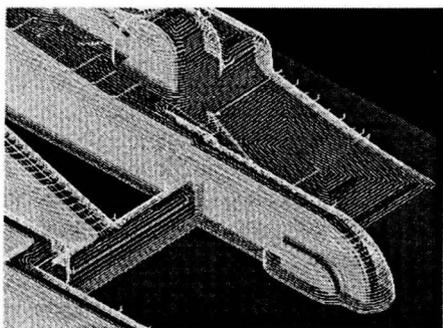


Figura 1 - Usinagem Inteligente – Níveis em Z constante com controle de tangência.

A identificação de áreas adicionais de “material remanescente” é uma tecnologia de ponta. O método de identificação e remoção deste material é o que nós chamamos de “Usinagem Inteligente”. Várias opções de usinagem devem estar disponíveis para o operador.

Como exemplo digamos que o sistema CAM fora requisitado para criar um caminho de ferramenta inteligente, deixando um sobre-metal de 0.5 mm. O sistema é acionado também para usinar o material “entre os níveis em Z” usando uma técnica para “otimizar as áreas horizontais”. O algoritmo de “otimização horizontal” é usado para identificar e usinar as áreas “planas” da geometria, no caso em acabamentos. As áreas planas são definidas pelo usuário (através de ângulos limítrofes) visando utilizar as melhores características da ferramenta, haste, e a

máquina CNC. Estas áreas planas podem ser usinada durante o processo de desbaste ou imediatamente depois, dependendo dos hábitos de cada empresa.

Este método não é importante somente para a vida da ferramenta, ele também deixa menos tensões residuais no metal e ajuda a encaminhar a peça para o formato final. Muitas vezes desbastando desta maneira, o processo de semi-acabamento pode ser eliminado, ganhando mais tempo de máquina e ferramenta.

2. Reconhecimento de Material Remanescente (KSR - Knowledge Of Stock Remaining)

Ultimamente muitos sistemas CAD/CAM de ponta introduziram processos de retrabalho em desbaste ou "re-desbaste". Esta técnica é excelente para empresas onde diferentes métodos de desbaste são empregados. O processo de "re-desbaste" está no coração da tecnologia de KSR (Knowledge Of Stock Remaining). A usinagem do desbaste inicial é executada primeiro. O modelo resultante é então utilizada como se fosse um novo bloco (material) para a usinagem subsequente. O desbaste então pode avançar de acordo com qualquer método comum (paralelo, espiral) com o novo bloco. Este método produz um caminho de ferramenta extremamente eficiente que "fica em contato com o material" e elimina "cortes no ar".

Re-usinagem (acabamento) é o processo de criação de caminhos de ferramenta em áreas onde as ferramentas anteriores não removeram todo o material

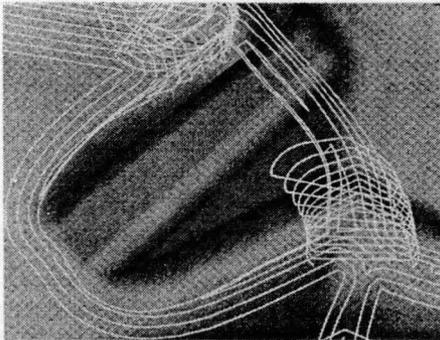


Figura 2 – Re-usinagem de áreas verticais com passes em Z e em áreas planas em espiral.

Existem muitos métodos para remover este material não cortado, otimização vertical, otimização horizontal, usinagem "pencil" e usinagem "rest milling". Estas novas estratégias de usinagem devem também levar em conta os preceitos necessários para HSM.

A trajetória da ferramenta é otimizada de acordo com o reconhecimento do material remanescente do processo anterior. Isto permite a checagem de colisões em avanço rápido, e a eliminação de cortes no ar em áreas abertas. A checagem de colisões de haste otimiza a trajetória da ferramenta visando a proteção da ferramenta e de sua haste contra pancadas. Esta função determina a profundidade máxima em Z que a usinagem pode atingir com a ferramenta atual, e o trabalho restante é realizado com ferramentas adicionais.

Esta função também nos ajuda a definir uma usinagem de alta velocidade, ajustando a carga da ferramenta num valor constante baseado na geometria do

bloco, e o controle dos passos de descida. A geometria do bloco das áreas não usinadas é muito importante na obtenção de um caminho de ferramenta otimizado, resultando na eliminação de trabalhos desnecessários, e reduzindo o tempo de trabalho.

Este tipo de funcionalidade é particularmente importante para usinagem de alta velocidade devido ao desejo de manter-se um carga de cavaco constante. Sem um bom “re-trabalho”, ao dar acabamento nestas peças com paredes e planos, a ferramenta estaria removendo um volume relativamente grande de material (e provavelmente quebraria) quando chegasse nos cantos. Com a “re-trabalho”, os cantos mais difíceis já ficam aliviados, causando menos desgaste na ferramenta e permitindo a mesma de mover em velocidades maiores,

3. Cantos

Para que seja possível produzir um caminho de ferramenta otimizado para usinagem em alta velocidade, o sistema CAD/CAM deve estar apto a lidar com os “cantos vivos” internos, enquanto ele mantiver o sentido de corte. O resultado é um caminho de ferramenta que se traduz em uma usinagem suave e contínua.

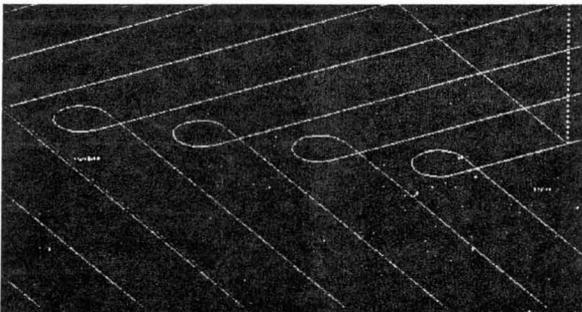


Figura 3 – Tratamento de cantos - Arredondar todos os movimentos bruscos (cantos vivos)

A função de tratamento de cantos arredonda os movimentos bruscos (cantos vivos) fora do caminho de ferramenta original. Estes cantos vivos se mantidos seriam “enxergados” pelas funções de look-ahead” dos comandos e resultariam na redução do avanço para acomodar o movimento. A eliminação deste tipo de movimento pelo sistema CAM vai produzir movimentos fluentes no caminho de ferramenta, podendo então manter os avanços e velocidades programados.

Outro método de remoção de cantos vivos é o nova técnica “stock-spiral” de desbaste. Esta técnica altamente eficiente cria sucessivos contornos paralelos em relação à ilha interna da peça até o contorno externo da mesma. A ferramenta portanto começa de forma lenta devido aos movimentos de entrada e saída na peça, mas uma vez estando dentro do material ela aumenta de forma significativa a velocidade, desta maneira mantendo uma carga de cavaco constante na ferramenta. O caminho de ferramenta resultante é de alta qualidade devido ao formato uniforme de material removido.

4. Passos Laterais

Passos laterais neste caso são as conexões entre os caminhos de ferramenta de alta velocidade. Existem quatro tipos de conexões específicas para avanço rápido disponíveis. Nós temos o "loop" 3D, o "loop" interno, o "loop" externo e a conexão denominado "taco de golfe" devido ao seu formato, todos eles visam garantir uma transição suave entre os caminhos.

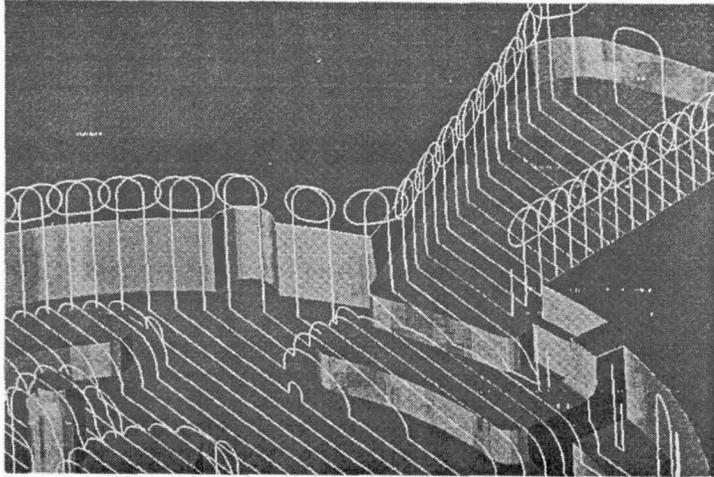


Figura 4 – Passos laterais com loops 3D

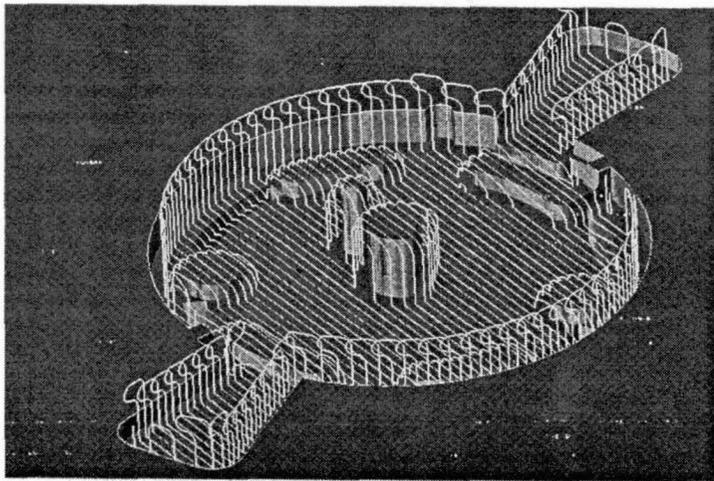


Figura 5 – Conexões por loops 3D

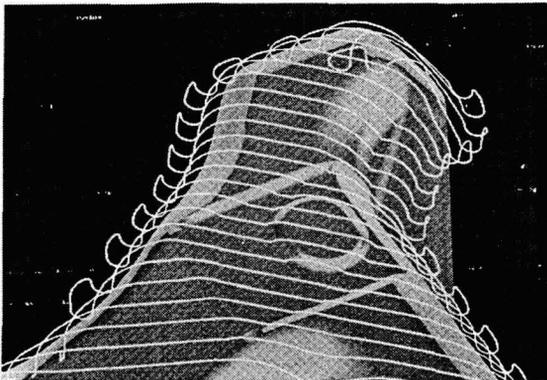


Figura 6 – Conexões com loops 3D para dentro.

Usinagem paralela sobre o modelo (também conhecida como usinagem tipo “cópia”) é o tipo de usinagem que vem sendo usada nos últimos dez anos como ciclo de acabamento para modelos de múltiplas superfícies. Este tipo de usinagem cria nela mesma muitos movimentos com cantos vivos na região dos passos laterais. Recentemente, muitos sistemas introduziram um técnica simplificada de “looping” (HSM) para remover os cantos vivos e suavizar os caminhos de ferramenta. Conexões em forma de “loop” simples entre cada passo lateral são adequados até velocidades moderadas (500-1000 mm/min) mas ainda são muito bruscas para alta velocidade. Para evitar reduções de velocidades nos cantos o sistema deve criar uma conexão nos passos laterais do tipo “taco de golfe”. Usinagens do tipo nível Z constante e horizontais estão equipadas com técnicas para alta velocidade (HSM).

5. Caminhos de ferramenta baseados em matemática NURBS

O novo código G “G6.2” representa o código de máquina para curvas (spline) do tipo NURBS. Este novo código expande os tradicionais códigos lineares e circulares para curvas spline representadas por pontos de controle e nós. O projeto dos comando para máquinas CNC incorporaram recursos de “look-ahead” que mudam dinamicamente o avanço para reduzir a rotação e para mudanças rápidas de direção. Uma extraordinária quantidade de dados de programa (NC) são ganhos através desta função, resultando numa usinagem de alta velocidade fluente.

Desde que o sistema CAD/CAM crie o caminho de ferramenta, o formato spline (NURBS) é imediatamente gerado. Isto se consegue gerando uma curva spline que contenha dados do modelo e do caminho de ferramenta acomodando os dois dentro de uma determinada tolerância. Este é um dado importante pois alguns sistemas CAM geram caminhos de ferramenta NURBS baseado somente no caminho de ferramenta linear que ele aproxima para um caminho do tipo NURBS. Acúmulo de erro na tolerância sempre ocorrem nestes casos.

6. Usinagem trocóide

Um dos novos desafios para melhorar a velocidade de usinagem em desbaste é uma nova estratégia conhecida como usinagem trocóide. Este estilo de usinagem remove material usando como base da aresta de corte da ferramenta.

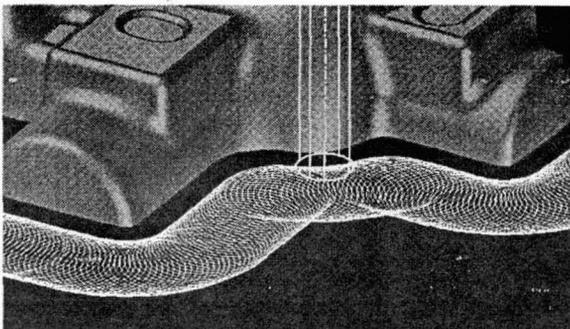


Figura 7. Uma trocóiide é qualquer curva definida por um ponto fixo na curva A, enquanto A rola sobre outra curva B sem escapar.

O nome trocóiide define uma família de curvas. Uma trocóiide é definida através da trajetória de um ponto fixo em um círculo que é rotacionado ao longo de uma reta. De maneira geral, trocóiide é qualquer curva que resulta de uma ponto fixo na curva A, enquanto que A é rotacionada sobre outra curva B sem desviar .

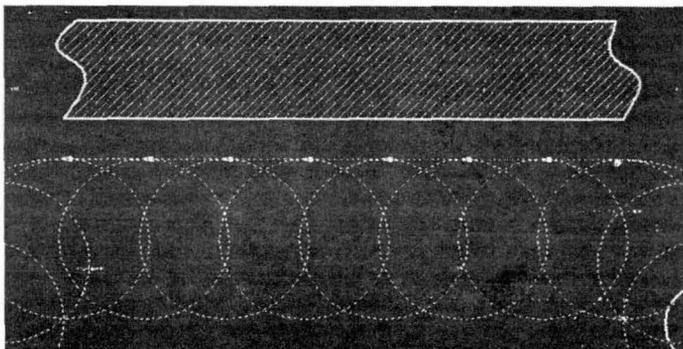


Figura 8 – Desenho da curva de uma trocóiide.

Usinagem trocóiide está bem adaptado para HSM porque a ferramenta sempre se move com um padrão em forma de arco, o que permite manter o avanço máximo durante todo o processo de usinagem.

7. Desbaste por mergulho

Um novo estilo de desbaste chamado desbaste por mergulho (Plunge roughing), usa ferramentas especiais indicadas para a usinagem de moldes e estampos profundos. O desbaste por mergulho emprega um caminho de ferramenta similar aos ciclos de furação para remover material nas áreas profundas de uma cavidade usando a direção primária (eixo Z) das máquinas CNC. Este método tem se provado excelente no desbaste de geometrias que descrevem cavidades profundas.

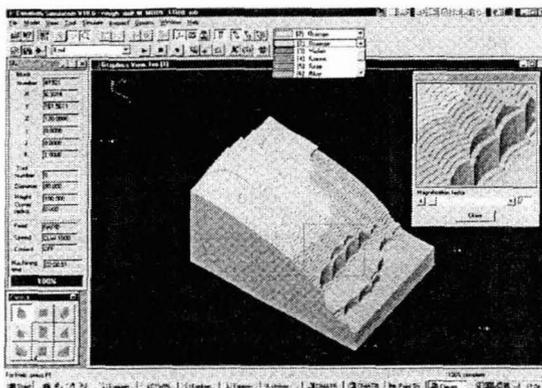


Figura 9. Desbaste por mergulho.

Desbaste por mergulho vem chamando muita atenção em usinagens de grandes moldes e estampos. Prolongadores de ferramenta são necessários para a usinagem de grandes moldes de metal. Vibrações tendem a ser geradas com estes tipos de prolongadores num fresamento convencional, porque a direção de usinagem é realizada descrevendo um ângulo reto em relação ao eixo principal (Z). Este tipo de situação impede melhorias na condição de usinagem. Esta vibração pode ser reduzida usando o método vertical de usinagem, pelo fato do sentido de corte ser o mesmo do eixo principal. A condição de usinagem pode então ser melhorada, resultando em uma redução do tempo de usinagem.

Conclusão

O uso de estratégias especiais para HSM necessitam que o material seja removido em quantidades pequenas e com passos laterais menores. O segredo da estratégia de corte é ter uma carga de cavaco constante sendo removido, com a ferramenta em constante contato com o material. O padrão de corte que é freqüentemente usado para desbaste é o ciclo de desbaste por níveis Z constantes, em formato espiral. Em alguns casos esta técnica é também utilizada para acabamentos.

A situação ideal para acabamentos é que as áreas planas sejam feitas seguindo o fluxo das mesmas (em cópia: de fora para dentro, ou de dentro para fora), e as paredes devem ser feitas com perfis em Z constante. Levando-se em conta a velocidade da ferramenta, recursos de entrada suave em rampa são necessários, e deve-se evitar de mergulhar na peça. Conseqüentemente, padrões de corte com cantos vivos e mudanças bruscas de direção devem ser minimizados.

A suavidade da superfície usinada é determinada em sua maioria pela altura da crista deixada entre passes. Usando um passo lateral menor e de maneira mais inteligente esta altura diminui. Profundidades de corte pequenas contribuirão drasticamente na redução do processo de polimento. HSM oferece uma forma eficiente de usar ferramentas pequenas. As altas rotações do eixo árvore permitem remover pouco cavaco, mesmo assim aumentando o tempo de usinagem, que no final vai gerar uma redução de tempo do processo. A temperatura neste caso é transferida para o cavaco. Dessa forma torna-se prático para uma máquina CNC de HSM gerar detalhes pequenos que seriam feitos normalmente através de insertos ou

eletro-erosão por penetração. Usinagem HSM pode ser uma alternativa para fabricação de moldes e estampos mesmo em materiais mais duros (50 HRC). Reduzindo ou eliminando o processo de eletro-erosão pode ocasionar em uma grande redução de tempo - não só pelo fato de que o processo em si é demorado, mas também pelo fato de que requer a confecção de um eletrodo. Comparado com os processos convencionais de usinagem, HSM gera uma temperatura bem menor na ferramenta.

O recurso final é ter um sistema CAM capaz de reconhecer os recursos de manufatura e automaticamente usinar o material usando toda a sua experiência de "chão de fábrica". A próxima geração de sistemas CAD/CAM vai aliar estratégias tanto de Reconhecimento de Recursos de Manufatura (RRM) quanto Usinagem Baseada em Experiência (UBE) para criar um processo completo de automatização do processo de manufatura. Este sistema vai oferecer uma automatização completa, e ainda permitir que usuários experientes o adaptem ao seu estilo de trabalho. Como um sistema baseado em experiências práticas, o mesmo permitirá que os usuários armazenem suas próprias técnicas de manufatura.

BIBLIOGRAFIA

MARINAC, DAN. *Estratégias de caminho de ferramenta para high speed machining*
Livonia, Michigan, Cimatron Technologies

TOOLPATH STRATEGIES FOR HIGH SPEED MACHINING

1. Dan Marinac

2. Rogério de Paula Francisco

There are many challenging components for the toolmaker to consider for the successful implementation of High Speed Machining (HSM). Much has been written about the impact HSM has had on CNC machine tools, fixtures, spindles, tool holders, cutting tools, and controls. Often forgotten is the impact that High Speed Machining has on toolpath programming techniques.

Computer Aided Machining (CAM) technology is coming to recognize the specific needs for new toolpath strategies and approaches to suit the HSM environment. HSM can be defined as the use of higher spindles speeds and feed rates to removal material faster without a degradation of part accuracy or quality. The goal is clear – finish mill, to net shape, molds and dies to improve surface finish and geometric accuracy so that polishing is reduced or eliminated.

Some of the benefits of implementing HSM are to shorten delivery times, improved surface finish, reduced bench time, increased cutting efficiency, reduce workpiece distortion, reduce or eliminate the EDM process.

The challenge to the CAD/CAM system is to make passes with very small stepovers at very high feed rates. And this must be accomplished without forcing the tool to make sharp turns, because the look-ahead features of HSM controls will automatically reduce the feed rate when they detect a corner approaching. In addition, in order to overcome data starvation—which will also impair the feed rate—the CAD/CAM system may be required to output tool paths appropriate to HSM controls capable of running NURBS-based G-code.

This article discusses CAD/CAM features that can help die/mold shops realize effective HSM.