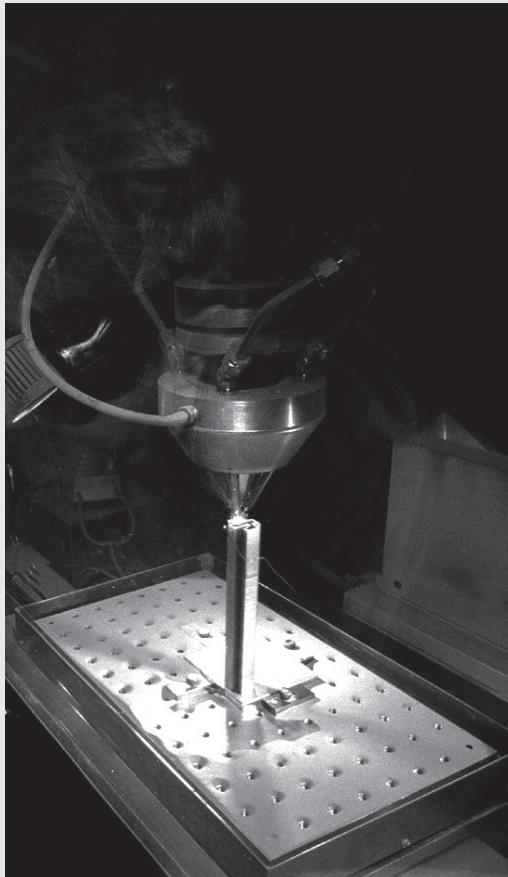


# BOLETIM DE DIFUSÃO TECNOLÓGICA



## SETOR DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS 3º Boletim de Difusão Tecnológica

**HIGH SPEED CUTTING (USINAGEM A ALTÍSSIMAS VELOCIDADES)**



### Informações sobre o Boletim de Difusão Tecnológica

Prezado leitor, você está recebendo o 3º Boletim de Difusão Tecnológica editado e distribuído pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI).

Seu objetivo é disseminar, entre os representantes do meio produtivo e docentes, informações técnicas sobre tecnologias que ainda possuem baixo grau de difusão no mercado brasileiro.

As informações contidas nos Boletins de Difusão Tecnológica são apresentadas em blocos com linguagem simples e direta, o que possibilita rápida compreensão de seu conteúdo.

Espera-se que esta série auxilie os representantes do meio produtivo no processo de aquisição e uso dessas tecnologias.



Modelo SENAI de Prospecção

Interação para Difusão Tecnológica

v.2, n.1, mar. de 2008

## Introdução ao 3º Boletim de Difusão Tecnológica

O Boletim que você recebeu, além da apresentação acima, traz informações técnicas sobre os processos de usinagem a altíssimas velocidades (*High Speed Cutting*). Além dos conceitos fundamentais, são apresentadas a aplicabilidade das tecnologias e suas principais operações.

A tecnologia *High Speed Cutting* foi identificada pelo Modelo SENAI de Prospecção como uma das que terá grande probabilidade de difusão (compra e uso) no setor de máquinas e equipamentos, mais especificamente o segmento de usinagem. Segundo o estudo de prospecção, essa tecnologia será utilizada por cerca de 70% do mercado até 2014.

Em 2007, a Unidade de Tendências e Prospecção do SENAI – Departamento Nacional realizou pesquisa de difusão tecnológica, que objetivou determinar a taxa efetiva (real) de um grupo de tecnologias emergentes e maduras no Brasil. Os resultados mostraram que a taxa de difusão atual é em torno de 14% e a taxa estimada para 2012, de 25%. Considerando uma taxa de crescimento futuro de 77,4%, estima-se que, em 2014, a taxa de difusão da referida tecnologia alcance aproximadamente 66% do mercado, o que é bem próximo do que foi indicado pelo estudo prospectivo (70%).

## Introdução

As grandes mudanças ocorridas no início do século XX, ainda no contexto da revolução industrial, aliadas ao expressivo crescimento de demanda e à pesquisa de novos mercados, deram início ao incessante estudo na busca de processos produtivos mais eficientes. A indústria, como é conhecida hoje, começou a tomar forma; novos conceitos foram empregados; sistemas foram criados. Com o advento das linhas de montagem, a produção deixou de ser artesanal. As grandes mudanças observadas nos mercados consumidores alavancaram formas de se produzir mais, melhor e em menos tempo.

A usinagem pode ser considerada como um dos pilares da indústria, sendo um dos mais importantes processos utilizados para manufatura; seu desenvolvimento está atrelado à própria evolução da indústria. Os avanços tecnológicos na usinagem não se limitam apenas à concepção de novas máquinas, mais rápidas e precisas, ou novas ferramentas mais resistentes; eles se estendem à idealização e posterior aplicação de novas filosofias de trabalho, empregando novos conceitos, frutos de aprofundados estudos. Tais filosofias podem ser exemplificadas com a substituição das tradicionais ferramentas de corte por outros elementos, como o *laser*, a eletricidade e o jato de água. Temos ainda a microusinagem, o desenvolvimento de novas ligas aplicadas às ferramentas, além da plena integração entre setores de projeto, engenharia, execução e manutenção.

A capacitação da mão-de-obra, impulsionada pelo emprego de novas tecnologias nas máquinas de usinagem, tornou-se fator essencial para a sobrevivência das indústrias. Vivemos hoje a chamada adolescência tecnológica, iniciada com a descoberta dos sistemas transistorizados e microcontrolados, os quais são as bases para as máquinas e os sistemas automatizados.

## Introdução à Tecnologia HSC

Um dos grandes avanços na usinagem foi a introdução de máquinas de corte de altíssimas velocidades, conhecidas como *High Speed Machining* (HSM) ou *High Speed Cutting* (HSC). São elas, atualmente, representantes da vanguarda da tecnologia para usinagem. Essa tecnologia está em constante desenvolvimento e, por isso, existem muitas dúvidas sobre este assunto. As atuais propostas e fundamentos do HSC estão causando, hoje, o mesmo impacto que o CNC causou há 40 anos.

O conceito básico do HSC foi desenvolvido pelo Dr. Carl Salomon em 1931, o que resultou em uma patente alemã. A idéia consiste em aumentar a velocidade de usinagem e assim diminuir a temperatura da peça durante a usinagem, o que causa menor enfraquecimento do material. A razão é que a velocidade de corte (*Machining Feed Rate*) é maior do que a velocidade de condução térmica, concentrando a maior parte da dissipação de calor no material removido (cavaco). Quando desenvolveu seu método, Salomon possuía uma série de limitações em termos de máquinas. Para realizar seus experimentos, utilizou-se de uma serra cir-

cular de grande diâmetro que, mesmo com baixa rotação, permitia uma velocidade periférica bastante alta.

De acordo com o conhecimento da época, o aumento da velocidade de corte correspondia a um aumento da temperatura. “O que Salomon pôde observar é que a partir de um determinado ponto as temperaturas caíam. Ou seja, aumentando a velocidade a temperatura caía e os esforços de corte também. Ele comprovou experimentalmente um dado novo, contrário às teorias e aos experimentos até então realizados”. (SANTOS, 2006)

Não existe uma velocidade que determine se o processo de usinagem está ou não sendo feito em HSC, pois esse valor depende de outros fatores, como dureza do material a ser usinado, tipo da ferramenta utilizada, entre outros. No entanto, podemos citar, como exemplos, velocidades de *spindle* (eixo) variando de 20.000 rpm até 60.000 rpm, e velocidades de corte entre 2 m/min e 20 m/min.

A tecnologia HSC representa a integração de várias concepções para manufatura. Engloba desde o modelamento do produto, utilizando um sistema CAD, passando por sistemas de auxílio à manufatura, geração de programas NC, até o processo de usinagem, envolvendo máquina-ferramenta, comando numérico, parâmetros e ferramentas de corte.

Uma vertente dessa tecnologia bastante abordada neste momento, embora ainda esteja em desenvolvimento e suas peculiaridades sejam desconhecidas pela maioria,

é a utilização de um modelo matemático conhecido como *Non-Uniform Rational BSpline (NURBS)*, para a representação de curvas e superfícies envolvendo os sistemas CAD/CAM/CNC. Os algoritmos NURBS permitem um controle mais refinado sobre a geometria, além da possibilidade de representar uma curva complexa utilizando-se um polinômio de baixo grau.

Sistemas CAD de médio e grande porte, assim como modeladores de superfícies, já fazem uso de sofisticados modelos matemáticos há alguns anos. Esses modelos permitem aos usuários de sistemas CAD representarem, de forma exata, a geometria desejada, por mais complexa que esta seja.

## **Aplicabilidade da Tecnologia HSC**

A produção orientada em HSC teve início em 1976 com a indústria aeroespacial e, ainda hoje, este é o ramo que mais utiliza essa tecnologia como ferramenta de produção.

Após um período inicial de ceticismo, o HSC se tornou progressivamente popular para produção de moldes e ferramentas. Avanços contínuos na tecnologia de corte, unidos com melhor entendimento de estratégias de usinagem mais eficientes, tornaram a produtividade obtida com operações HSC impossível de se ignorar.

O campo de aplicação da tecnologia de corte HSC é vasto, justifica-se pela considerável redução nos tempos de usinagem, além da possibilidade de usinar-se facilmente material temperado. Certas formas de usinagem

seriam impossíveis de se realizar sem a utilização do HSC, como formas complexas, paredes extremamente finas, ou mesmo fendas muito estreitas.

Em vez de construir um conjunto a partir de diversas peças pequenas, o HSC permite que este seja construído em um bloco único de material. Isso evita o desperdício de até 60% de tempo de montagem e melhora a resistência da peça final. Além disso, existe uma redução no número de ferramentas utilizadas para compor o conjunto, e o peso da peça final é muito menor.

O HSC está sendo muito utilizado em indústrias que exigem velocidade de produção conciliada com precisão de usinagem. Isto, devido aos diversos benefícios que o acompanham, como tempo de produção e custos reduzidos, excelente qualidade de acabamento, menor distorção da peça final e menor estresse do material, entre outros.

É importante salientar que atualmente não há mais dúvidas quanto à eficácia econômica da usinagem com altíssimas velocidades. Até por isso, tornou-se estratégico o estudo do processo para o desenvolvimento tecnológico do Brasil e das indústrias aqui instaladas, visando à manutenção da competitividade internacional.

## ***High Speed Machining (HSM)***

A utilização da tecnologia HSC depende tanto da mecânica quanto da eletrônica que a equipa, por isso o conjunto completo que forma a máquina deve ser desenvolvido para tal finalidade. Sua estrutura deve ser robus-

ta a fim de suportar bem as grandes forças oriundas da inércia dos movimentos em altíssima velocidade.

Os itens mais importantes na questão da mecânica são o *spindle* e o cabeçote (*toolholder*), pois a ferramenta está diretamente ligada a esses dois componentes (no caso de um centro de usinagem). O balanceamento e a simetria do conjunto *spindle+cabeçote* é essencial para um bom desempenho da máquina, já que é nesse conjunto que são exercidas as forças de usinagem. Devemos também nos preocupar com a formação de cavacos, e dar preferência aos cavacos “quebrados” (em pedaços de 2 cm a 3 cm) em vez de cavacos contínuos (ou fita), pois os primeiros geram menos calor e menor desgaste da ferramenta.

A eletrônica utilizada para essas aplicações, além de ser de última geração, deve controlar alguns itens essenciais para o HSC:

- Processamento rápido de blocos de movimento (*block cycle time*).
- Pré-processamento.
- Leitura antecipada de blocos de movimento para gerenciamento da velocidade (*look-ahead*).
- Transformações (p.ex.: transformação para 5 eixos).
- Eliminação de erro de contorno.
- Correções de ferramenta precisas (dimensões, desgaste etc.).

- Compensações para erros mecânicos / induzidos.
- Máxima segurança de máquina devido à alta velocidade dos eixos.

## A Operação das Máquinas

As aplicações de HSC concentram-se principalmente na área de usinagem de matrizes, peças aeronáuticas e autopeças. Os dois primeiros têm como características a usinagem de componentes monolíticos, em que grande parte da matéria-prima é transformada em cavaco, utilizando ferramentas de pequeno diâmetro, altas rotações de fuso, pequenas profundidades de corte e altos avanços. Já a indústria de autopeças possui como característica a produção seriada de grandes lotes, facilitando o monitoramento do processo e determinação de parâmetros ótimos em HSC.

Em outros ramos da indústria, a dificuldade é justamente a obtenção de parâmetros de corte adequados em máquinas que possuem limitações estruturais e dinâmicas, aliadas à variedade e aos pequenos lotes de peças produzidas.

Em HSC, é necessário cuidado especial com a vida da ferramenta. A utilização de parâmetros (profundidade e avanço) incorretos leva ao desgaste prematuro. Segundo a teoria clássica da usinagem, com o aumento da velocidade de corte, o desgaste da ferramenta aumenta exponencialmente. Assim em HSC, é necessária a aplicação de ferramentas que tenham vida satisfatória (Favor verificar se este termo está adequado) com

as velocidades empregadas para minimizar o set-up de ferramenta.

Porém, o aumento da velocidade sem diminuição da vida útil da ferramenta, aumenta a quantidade de peças obtidas por aresta de corte, o que dificulta o acompanhamento do desgaste dos flancos das ferramentas mais resistentes nos lotes de produção pequenos. Além disso, materiais cerâmicos podem não apresentar desgaste perceptível, chegando ao fim da vida com fratura

evidente, dependendo da faixa de velocidades empregadas.

O monitoramento adequado dos padrões de segurança é fundamental em HSC, pois as altíssimas rotações e velocidades de avanço podem causar graves acidentes nas quebras mais severas. Isso exige a avaliação dos mecanismos envolvidos durante o corte, as propriedades dos materiais e as características do sistema para o emprego seguro e otimizado da usinagem HSC.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SANTOS, J. C. **Avanços tecnológicos na usinagem mecânica**. Monografia (Graduação em Mecatrônica)– CEFET, Ceará, 2006.

HSM-HSC: O estado-da-arte em usinagem. Disponível em: <<http://www.usinagem-brasil.com.br>>. Acesso em: 25 jul. 2007.

ANÁLISE do comportamento de desgaste de ferramenta cerâmica. Disponível em: <[http://www.abmbrasil.com.br/congresso/2006/integras\\_resumos/10311.doc](http://www.abmbrasil.com.br/congresso/2006/integras_resumos/10311.doc)> Acesso em: 25 jul. 2007.

INTRODUÇÃO dos processos HSC na indústria brasileira. Disponível em: <[http://www.unimep.br/fau/scpm/Publicacoes/1999\\_3.pdf](http://www.unimep.br/fau/scpm/Publicacoes/1999_3.pdf)> Pesquisado em Acesso em: 26 jul. 2007

**Elaboração:** José Ciro Santos

#### EXPEDIENTE:

**Boletim Tecnológico** é uma publicação trimestral da **Unidade de Tendências e Prospecção - UNITEP**. **Equipe Técnica:** Luiz C. Caruso (SENAI/DN), Marcello José Pio (SENAI/DN), Luciano Santos da Silva (DR-RS), Francisco Julião (DR-RJ), Laur Scalzaretto (DR-SP), Raimundo Ferreira Façanha, José Ciro Santos (DR-CE). **Tiragem:** 600 exemplares. **Coordenação, Editoria e Supervisão Gráfica:** Caroline R. Rocha. **Normalização:** SSC/ACIND. **Revisão Gramatical:** RSouza

#### ENDEREÇO:

SBN, Quadra 1, Bloco C, Edifício Roberto Simonsen, 4º andar, CEP 70040-903 – Brasília – DF, Tel.: (61) 3317-9802. E-mail: [unitep@dn.senai.br](mailto:unitep@dn.senai.br)