

TECNOLOGIA HSM APLICADA COMO DIFERENCIAL COMPETITIVO NA PRODUÇÃO DE MOLDES E MATRIZES¹

Luis Felipe Medeiro Alves²
Nivaldo Lemos Coppini³
Sérgio Bezerra de Barros⁴
Silvio Bauco⁵

Resumo

Desde a patente de C. Salomon, em 1931, a tecnologia *High Speed Machining* é a tecnologia mais pesquisada e avançada no campo da usinagem. Os resultados mais importantes descritos, e que serão abordados neste trabalho, são a diminuição da temperatura na interface ferramenta-peça, menor esforço de corte e melhor acabamento superficial. Isso, aliado a outras vantagens tornam a HSM a tecnologia de ponta mais utilizada em usinagem.

Palavras-chave: *High speed machining*; Moldes; Matrizes; Usinagem.

HSM TECHNOLOGY APPLIED AS A COMPETITIVE ADVANTAGE IN DIE & MOLD PRODUCTION

Abstract

Since the rank of C. Salomon in 1931, the High Speed Machining technology is the most researched and advanced technology in the field of machining. The most important results described, and that will be evaluated in this study, are the decrease of temperature in the interface tool-piece, less cutting force and better surface finish. It, combined with other advantages make the HSM the most advanced technology used in machining.

Key words: High speed machining; Die; Mold; Machining.

¹ *Contribuição técnica ao 7º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 15 e 16 de julho de 2009, São Paulo, SP.*

² *Sandvik Coromant / Faculdade de Tecnologia de São Paulo*

³ *Prof.Dr. Eng. Universidade Nove de Julho*

⁴ *Mestrando. General Motors.*

⁵ *Prof. Eng. Sandvik Coromant / Fundação Santo André*

1 INTRODUÇÃO

O termo *High Speed Machining* – Usinagem com Altas Velocidades de Corte (HSM) comumente se refere ao fresamento de topo com altas velocidades rotacionais e altos avanços. Há algumas décadas, a HSM tem sido aplicada em uma ampla gama de materiais metálicos e não metálicos, incluindo a produção de peças com necessidades específicas de superfície e usinagem de materiais com dureza de até 64 HRC.

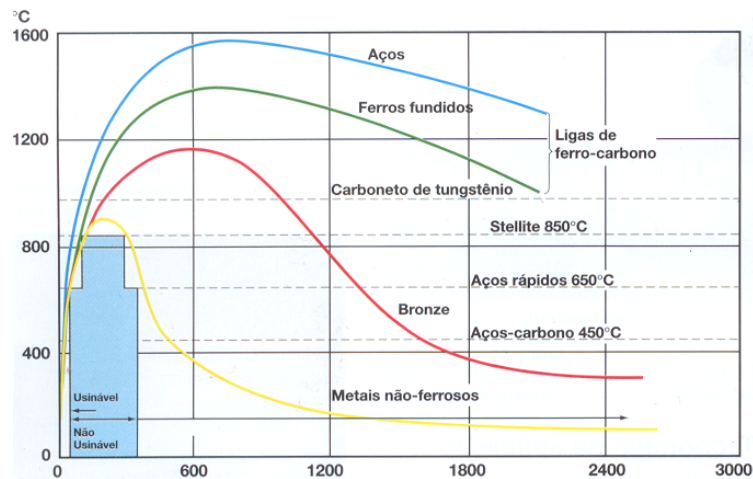


Figura 1. Temperatura em relação à Velocidade de Corte.

2 MATERIAIS

Os vários segmentos da indústria em geral requerem novas soluções especialmente em termos de materiais: a indústria aeroespacial em geral utiliza-se de ligas resistentes ao calor e aços inoxidáveis; a indústria automotiva, diferentes composições e bimetálicas, ferro fundido compactado e um volume crescente de alumínio. Já a indústria de moldes e matrizes tem que enfrentar principalmente o problema de usinar aços-ferramenta com alta dureza, os quais exigem máximo desempenho da ferramenta durante todo o processo.

3 QUALIDADE

A HSM pode contribuir para a minimização do acabamento manual, especialmente importante em moldes, matrizes ou peças com uma geometria tridimensional complexa. Isso resulta em superfícies de alta qualidade superficial e dimensional, além de economia de custos de manufatura.

4 A DEFINIÇÃO ORIGINAL DE HSM

A teoria de C. Salomon a respeito de Usinagem com Altíssimas Velocidades de Corte, sobre a qual a empresa Friedrich Krupp AG obteve patente em 1931, assume que “a uma determinada velocidade de corte (5~10 vezes mais elevado que na usinagem convencional), a temperatura de remoção de cavacos começará a diminuir...”.

Da qual se conclui: “... haver uma chance para melhorar a produtividade na usinagem com ferramentas convencionais a altas velocidades...”.

As pesquisas modernas infelizmente não têm sido capazes de verificar essa teoria em toda a sua extensão. Há uma diminuição relativa da temperatura na aresta de corte que se inicia com determinadas velocidades de corte e varia para diferentes materiais. A diminuição é pequena para aços e ferros fundidos e maior para alumínio e outros metais não-ferrosos.

5 CARACTERÍSTICAS DA HSM EM AÇOS-FERRAMENTA ENDURECIDOS

Dentro da área de moldes e matrizes, o tamanho máximo econômico da peça, para desbaste e acabamento com HSM é aproximadamente 400 x 400 x 150 (c, l, a). O tamanho máximo da peça está relacionado com a taxa de remoção de material relativamente baixa na HSM e, obviamente, também com as condições dinâmicas e o tamanho da máquina-ferramenta.

A maioria dos moldes e matrizes possui um tamanho consideravelmente menor que o mencionado acima, e podem ser usinados com HSM em uma única preparação. As operações típicas realizadas são desbaste, semi-acabamento e acabamento, e cada vez mais o acabamento super-fino.

A gama de diâmetros de ferramentas comumente usados é de 1 mm à 20 mm. As ferramentas de corte são em 80% a 90% dos casos fresas de topo reta de metal duro ou fresas de topo com ponta esférica. Fresas de topo com raios de canto grandes também são freqüentemente usadas. As ferramentas inteiriças de metal duro devem ter arestas de corte reforçadas e ângulos de saída negativos ou neutros (principalmente para os materiais acima de 54 HRC). Uma característica de desenho importante e típica para fresas de topo é uma seção central espessa, para máxima resistência à deflexão.

É também favorável usar as fresas de topo retas e de ponta esférica com comprimento de aresta de corte e comprimento de contato reduzidos. Ferramentas de corte de diâmetros pequenos com pastilhas intercambiáveis podem ser utilizadas, especialmente para desbaste e semi-acabamento. Elas devem ter uma estabilidade de haste maximizada, para proporcionar resistência à deflexão. Uma haste cônica melhora a rigidez, bem como hastes fabricadas com metal pesado ou metal duro.

Um parâmetro importante a se observar na HSM, no acabamento ou acabamento fino em aços-ferramenta endurecidos são as pequenas profundidades de corte. Estas não devem exceder 0,2/0,2 mm (a_c/a_p). Isso é para evitar deflexão excessiva no suporte/ferramenta de corte, mantendo um alto nível de tolerância e precisão geométrica do molde ou matriz usinada. Um sobremetal distribuído de maneira uniforme para cada ferramenta também irá garantir um nível de produtividade alto e constante. A velocidade de corte e o avanço poderão ser mantidos em níveis altos e constantes quando a_e/a_p forem constantes e haverá menor número de variações mecânicas, na aresta de corte, proporcionando uma maior vida útil para a ferramenta.

Tabela 1: Dados de corte para HSM – por experiência

| Material | Dureza | v_c conv v_e , | R HSM | F HSM |
|-------------|-----------|--------------------|--------|--------|
| Aço 01.2 | 150 HB | < 300 | > 400 | < 900 |
| Aço 02.1/2 | 330 HB | < 200 | > 250 | < 600 |
| Aço 03.11 | 300 HB | < 100 | > 200 | < 400 |
| Aço 03.11 | 39-48 HRc | < 80 | > 150 | < 350 |
| Aço 04 | 48-58 HRc | < 40 | > 100 | < 250 |
| GCI 08.1 | 180 HB | < 300 | > 500 | < 3000 |
| Al/Kirksite | 60-75 HB | < 1000 | > 2000 | < 5000 |
| Não ferr. | 100 HB | < 300 | > 1000 | < 2000 |

6 MOLDES PARA FUNDIÇÃO

Esta é uma área onde a HSM pode ser utilizada de forma produtiva, pois a maioria dos moldes para fundição é fabricada em aços-ferramentas de difícil usinabilidade e possuem tamanho médio ou pequeno.

7 MATRIZES PARA FORJAMENTO

A maioria das matrizes para forjamento é adequada para HSM, devido à geometria rasa que geralmente apresentam. Ferramentas curtas, com pouco balanço, sempre resultam em maior produtividade, graças à menor deflexão. A manutenção das matrizes para forjamento (rebaixar o perfil) é uma operação muito exigente pois a superfície é muito dura, encruada e geralmente apresenta trincas.

8 MOLDES DE INJEÇÃO E MOLDES DE SOPRO

Também são apropriados para HSM, principalmente graças ao seu tamanho (geralmente) pequeno. O que torna econômica a execução de todas as operações (do desbaste ao acabamento) em uma única preparação. Muitos desses moldes possuem cavidades relativamente profundas. Isso exige um planejamento muito bom dos percursos das ferramentas e estratégias de corte. Geralmente são utilizados prolongadores longos e delgados, em combinação com ferramentas de corte leves.

9 FRESAMENTO DE ELETRODOS EM GRAFITA E COBRE

A grafita pode ser usinada de maneira produtiva usando-se fresas de topo de metal duro com cobertura de TiCN ou diamante. A tendência é que a fabricação de eletrodos e o emprego de EDM (Eletroerosão) vá diminuindo constantemente, ao passo que a remoção de material por HSM (High Speed Machining – Usinagem com altas Velocidades) vai aumentando.

10 MODELAGEM E FABRICAÇÃO DE PROTÓTIPOS DE MATRIZES E MOLDES

Uma das primeiras áreas para HSM. Materiais fáceis de usinar, tais como não-ferros, alumínio, kirkzite, etc. As velocidades de corte geralmente chegam a 1500-5000 m/min e os avanços também são, conseqüentemente, altíssimos.

11 METAS PARA A USINAGEM EM HSM DE MOLDES E MATRIZES

Uma das principais metas da utilização de HSM é cortar os custos de produção através de uma produtividade mais alta. Principalmente em operações de acabamento e freqüentemente em aços-ferramenta endurecidos-temperados. Outra meta é aumentar a competitividade geral através de prazos de execução e entrega mais curtos. Os principais fatores que possibilitam isso são:

- ♥ produção de matrizes ou moldes em poucos, ou em um único *set-up*;
- ♥ melhoria da precisão geométrica da matriz ou molde através da usinagem, o que, por sua vez, reduz o trabalho manual e o tempo de *try-out*; e
- ♥ aumento da eficácia de utilização das máquinas-ferramentas e da fábrica, através do planejamento de processos, com a ajuda de um sistema CAM e uma programação orientada para a fábrica.

12 VANTAGENS DA HSM

As temperaturas da ferramenta de corte e da peça são mantidas baixas. O que, em muitos casos, resulta em maior vida útil da ferramenta. Nas aplicações de HSM, as profundidades de corte são pequenas e o tempo de contacto da aresta de corte com a peça é extremamente curto.

Pode-se dizer que a velocidade de avanço da ferramenta é maior que a velocidade de propagação do calor.

13 BAIXA FORÇA DE CORTE RESULTA EM UMA DEFLEXÃO PEQUENA E CONSISTENTE DA FERRAMENTA

Como as profundidades de corte são tipicamente pequenas na HSM, as forças radiais que atuam sobre a ferramenta e o fuso são baixas. Isso evita desgastes prematuros nos rolamentos do fuso, guias & parafusos de acionamento. O fresamento axial também é um boa opção em HSM, pois o impacto sobre os rolamentos do fuso é pequeno e o método também permite ferramentas mais longas com menor risco de vibrações.

Proporciona alta produtividade no acabamento em geral e possibilidade de obter um acabamento superficial extremamente bom. Geralmente da ordem de $Ra \sim 0,2$ microns.

Possibilita a usinagem de paredes muito finas. Por exemplo, uma parede de 0,2 mm de espessura e altura de 20 mm pode ser usinada com este método. Trajetórias de fresamento concordante devem ser utilizadas. O tempo de contato entre a aresta e a peça deve ser extremamente curto para evitar vibrações e deflexão da parede. A microgeometria da fresa deve ser muito positiva e as arestas, muito afiadas.

A precisão geométrica das matrizes e moldes proporciona uma montagem mais fácil e mais rápida. Nenhum ser humano, não importa o quão habilitado, pode

competir com uma textura e geometria superficial produzida por um sistema CAM e máquinas CNC. Algumas horas podem ser consumidas a mais na usinagem HSM, porém o trabalho de polimento manual pode ser reduzido drasticamente. Geralmente de 60% à 100%.

Processos intermediários, como tratamento térmico, fresamento de eletrodos e EDM podem ser minimizados. O que resulta em custos de investimentos mais baixos, além de simplificar a logística. A menor utilização de equipamentos de EDM também resulta em menor necessidade de espaço na fábrica. A HSM pode usinar com tolerância dimensional de 0,02 mm, enquanto a tolerância no caso da EDM é de 0,1 mm - 0,2 mm.

A vida útil de uma matriz ou molde temperado pode, as vezes, ser aumentada quando se substitui EDM pela usinagem HSM. A EDM pode, se realizada incorretamente, gerar uma camada fina retemperada, diretamente sob a camada erodida. A camada retemperada pode ter uma espessura de até 20 microns e uma dureza de até 1000 Hv. Como essa camada é consideravelmente mais dura que a matriz, ela deve ser removida. Esse é um trabalho de polimento geralmente demorado e difícil. A EDM também pode induzir trincas verticais por fadiga na camada superior derretida e ressolidificada. Essas trincas podem, durante condições desfavoráveis, ocasionar até mesmo a quebra total de uma parte da ferramenta.

14 ALGUMAS DESVANTAGENS DA HSM

As taxas de aceleração e desaceleração mais altas e a partida e parada do fuso ocasionam um desgaste relativamente mais rápido das guias roscas de acionamento e rolamento do fuso.

São necessários conhecimentos específicos do processo, equipamentos de programação e interface para rápida transferência de dados.

Pode ser difícil encontrar e recrutar pessoal qualificado.

Tempo relativamente grande para ganho de experiência.

A parada de emergência é praticamente desnecessária. Erros humanos e erros de hardware ou software geram grandes conseqüências.

15 FLUIDO DE CORTE NA HSM

Na usinagem convencional, quando existe muito tempo para a propagação de calor, às vezes pode ser necessário usar refrigerante para evitar que o calor excessivo seja conduzido para dentro da peça, da ferramenta de corte e porta ferramenta e, finalmente, para dentro do fuso da máquina. Como efeito do calor, pode ser que a ferramenta e a peça se dilatam e as tolerâncias podem ficar comprometidas.

Esse problema pode ser solucionado de diferentes maneiras, como já foi discutido anteriormente, é muito mais favorável, para a precisão da matriz e molde, mesmo no processo convencional, dividir o desbaste e o acabamento em máquinas-ferramentas separadas. O calor produzido para dentro da peça ou do fuso da máquina no acabamento pode ser desconsiderado, outra solução é usar um material de corte que não conduza calor. Neste caso, a porção de cavacos, mesmo na usinagem convencional.

Pode parecer trivial, mais um dos principais fatores para o sucesso nas aplicações de HSM é o escoamento total de cavacos da zona de corte. Evitar o

recorte de cavacos quando se trabalha em aço endurecidos é absolutamente essencial para uma vida útil previsível das arestas de corte e para uma boa segurança de processo.

A melhor maneira de garantir um perfeito escoamento de cavacos é usar ar comprimido. Deve-se dirigi-lo bem para a zona de corte, o melhor mesmo é se a máquina ferramenta tiver uma opção para ar através do fuso.

16 USINAGEM A ALTAS VELOCIDADES (HSM)

Neste cenário, o fresamento a altas velocidades (HSM) oferece uma oportunidade das mais apropriadas para redução dos tempos de operação, pois as altas velocidades de corte e de avanço envolvidas permitem reduzir os tempos de produção e minimizar o retrabalho, em virtude da obtenção de menor espaçamento entre trajetórias.

De acordo com Schulz (1996), com o aumento da velocidade de corte ocorre uma redução nas forças de usinagem, maior taxa de remoção de cavacos, melhoria na qualidade superficial das superfícies usinadas e redução da vida das ferramentas de corte (Figura 2).

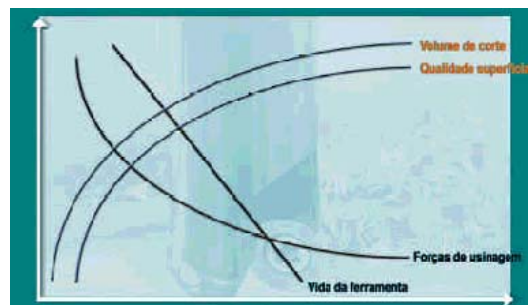


Figura 2: Características ocorridas com o aumento da velocidade de corte.

A utilização de altíssimas velocidades de corte oferece um conjunto de vantagens técnicas e econômicas em vários campos de aplicação. A faixa de utilização considerada para HSM depende, sobretudo do material da peça, tipo de operação de corte e da ferramenta de usinagem, sendo geralmente de 5 vezes a 10 vezes mais elevada que na usinagem convencional.

Atualmente, a tecnologia HSM vem sendo desenvolvida principalmente para as operações de fresamento, atendendo a duas áreas da manufatura: operações de desbaste e acabamento de materiais não-ferrosos e o pré-acabamento e acabamento final para os materiais ferrosos e ligas de difícil usinabilidade. Assim, as principais áreas de aplicação para HSM são: cavidades e insertos em geral (moldes de injeção, moldes para fundição e matrizes para forjamento), eletrodos de grafite e cobre, componentes de paredes finas, indústria óptica e usinagem de alta precisão, modelagem e fabricação de protótipos, peças automotivas, etc., sendo que as cinco últimas são áreas específicas para a HSM.

De acordo com Choi et al. (1997), os principais problemas que ainda dificultam o uso da usinagem HSM na indústria de moldes e matrizes estão relacionados com o material para as ferramentas de corte e a geração de trajetórias por CAD/CAM para superfícies complexas. Os métodos convencionais para geração de trajetórias possuem limitações frente às exigências impostas pelo ambiente HSM, que são:

- ♥ usinagem livre de interferência e colisão;

- ♥ carga sobre a ferramenta de corte constante (pelo ajuste da velocidade de avanço);
- ♥ geração de trajetórias de corte suaves (raios na mudança de direção);
- ♥ mecanismos de verificação; e
- ♥ planejamento das trajetórias baseado em características da usinagem.

É importante enfatizar que estas exigências também são importantes na usinagem convencional, porém assumem maior importância nas aplicações a altas velocidades pelo fato de haver pouco tempo para uma possível intervenção humana sobre o processo de usinagem (devido à velocidade e complexidade das trajetórias envolvidas).

Adicionalmente, tem-se verificado grandes desenvolvimentos em ferramentas de corte pela utilização de diferentes materiais, revestimentos, etc.

Na usinagem de moldes e matrizes, uma das principais metas da utilização de HSM é reduzir os custos de produção por meio de uma produtividade mais alta, principalmente em operações de acabamento e freqüentemente em aços-ferramenta endurecidos/ temperados. Outra meta é aumentar a competitividade geral por meio de prazos de execução e entrega mais curtos, onde os principais fatores que possibilitam isto são (Sandvik, 2000):

- ♥ produção de moldes ou matrizes em poucos, ou em um único set up;
- ♥ melhoria da precisão geométrica do molde ou matriz por meio da usinagem, o que, por sua vez, reduz o trabalho manual;
- ♥ aumento da eficácia de utilização das máquinas-ferramentas e da fábrica, por meio do planejamento e processos, com o auxílio e sistemas CAM e uma programação orientada para a fábrica.

Além disso, por meio da usinagem a altas velocidades na produção de moldes e matrizes, processos intermediários como tratamento térmico, fresamento de eletrodos e EDM podem ser minimizados, o que resulta em custos de investimento mais baixos, além de simplificar a logística do processo.

17 SISTEMAS CAM

A partir do advento dos sistemas CAD/CAM, aliado a máquinas-ferramentas de três eixos, com movimentos simultâneos e controlados (CNC), verificaram-se grandes evoluções na área de moldes e matrizes. Não se precisava mais dispor do modelo do produto para fabricar a cavidade; podia-se, então, fabricar moldes com as mais variadas geometrias. Os limites para criatividade passaram a ser mais amplos e como consequência verificou-se um aumento do número de variáveis envolvidas no processo.

18 CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS NO CAM PARA APLICAÇÕES HSM

Em se tratando de aplicações de HSM, é necessário que as indústrias de moldes e matrizes façam uso de tecnologias CAD/CAM para atuarem de maneira competitiva neste setor. Neste contexto, é de grande importância usar os softwares de CAM de forma eficaz, fazendo com que se evidencie a necessidade do conhecimento dos requisitos e características importantes por parte do sistema CAM para atender às exigências impostas por um processo de usinagem efetivo. Para gerar estratégias de corte eficientes e alcançar os melhores resultados possíveis numa usinagem HSM, algumas funções ou características devem ser procuradas pelos fabricantes de moldes no momento da escolha por um sistema

CAD/CAM mais adequado a suas necessidades. Oliveira (2002) selecionou alguns recursos ou facilidades desejáveis em um software CAD/CAM voltados à área de HSM que dizem respeito à:

18.1 Obtenção de Dados Precisos da Superfície Modelada

O software deve ser capaz de detectar e reparar alguns erros ou defeitos superficiais tais como folgas (gaps), sobreposições (overlaps) e superfícies não-tangenciais no modelo geométrico a ser usinado, pois isto afetará a qualidade superficial final aumentando, por exemplo, a etapa de polimento manual.

18.2 Precisão do Corte (*Accurate Cutting*)

O software de CAM deve ser capaz de calcular as trajetórias da ferramenta diretamente dos dados da superfície. Alguns CAM utilizam uma aproximação ou triangularização/STL para gerar as trajetórias. Apesar de melhorar a velocidade de processamento do software, entre outros benefícios, o formato STL tem suas limitações, como a dificuldade de manipulação e edição da geometria e a necessidade de um maior espaço para armazenamento do arquivo (Silva, 2000, Cavalheiro, 1998).

18.3 Análise da Superfície

O CAM deve possuir recursos que analisem a curvatura de arredondamentos para determinar o diâmetro de corte requerido, além de determinar os requisitos necessários do comprimento de corte para ter certeza que não ocorrerão interferências entre o suporte da ferramenta e a peça a ser usinada.

18.4 Interferências de Usinagem (*Avoidance Gouge*)

O sistema CAM não deve apresentar limitação em usar os tipos de geometria de ferramenta de corte disponíveis e deve evitar qualquer tipo de interferência de usinagem ao usar algum tipo.

18.5 Limite de Trajetória (*Toolpath Bounding*)

O CAM deve possuir recursos que permitam ao usuário limitar uma certa extensão da trajetória arbitrariamente para que só uma parte ou região do modelo seja usinada.

18.6 Associatividade entre Trajetória e Geometria

É desejável que o software apresente trajetórias da ferramenta que sejam fáceis de editar para atender a possíveis mudanças na fabricação. Deve existir, também, uma associatividade entre as trajetórias e a geometria para permitir que mudanças no modelo ou estratégia de usinagem sejam imediatamente atualizadas na trajetória da ferramenta (updated toolpath) sem a necessidade de reentrar com os dados.

18.7 Corte Concordante

O CAM deve ser capaz de fresar no sentido concordante, sempre que o usuário necessitar, para alcançar um melhor acabamento superficial. Muitos softwares permitem fresamento concordante somente quando cortando uma cavidade macho (core) ou uma cavidade fêmea (*cavity*).

18.8 Usinagem em 4 E 5 Eixos e Diferentes Tipos ee Estratégias

O software de CAM deve permitir a usinagem em 4 e 5 eixos além de possuir um número considerável de estratégias de desbaste e acabamento. Adicionalmente, o software deve apresentar as funções mais relevantes, desenvolvidas ou em desenvolvimento, em termos de estratégias de usinagem.

18.9 Banco de Dados para Usinagem

O software de CAM deve possuir um banco de dados para ferramentas e materiais (conhecido como biblioteca de usinagem), disponível no sistema, que automaticamente calcule as velocidades de avanço e rotação.

Atualmente, existem softwares de CAM com banco de usinagem que permitem 1,7 milhões de combinações de avanço/rotação associadas a mais de 1100 tipos de materiais.

18.10 Otimização das Taxas de Avanço

É desejável que o software de CAM seja capaz de monitorar o volume de material sendo removido pela ferramenta de corte durante o processo de usinagem HSM para se ter uma taxa de remoção constante. Alguns podem reduzir as velocidades de avanço usando um processo de otimização depois que a trajetória é gerada. A otimização das taxas de avanço, além de permitir uma redução de até 50% do tempo de usinagem, resultando numa maior produtividade e menor prazo de entrega do produto leva a outros benefícios, como a redução do desgaste da ferramenta de corte e máquina-ferramenta, melhoria da qualidade superficial e menor necessidade do operador no processo, liberando-o para outras atividades.

18.11 Re-Usinagem

O software de CAM deve possuir a habilidade para realizar uma segunda operação de desbaste conhecida como de re-usinagem ou desbaste residual, executando-a de maneira precisa com uma ferramenta de menor diâmetro de corte.

18.12 Entradas e Saídas da Ferramenta

O software de CAM deve dispor de uma variedade de recursos para movimentação de entrada e saída da ferramenta de corte na área de usinagem, principalmente para ferramentas com balanço para evitar sua quebra.



Figura 3: Controle do incremento lateral e altura da crista.

O software de CAM deve permitir que o usuário especifique uma distância fixada entre cada passe ou ainda a máxima altura de crista e a máxima tolerância superficial. Deste modo o CAM gera o incremento lateral apropriado para desenvolver um programa CN menor e um ciclo de usinagem tão rápido quanto possível.

18.13 Interpolação por Nurbs

É desejável que o software de CAM apresente suporte para NURBS, método eficiente para representar matematicamente curvas ou superfícies e que está rapidamente tornando-se um padrão na indústria.

18.14 Interface Amigável

O CAM deve possuir uma interface de fácil comunicação com o usuário e esta ainda é uma das características de maior influência no momento da escolha por um software de CAM. Além disso, o software deve possuir uma curva de aprendizado que facilite a evolução de conhecimento por parte do usuário.

18.15 Suporte Técnico

Os fornecedores do software devem estar facilmente disponíveis para prestar quaisquer tipos de serviços técnicos aos seus usuários e aptos a solucionar imediatamente os possíveis problemas que venham a ocorrer.

19 CONCLUSÕES

Percebemos, assim, que a tecnologia CAM está se desenvolvendo atualmente para ir de encontro às exigências impostas pelo processo de fresamento a altas velocidades com recursos mais adequados a este processo que, se conhecidos e aplicados de maneira eficiente, possibilitarão uma usinagem HSM efetiva. Assim, é importante buscar um método de programação avançado por meio do conhecimento e uso dos recursos importantes desenvolvidos e disponibilizados pelos fabricantes de CAM para aplicações a altas velocidades.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer aos mestres e doutores da Universidade Nove de Julho, pelo apoio e camaradagem.

Também se junta à nossa gratidão a Sandvik Coromant do Brasil, por auxiliarnos na difusão do conhecimento.

REFERENCIAS

- 1 FERRARESI, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- 2 KOMANDURI, R. Status of High-Speed Machining: Part 1. Carbide and Tool Journal September/October, pp. 29-34. 1986.
- 3 SCHULZ, H. Hochgeschwindigkeitsfrasen metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe. Munchen/Wien: Carl Hanser Verlag, 1989.
- 4 SCHULZ, H. State of the Art and Trends of High Speed Machining. Seminário de Usinagem com Altíssimas Velocidades de Corte e Alta Precisão. Universidade Metodista de Piracicaba, 1997.
- 5 SHAW, M. C. Machinability. 151 Special Report 9/4. London: The Iron and Steel Institute, 1967, S. I.