

USINAGEM EM ALTAS VELOCIDADES DE CORTE E SUAS CARACTERÍSTICAS – UMA BREVE REVISÃO

MACHINING AT HIGH CUTTING SPEEDS AND ITS CHARACTERISTICS – A BRIEF REVIEW

¹ESCOTENISCE, Rafael Henrique Ribeiro; ²RIBEIRO, Fernando Sabino Fontequê

^{1e2}Departamento de Engenharia – Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos-
Unifio/FEMM

RESUMO

Este artigo faz um breve comentário sobre uma área crescente na indústria, a HSM (*High Speed Machining*, Usinagem em Alta Velocidade), que permite uma produção rápida e de extrema qualidade, devido ao uso combinado das mais recentes tecnologias. O intuito dessa revisão bibliográfica é disseminar o conhecimento de novas tendências para o setor de fabricação por usinagem, permitindo assim a realização de futuras pesquisas acerca deste tema na usinagem.

Palavras-chave: HSM; Ferramentas de Corte; Usinagem; Materiais.

ABSTRACT

This paper makes a brief comment on a growing area in the industry, HSM (High Speed Machining), which allows fast and extremely high quality production due to the combined use of the latest technologies. The purpose of this bibliographic review is to disseminate the knowledge of new trends for the machining manufacturing sector, thus allowing the realization of future research on this topic in machining.

Keywords: HSM; Cutting Tools; Machining; Materials.

INTRODUÇÃO

Os processos de manufatura que utilizam a tecnologia da usinagem têm uma grande importância dentro do sistema fabril. Com isso, a usinagem sofre constantes pressões para a redução de custos e aumento da produtividade. Novas técnicas, conceitos e estratégias têm sido adotadas para aumentar o desempenho dos processos de usinagem.

Em 1931 na Alemanha foi desenvolvido o conceito do HSM (*High Speed Machining*) por C. Salomon, na qual consiste em maiores velocidades de corte e de avanço que permitem reduzir o tempo de produção (GOUNET, 1992). Além disso, têm-se na sua concepção que com o aumento significativo da velocidade de corte é reduzido o tempo para a condução térmica do cavaco para a ferramenta de corte, sendo essa uma possível vertente para a redução do uso de fluidos de corte.

Os principais campos de utilização do HSM são encontrados na fabricação de moldes, matrizes e na indústria automobilística e aeroespacial. Onde está última visa-se especialmente na grande taxa de remoção de material.

Apesar disso, existem faixas de velocidade de corte em que o aumento da velocidade de corte e de avanço gera muito calor entre ferramenta e peça, na qual esse excesso de temperatura irá afetar diretamente a vida da ferramenta gerando custos ao processo, e poderá haver ocorrência de tensão residual na superficial da peça, que resultaria em modificações de térmicas e químicas do material. Essa faixa de operação de velocidades de corte e de avanço é definida em grande parte por características construtivas da máquina ferramenta, que limitam maiores velocidades de atuação. Em contrapartida, visando a atenuação da temperatura são utilizadas nas indústrias o óleo solúvel (uma mistura de água com compostos químicos, podendo ser de origem mineral, sintético ou semissintético), tendo elevados custos de aquisição e de descarte.

Isto posto, o presente trabalho tem como principal objetivo apresentar os conceitos relativos à usinagem em altas velocidades, buscando mostrar seus principais fatores frente sua aplicação, vantagens, desvantagens e dificuldades de implementação industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram determinados alguns tópicos influentes para a caracterização da HSM no cenário industrial. Desta forma, os resultados visam a destacar os seguintes tópicos.

- Definição do HSM;
- Fatores para HSM;
- Vantagens e desvantagens;
- Avanços tecnológicos e sistemas CAD/CAM;
- HSM e eletroerosão na produção de moldes;
- Contextualização da tecnologia.

Durante o levantamento bibliográfico, foram realizadas pesquisas no âmbito de artigos científicos, dissertações de metrado e teses de doutorado, assim como em livros técnicos de usinagem. As definições típicas do processo de eletroerosão são tomadas com base em livros clássicos de usinagem, enquanto o estado da arte do processo de eletroerosão é apresentado nas pesquisas dos artigos científicos.

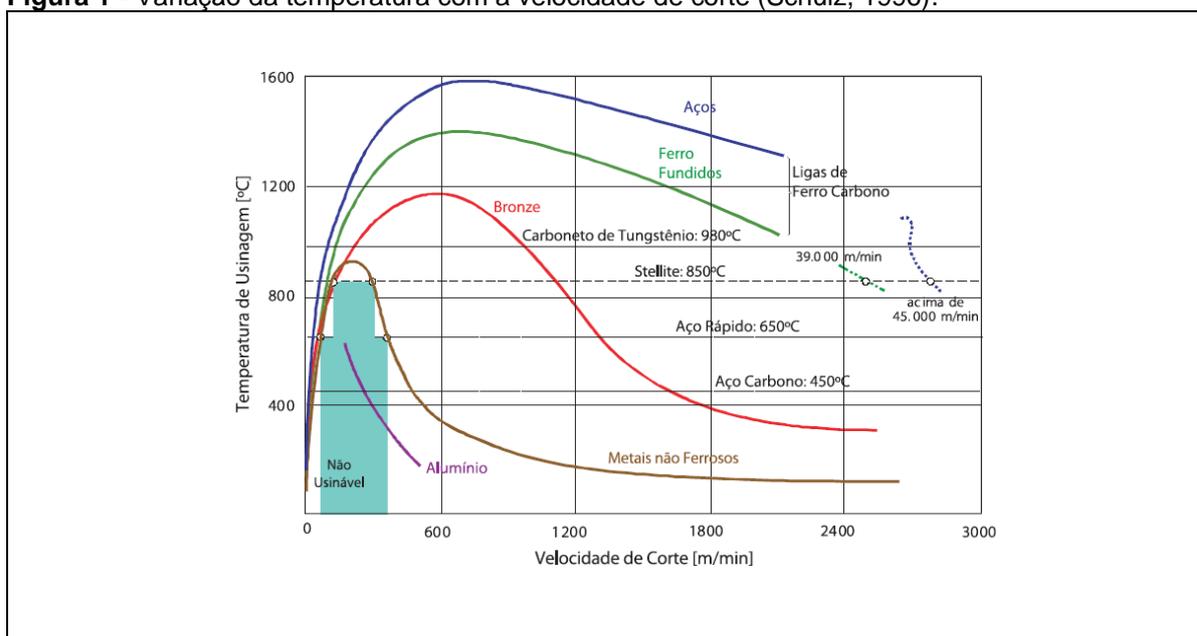
A caracterização do processo de usinagem em alta velocidade é tipicamente tida em função das elevadas taxas de avanço e velocidade de corte, de modo que o tempo para condução térmica do calor presente no cavaco para a

ferramenta de corte seja reduzido. Como fatores relativos à aplicação da técnica, destacam-se a máquina-ferramenta, a ferramenta de corte, o comando numérico e os códigos aplicados. Tais características apresentam vantagens e desvantagens dentro do âmbito da usinagem, para o qual os avanços tecnológicos de softwares de desenho técnico e programação apresentam papel importante em sua aplicação. Por fim, há uma breve contextualização sobre a aplicação da referida técnica em setores industriais, como na fabricação de moldes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A origem do termo “Usinagem em altíssimas velocidades de corte” foi proposta inicialmente pelo Dr. Carl J. Salomon, a trabalho da empresa alemã Friedrich Krupp AG (SCHULZ, 1996), onde a notou-se que conforme a variação de velocidade de corte, a uma determinada velocidade, as temperaturas de usinagem começaram a diminuir, conforme a Figura 1. Essa teoria determina que com o aumento da velocidade de remoção de material, o calor gerado pelo processo seria dissipado junto com o cavaco. O que se tem verificado é que há uma diminuição relativa da temperatura no gume da ferramenta que se inicia em determinadas velocidades de corte e varia para diferentes materiais. A diminuição é pequena para aços e ferro fundido e maior para alumínio e outros metais não-ferrosos (SCHULZ, 1999).

Figura 1 - Variação da temperatura com a velocidade de corte (Schulz, 1996).



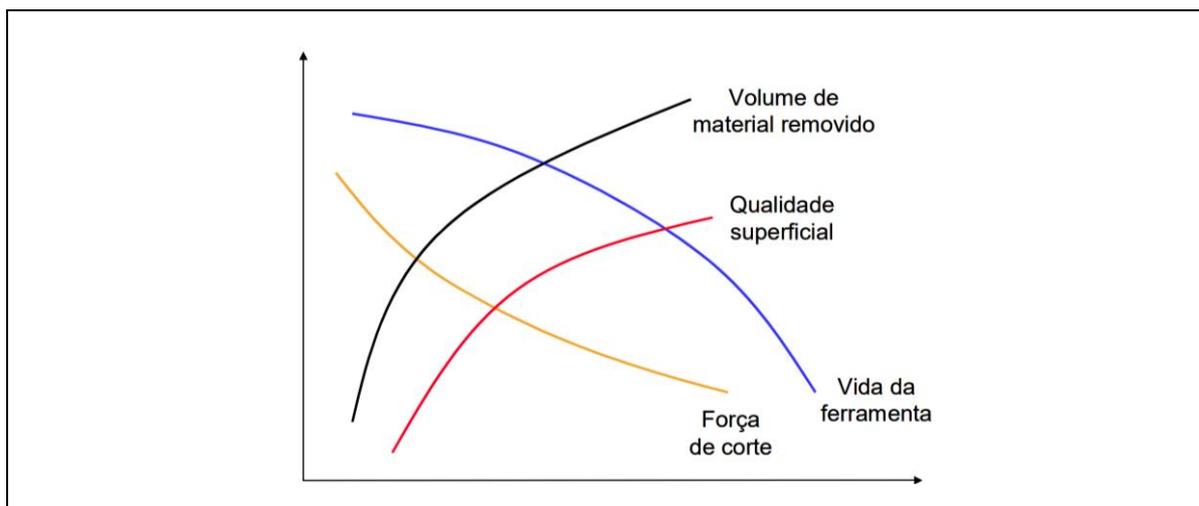
Atualmente, a maior taxa de utilização da usinagem por HSM encontra-se em fresadoras CNC (comando numérico computadorizado), centros de usinagem e torneamento. Para o fresamento HSM, sua aplicação visa atender à duas áreas da manufatura: as operações de desbaste e acabamento de materiais não ferrosos e o pré-acabamento e acabamento de materiais ferrosos (SOUZA, 2001). Respectivamente, se tem para o primeiro caso os setores aeronáutico e aeroespacial e o segundo caso tem sua principal utilização nos fabricantes de moldes e matrizes, ocupando uma importante posição na cadeia do processo produtivo, envolvendo as industriais automobilísticas, de eletrodomésticos e de bens de consumo (SCHÜTZER, 1998).

Para a utilização da usinagem HSM, é necessário levar em consideração algumas tecnologias correlacionadas, como:

- Máquina-ferramenta: deve ser projetada de modo que as partes móveis sejam leves o suficiente para atingir altas velocidades e que a parte estrutural seja suficientemente rígida, evitando vibrações no processo;
- Ferramenta de corte: para a escolha adequada da ferramenta, deve ser analisado o material a ser usinado, revestimento e a geometria da ferramenta, para que a vida da ferramenta juntamente com o aumento de corte, não torne o processo inviável;
- Comando numérico: o processamento deve ser de alto nível “*Look Ahead*”, pois trabalhará com altas velocidades de corte, avanço, mudanças de direções, entre outros;
- Programação: a programação deve ser feita com cautela, indicado a utilização de softwares, para minimizar o erro e assim conseguir melhor performance na programação e operação.

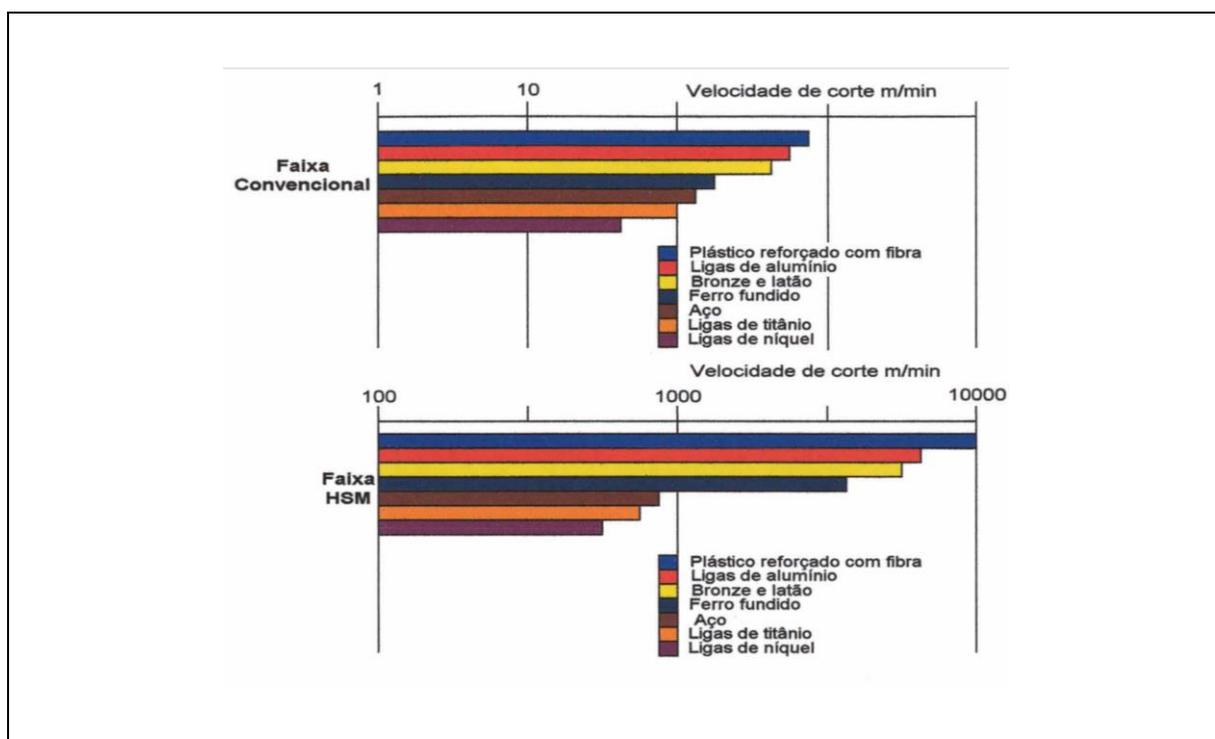
A usinagem pelo método de alta velocidade de corte não está orientada a grandes seções de corte, mas sim seções de corte menores, próximos ao formato final da peça. A Figura 2 mostra uma tendência dos parâmetros: volume de cavaco, qualidade superficial, força de corte e vida da ferramenta quando a velocidade de corte é aumentada.

Figura 2 – comportamento do processo HSM (SCHULZ, 1996).



Observa-se que com o aumento da velocidade de corte, obtém-se um aumento no volume de material removido, redução das forças de usinagem, melhora na superfície usinada devido à redução de vibração. Além disso, a usinagem em altas velocidades de corte oferece um conjunto de vantagens técnicas e econômicas em vários campos de aplicação. A faixa de utilização para HSM é relacionado principalmente com o material a ser usinado, do tipo de operação de corte e da ferramenta de usinagem, conforme apontado na Figura 3.

Figura 3 – Velocidade de corte para usinagem convencional e HSM (Oliveira, 2002)



É de suma importância ressaltar que o processo HSM assim como qualquer tipo de usinagem, apresenta pontos positivos e negativos. Pode-se destacar vantagens econômicas e tecnológicas.

Como vantagens econômicas, citam-se o aumento da produtividade, grande redução nos custos no processo de fabricação, custo da fabricação menor devido aos ciclos totais mais rápidos, maior flexibilidade na alocação de mão de obra e maior flexibilidade comercial, com produtos mais complexos fabricados em menor tempo (NOVASKI e CORRÊA 1998; CAPLA, 2006).

Para as vantagens tecnológicas, pode-se citar a melhor qualidade a superficial (eliminados trabalhos posteriores de acabamento), melhoria nos mecanismos de formação de cavaco, mais exatidão dimensional, diminuição da força de corte proporcional ao aumento da velocidade de corte, uma usinagem sem vibrações, melhor dissipação do calor do processo, pois a maior parte do calor é dissipado no cavaco, altas taxas de remoção de cavaco, baixo tempo com as máquinas desligadas (NOVASKI e CORRÊA 1998; CAPLA, 2006).

As vantagens estão relacionadas a escolha adequada da ferramenta, juntamente com parâmetros de cortes adequados para o material, garantindo assim, uma segurança e melhor estabilidade na usinagem. Apesar disso, são observados pontos negativos como alto nível de desgaste na ferramenta de corte, maior custo tanto para máquinas-ferramenta e ferramentas de corte, alta precisão do balanceamento do ferramental, fusos com alta velocidade, os quais são muito caros e possuem baixa durabilidade, em média 5000 a 10000 horas na máxima velocidade de rotação (NOVASKI e CORRÊA 1998; CAPLA, 2006). Contudo ressalta-se que tais desvantagens devem-se ao fato que a tecnologia HSM está em desenvolvimento, e com novos estudos em andamento, o que permitirá a melhoria e um custo menor dessa tecnologia.

Tais desvantagens estão sendo minimizadas com o advento e popularização de softwares CAD/CAM (*Computer-aided design/computer-aided manufacturing*) sendo atualmente considerados os elementos chave para a realização deste conceito. Segundo Souza (2001), a maioria dos sistemas CAD atuais são capazes de representar realisticamente objetos tridimensionais. Com isto, eliminam-se os possíveis erros causados pelo uso de múltiplas vistas, facilitando também a interpretação de desenhos. Contudo, um dos pontos mais importantes da representação tridimensional é a possibilidade de utilizar a

geometria construída para auxiliar etapas de projeto e manufatura, como por exemplo, análises estruturais através do cálculo de elementos finitos utilizando-se um sistema CAE e geração de programas NC através de um sistema CAM.

Observando que a definição das trajetórias das ferramentas em HSM tem particularidades que tornariam difícil e demorado o cálculo de cada ponto do percurso manualmente, o software CAM vai gerar trajetórias que permitam a movimentação da máquina e da ferramenta de corte em altíssima velocidade. Trajetórias estas que permitam movimentos suaves das ferramentas e com remoção de material constante, obtendo-se um bom acabamento superficial em um menor tempo de usinagem, propiciando uma maior vida útil da máquina e da ferramenta (SOUZA, 2001).

Podendo apresentar as mais diversas formas, desde superfícies simples a superfícies complexas, as matrizes para moldes de injeção, para estampagem e forjamento vem sendo fabricadas usualmente pelo processo de eletroerosão, que se caracteriza por um processo de fabricação que desintegra partículas metálicas por meio de descargas elétricas (JAIN e BAJPAI, 2020) e pode se apresentar de duas maneiras, por penetração (na qual é confeccionado um eletrodo na forma final do objeto) e à fio (onde é utilizado um eletrodo tipo fio para usinagem de superfícies complexas). Usualmente, são utilizados eletrodos de cobre e grafite (JAIN e BAJPAI, 2020).

Em contrapartida, observamos que a manufatura desses moldes por usinagem HSM (SOUZA, 2001; CAPLA, 2006; BODZIAK, 2011) apresenta-se como uma alternativa viável para substituição do processo de eletroerosão. Os processos que envolvem a fabricação de moldes por HSM são modelamento e projeto da peça (CAD), programação CAM, setup da máquina ferramenta e confecção da peça (BODZIAK, 2011). Já para eletroerosão tem-se: modelagem do eletrodo, programação CAM do eletrodo, setup da máquina ferramenta, confecção do eletrodo, setup da eletroerosão e confecção da peça (BODZIAK, 2011). Em uma simples observação, é possível perceber que o processo HSM é menor do que o processo de eletroerosão, incluindo os processos finais de acabamento, no qual no processo HSM, o acabamento ocorre já na parte da confecção da peça, enquanto no processo de eletroerosão é necessário, muitas vezes, o uso de outro eletrodo ou até mesmo acabamento manual (BODZIAK, 2011).

Em uma análise (BODZIAK, 2011), foram utilizados materiais indicados para a fabricação de moldes AISI P20 (29 HRC) e AISI H13 (45 HRC), onde foram comparados os processos de eletroerosão e microfresamento em altas frequências. Nesse procedimento foram realizadas três operações de microfresamento e três operações de eletroerosão em amostras de cada aço mencionado. O processo de eletroerosão apresentou um tempo cinco vezes maior que o processo de microfresamento em altas frequências. Ainda nessa análise, evidenciou-se um custo 46% menor para o microfresamento em relação à eletroerosão (BODZIAK, 2011).

CONCLUSÕES

Com a realização deste levantamento teórico, foi possível abordar os principais tópicos referentes ao assunto High Speed Machining, desde os seus conceitos principais até as exigências para a implementação deste tipo de tecnologia. Por se tratar de um conceito que abrange as tecnologias de ponta, a “arte da engenharia” deve ser compreendida pelos engenheiros como uma possibilidade real para a obtenção de melhores resultados dentro da indústria. Mostrou-se que a tecnologia HSM é viável para a produção de moldes, mas ainda não é viável para a usinagem convencional, sendo o fator custo muito mais importante que o fator tempo nessa situação. Cabe aos engenheiros, o acompanhamento dessas tecnologias para que possam analisar as vantagens e desvantagens da tecnologia HSM dentro do processo de produção.

REFERÊNCIAS

BODZIAK, S., **Estudo do Microfresamento Aplicado à Indústria de Moldes e Matrizes como Alternativa à Usinagem por Eletroerosão** (2011), Dissertação referente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Tupy, Joinville.

CAPLA, R. L., **Estudo da Influência do Sobremetal Excedente de Desbaste Na Operação de Acabamento Aplicando Usinagem Com Altas Velocidades** (2006), Dissertação referente ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, USP, São Carlos.

GOUNET, T., **Fordismo e Toyotismo na civilização do automóvel** São Paulo: Editora Boitempo Editorial, 1992.

JAIN, Ankit; BAJPAI, Vivek. **Introduction to high-speed machining (HSM)**. In: High Speed Machining. Academic Press, 2020. p. 1-25.

NOVASKI, O.; CORRÊA, M., A HSC como vantagem competitiva. **Revista Máquina e Metais**, n. 394, Editora Aranda, São Paulo, 1998.

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.; WURZ, T., O Projeto de Máquinas-Ferramentas tem de Atender aos Requisitos do HSC **Revista Máquina e Metais**, n. 375, Editora Aranda, São Paulo, 1999.

SCHULZ, H., **Hochgeschwindigkeitsbearbeitung** Editora Carl Hanser, Munique. Mc Gee, F.J. Manufacturing Methods for High-Speed Machining of Aluminium, 1996.

SCHÜTZER, K., **Primeiro Workshop de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Borges, A., Usinagem em Altíssimas Velocidades São Paulo: Editora Érica, 2003.

SOUZA, A. F., **Análise das Interpolações de Trajetórias de Ferramenta na Usinagem HSC** (High Speed Cutting) em Superfícies (2001), Dissertação referente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UNIMEP, Santa Bárbara do Oeste, 1998.