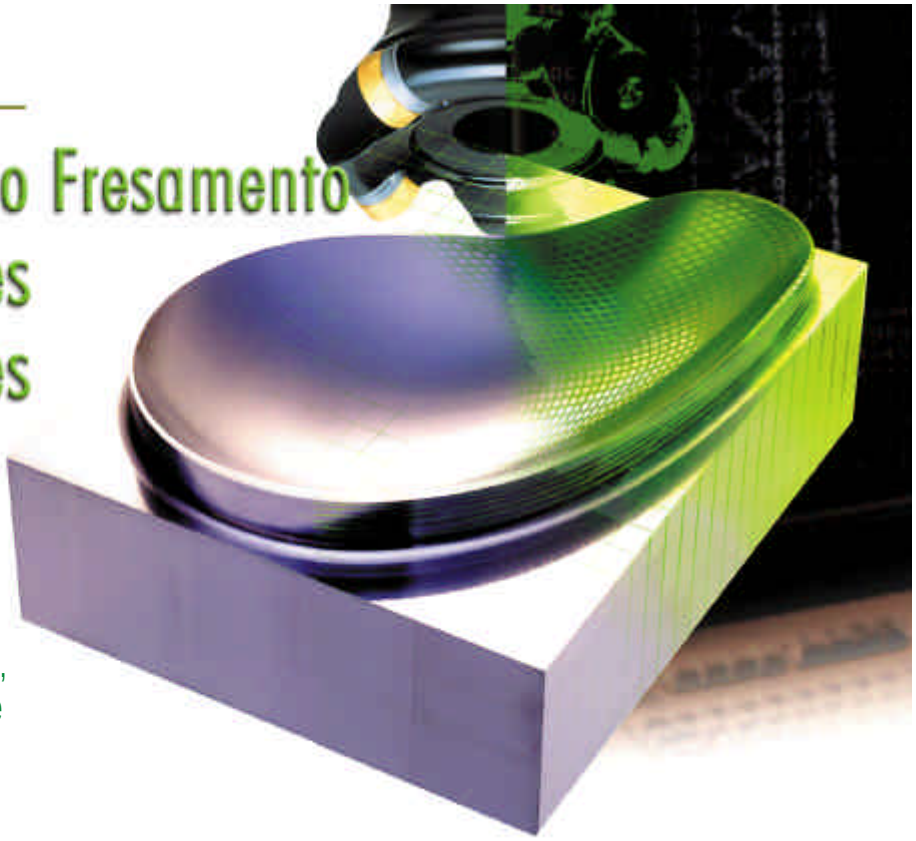
Sistemas *CAM* para o Fresamento em Altas Velocidades de Moldes e Matrizes



A redução do ciclo de vida dos produtos, o aumento da variedade e complexidade geométrica de seus componentes e o crescimento da pressão competitiva internacional são os principais motivos para apressar as etapas de desenvolvimento de produtos moldados por injeção, em particular as etapas de projeto e manufatura de moldes e matrizes

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 (Oliveira, 2002).

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 (figura1).

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 a 10 vezes mais elevada que na usinagem convencional (Oliveira, 2002, Schulz, 1996, Schulz 1997).

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

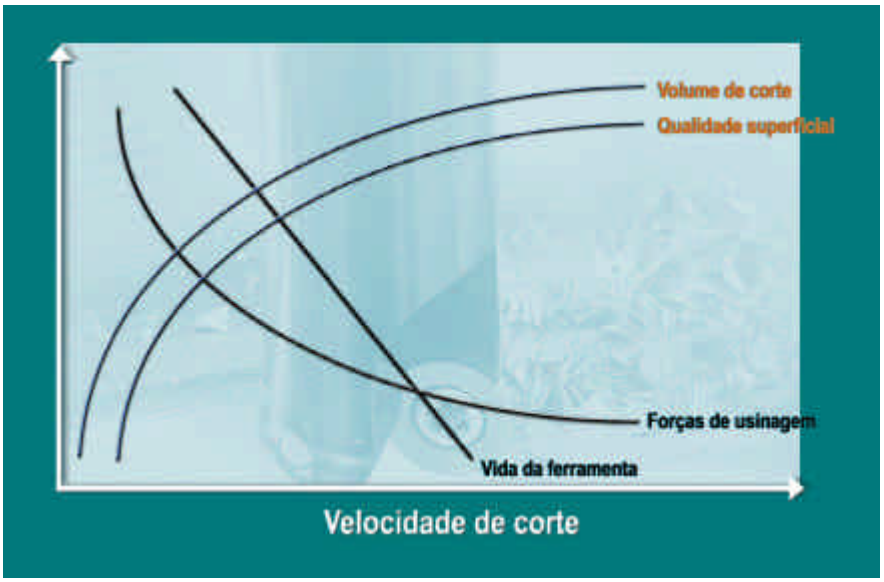


Figura 1: Características ocorridas com o aumento da velocidade de corte (Schulz, 1996).

Alan Costa de Oliveira
Mestre em Engenheria do Núcleo de Plásticos do Senai Cimatec.
Dr.Carlos Henrique Ahrens
Dr.Rolf Bertrand Schroeter
CIMJECT – Lab. de Projeto e Fabricação de Componentes de Plástico Injetados.LMP – Laboratório de Mecânica de Precisão, Depto.Eng. Mecânica,U.F.S.Catarina, Florianópolis,SC.
Os autores agradecem aos órgãos de fomento à pesquisa, Capes, CNPq e Finep pelo financiamento das pesquisas realizadas e pelo apoio recebidoi do curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

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*.

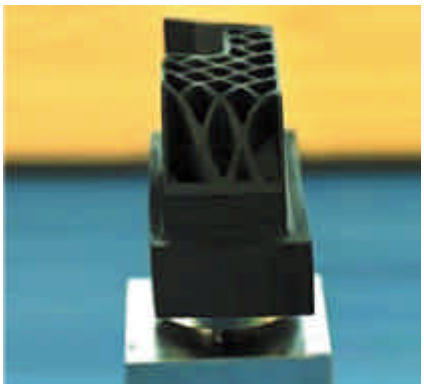


Figura 2: Eletrodo de grafite em forma de colméia obtido por *HSM* (Lima e Camargo, 2001).

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;
- 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 de processos, com o auxílio de sistemas CAM e uma programação orientada para a fábrica.

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

Sistemas CAM

A partir do advento dos sistemas CAD/CAM, aliado a máquinas-ferramentas de três eixos, com movimentos simultâneos e controladas numericamente por computador (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 conseqüência verificou-se um aumento do número de variáveis envolvidas no processo. Neste instante, começaram as pesquisas para aperfeiçoar o processo e os sistemas (Oliveira, 2002).

Com o auxílio de sistemas CAD/CAM, as informações geométricas desejadas da peça são calculadas em forma de descrições matemáticas de área ou de volume. Essas informações matemáticas são convertidas em linguagem de máquina e são geradas as trajetórias da ferramenta de corte com velocidades de avanço adequadas aos contornos, o que aumenta a precisão e reprodutibilidade. O programador ainda tem liberdade para a geração das estratégias de usinagem e flexibilidade para eventuais modificações (Gomes, 2001, Ahrens, 1994).

Informações detalhadas sobre a classificação dos *softwares* de CAM estão disponíveis em Oliveira(2002) e Cavalheiro (2000).

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 [Sandvik, 2000].

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:

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.

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). Atualmente, devido ao grande desenvolvimento dos modeladores CAD para sólidos e do CAM, pode-se usinar diretamente a partir de um modelo sólido, sendo esta tarefa mais simples do que os outros métodos (superfícies, STL e *wireframe*), além de oferecer a oportunidade para geração automatizada de trajetórias e usinagem baseada no *Knowledge Based Machining*, onde o sistema permite aos usuários definirem seus métodos de usinagem preferidos e o *software* aplicará para um modelo sólido determinando um processo de usinagem específico e gerando o programa NC final (Oliveira, 2002).

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.

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. Cada ferramenta possui vantagens na usinagem de diversas formas geométricas e um *software* de CAM adequado não deve limitar o usuário na escolha de algum tipo que seja mais apropriado para o desenvolvimento de um trabalho.

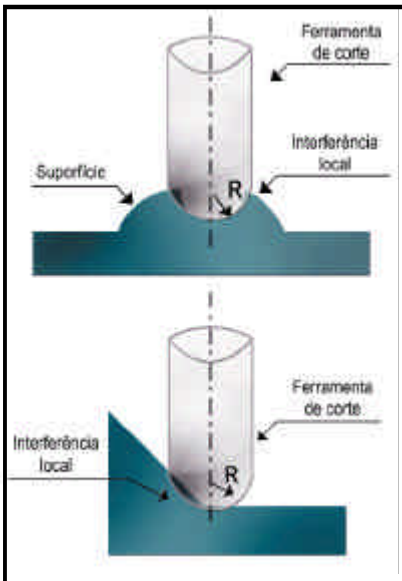


Figura 3: Interferência local numa região(Oliveira, 2002).

Limite de trajetória: (*toolpath bounding*): o CAM deve possuir recursos que permitam ao usuário limitar uma certa extenção da trajetória arbitrariamente para que só uma parte ou região do modelo seja usinada.

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.

Corte concordante: o CAM deve ser capaz de fresar no sentido concordande, 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*).

Pode-se realizar um teste dispondo-se de uma cavidade com uma protuberância em seu interior e verificar se o *software* cortará sempre a superfície final no sentido concordante durante a usinagem.

Usinagem em 4 e 5 eixos e diferentes tipos de 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. Por exemplo, dispor da estratégia que possibilite o desbaste em mergulho ou *plunge roughing* (figura 4), já que, segundo Oliveira (2002), este novo estilo de desbaste proporciona uma maior taxa de remoção de material para uma mesma taxa de avanço quando comparada a estratégias de desbaste convencionais (com movimento de corte nas direções X e/ou Y), minimiza a deflexão e forças radiais sobre a ferramenta (a principal carga ocorre na direção do eixo Z, que é a direção mais rígida para a maioria dos centros de usinagem), minimiza vibrações e

Figura 4: Vista do processo de desbaste em mergulho (Oliveira, 2002).

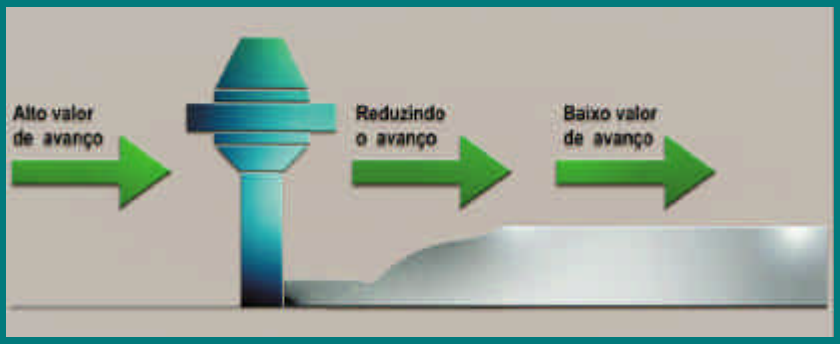


Figura 5: Ajuste das taxas de avanço (Oliveira, 2002).

permite maior vida à ferramenta. Por outro lado, as condições de corte neste processo despertam demanda por ferramentas de corte especiais, aptas a lidar com as altas velocidades com cortes interrompidos e uma distribuição de material não-simétrica.

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. Alguns *softwares* permitem ao usuário customizar os dados de corte em arquivo *Access*, criando seu próprio arquivo de dados com posterior inserção no *software*. O *software* selecionará automaticamente as velocidades de rotação da árvore, avanço e penetração passiva, com base no tipo de ferramenta e material da peça definidos pelo usuário.

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;

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 (figura 5). 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 pra-

zo de entrega do produto, leva a outros benefícios, como a redução do desgaste da ferramenta de corte (a ferramenta é protegida pela redução automática da taxa de avanço na entrada e saída da área de trabalho) e máquina-ferramenta (reduzem-se as forças variáveis sobre o eixo árvore, o que conduz a uma menor manutenção da máquina), melhoria da qualidade superficial (uma pressão de corte constante causa pequena ou nenhuma variação de deflexão na ferramenta) e menor necessidade do operador no processo, liberando-o para outras atividades (Oliveira, 2002).

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. O sistema CAM deve possuir o conhecimento do volume residual para assim eliminar os movimentos em vazio da ferramenta e manter a taxa de remoção de material tão constante quanto possível.

Entradas e saídas da ferramenta (*lead-in and lead-out moves*): 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. Adicionalmente, é necessário que o sistema CAM gere estas trajetórias de movimentação, assegurando que nenhuma interferência venha a ocorrer. A figura 6 ilustra no CAM um movimento de aproximação em arcos verticais da ferramenta na área de trabalho, sendo esta uma condição adequada para *HSM*.

Controle do incremento lateral e altura de crista (*stepover and scallop height*): 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 NC menor e um ciclo de usinagem tão rápido quanto possível.

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. Os controladores *NURBS* podem processar informações de maneira mais rápida, o que é mais adequado para aplicação à alta velocidade. Portanto, os sistemas CAM que sustentam *NURBS* na geração de programas NC fornecem ao usuário trajetórias de ferramenta mais precisas.

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.

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.

Outros aspectos importantes no momento de selecionar um *software* de CAM, diz respeito a questões como local e freqüência de treinamento adequados do fornecedor, versão educacional do *software* em uso em universidades, tempo significativo de teste no

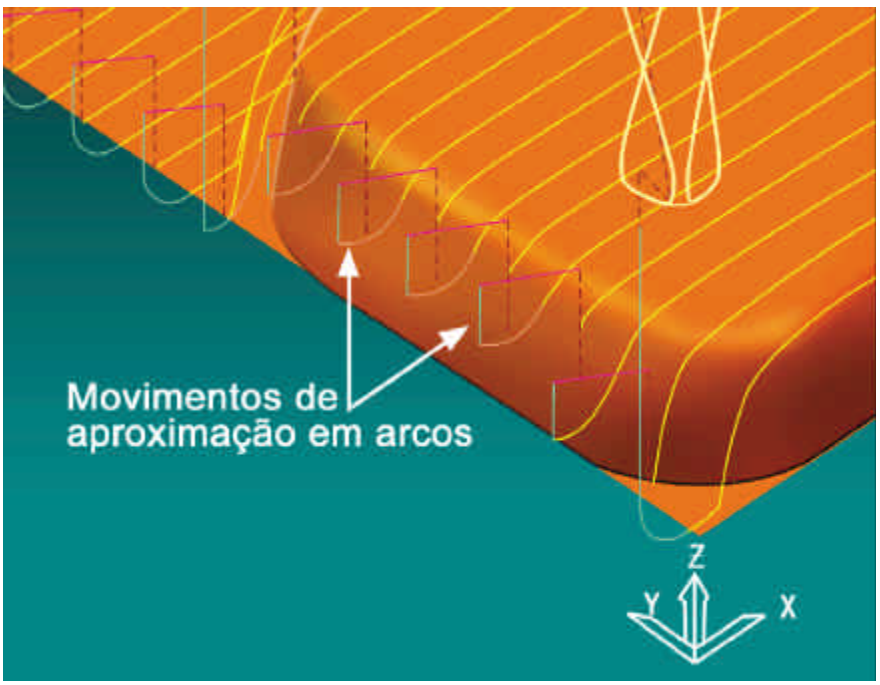


Figura 6: Movimentos em arcos verticais na aproximação da área de trabalho (Oliveira, 2002).

mercado e possibilidade do usuário modificar seu pós-processador sem pagar pela mudança.

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. O programador não deve ficar ligado a antigas técnicas de programação tradicionais, devido ao fato que o processo *HSM* possui uma faixa de atuação econômica restrita, quando comparada ao processo convencional CNC, devendo-se racionalizar todos os recursos tecnológicos envolvidos neste processo.

Pela análise geral do conteúdo de algumas características necessárias aos *softwares* de CAM para *HSM* descritos neste artigo, nota-se a presença de grande variedade de funções e recursos oferecidos pelos fabricantes desta área que merecem atenção delicada durante a análise, sendo que o envolvido no processo de decisão/escolha deve possuir um bom grau de conhecimento das funções mais relevantes, adequando os recursos que sejam mais eficazes à área de atuação em questão.

Referências Bibliográficas

OLIVEIRA, A. C., 2002, "Programação de Estratégias de Fresamento a Altas Velocidades (*HSM*) na Manufatura de Moldes e Matrizes através de Sistemas CAM", Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

SCHULZ, H., 1996, *High Speed Machining*, Seminário de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte: Fresamento, Torneamento, Furação. Universidade Metodista de Piracicaba ,SP, Brasil(UNIMEP).

SCHULZ, H., 1997, *State of The Art and Trends of High Speed Machining*, Seminário de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte e Alta Precisão. Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP).

CHOI, B. K.; KIM, D. H.; JERARD, R.B., 1997, "C-Space Approach to Tool-Path Generation For Die and Mould Machining", *Computer-Aided Design*, v. 29, n. 09, pp. 657-669.

SANDVIK., 2000, "Usinagem com Altas Velocidades de Corte e Usinagem Convencional de Moldes e Matrizes", Coletânea com sete artigos, Sandvik Coromant, pp. 1-24.

GOMES, J. O., 2001, *Fabricação de Superfícies de Forma Livre por Fresamento na Aço Temperado DIN 1.2083, na Liga de Alumínio (AMP8000) e na Liga de Cobre (Cu-Be)*, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

AHRENS, C. H., 1994, *Características Desejáveis Para a Implantação e o Emprego de Sistemas CAE/CAD/CAM no Setor de Moldes de Injeção de Plásticos*, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

SILVA, M. S., 2000, *Fresamento por Regiões Como uma Alternativa na Usinagem de Cavidades Para Moldes de Injeção Através de Sistema CAD/CAM*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

CAVALHEIRO, A. Z., *1998*, *Sistematização do Planejamento da Programação via CAM do Fresamento de Cavidades de Moldes Para Peças Injetadas*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

LIMA, C. B.; CAMARGO, R., 2001, Usinagem em Alta Velocidade de Corte – Estratégias de Usinagem Utilizando Software CAM, Universidade Estadual de Campinas ,Faculdade de Engenharia Mecânica, SP, Brasil.