

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte

2.1. Aspecto Histórico

A primeira sugestão de um trabalho com HSM foi feita por Salomon, em 1931, que propôs que existiria uma temperatura máxima de corte a uma velocidade de corte intermediária, e que esta temperatura diminuiria conforme a velocidade de corte fosse aumentada a partir deste ponto.

Porém, grande parte da literatura publicada desde então, concluiu que a temperatura aumenta até um máximo correspondente ao ponto de fusão do material usinado, não ocorrendo redução mesmo se aumentando a velocidade de corte.

McGee, em 1979 observou, enquanto realizava experimentos com HSM em alumínio para o exército norte-americano, que a patente de Salomon provavelmente não seria correta: caso a temperatura do corte diminuísse após atingir um máximo, haveria então duas velocidades de corte que resultariam em uma mesma temperatura.

Como normalmente o aumento de temperatura na usinagem acelera o desgaste da ferramenta de corte por diversos motivos, seria lógico supor que duas velocidades de corte diferentes apresentariam o mesmo nível de desgaste para a ferramenta. Porém isso nunca havia sido observado.

A Figura 1 demonstra o conceito que McGee utilizou para contestar a proposta de Salomon:

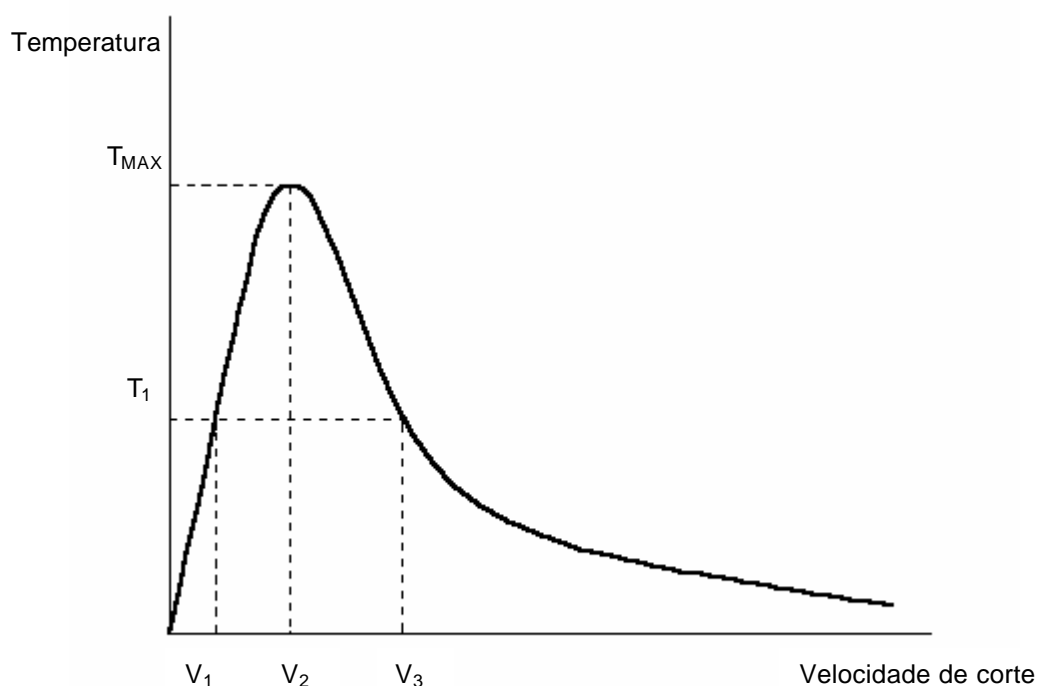


Figura 1: Princípio de Salomon, em que duas velocidades de corte (V_1 e V_3) corresponderiam a uma mesma temperatura (T_1), abaixo da temperatura máxima (T_{MAX}).

O início da aplicação de processos com HSM ocorre na década de 1970, principalmente para peças de alumínio em aplicações aeronáuticas. Os principais processos de usinagem com HSM eram, naquela época, torneamento vertical (principalmente para peças em mísseis) e fresamento de topo (aplicado em estruturas de aeronaves).

O alumínio, assim como outros materiais para construção aeronáutica, permitia a utilização de ferramentas mais caras (muitas vezes com diamante), e

consequentemente maiores velocidades de corte. O alto valor agregado dos produtos finais da indústria aeronáutica também permitia excessos em termos de custo de maquinário (máquinas mais robustas e com rotações de fuso mais altas).

Porém, o desenvolvimento rápido de novos materiais para ferramentas de usinagem a preços mais acessíveis, tais como o nitreto cúbico de boro e cerâmicas, além de processos de revestimentos para ferramentas se tornarem mais comuns, como por exemplo a deposição de vapores química ou física (CVD e PVD), possibilitou que esta tecnologia de usinagem se tornasse uma realidade mais próxima para outras indústrias.

Desde então, muitas outras indústrias começaram a se valer de processos com HSM, dentre os mais notáveis constam aplicações para usinagem de eletrodos para eletroerosão, ligas a base de titânio, de níquel e também madeira (Dewes & Aspinwall, 1997).

Atualmente, a grande consumidora a adotar esta tecnologia de usinagem tem sido a indústria automobilística, que utiliza principalmente o fresamento de topo com HSM para fabricações de moldes para estamperia (Tönshoff et al., 2000; Oliveira et al., 1998; Deonísio et al., 2001). Um dos principais motivos para se adotar a altíssima velocidade de corte para tal tarefa é a possibilidade de se eliminar o retrabalho dos moldes, efetuado por mão de obra altamente especializada e cara. Fatores como tempo e flexibilidade de produção também influíram nesta decisão.

Os moldes chegam a ter seu tempo total de fabricação reduzido a até 51% quando comparados ao processo convencional (Apostila do 2º Seminário..., 1997), e por isso é cada vez maior a pesquisa em diversos sentidos para aumentar ainda mais esta porcentagem (Apostila do Seminário..., 1996; Apostila do 2º Seminário..., 1997; Damaritürk, 1990; Kümmel, 1990). Um exemplo disso pode ser verificado na Figura 2.

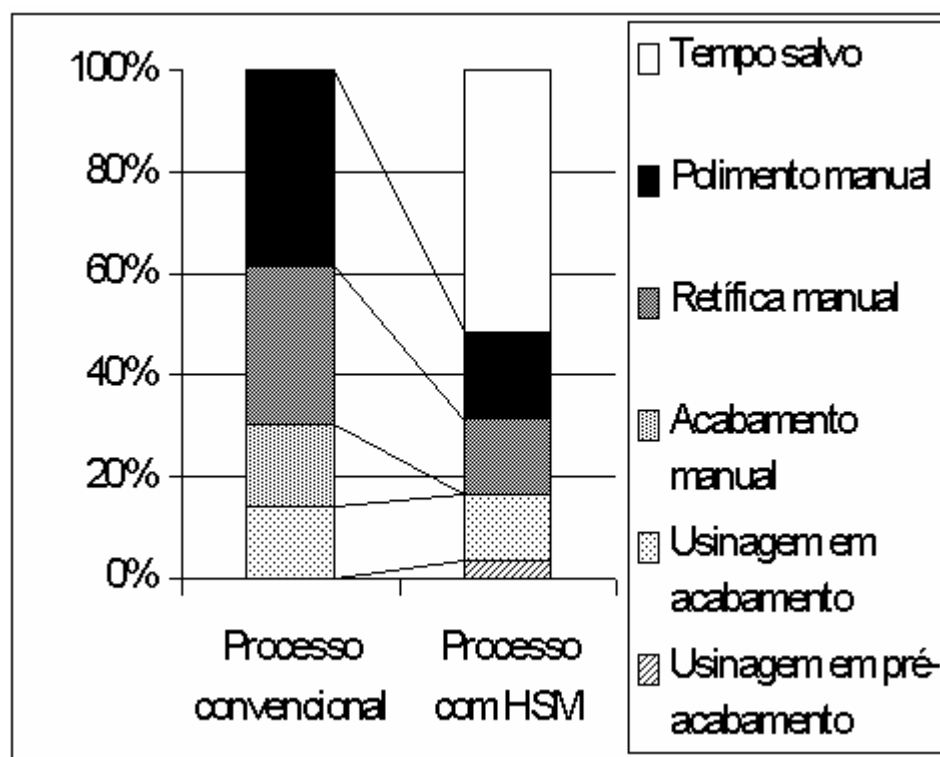


Figura 2: Tempos das operações de usinagem para um molde de estampagem de carrocerias (adaptado de Schulz, 1996)

Mais recentemente outras operações de usinagem também adentraram o campo da altíssima velocidade de corte. A furação em altíssima velocidade de corte permite níveis de produtividade de quatro a dez vezes melhores, quando comparados com processos convencionais (Gühring, 1995). A utilização especial deste tipo de operação também é válida em aplicações de construção de equipamentos eletrônicos, como o caso em que furos de diâmetro menor que 0,5mm para placas de circuito impresso demandam altas rotações dos fusos das máquinas (Schulz, 1992).

Semelhante à furação em altíssima velocidade de corte, o processo de alargamento de furos com HSM também vêm ganhando espaço, garantindo também maiores níveis de produtividade e melhor precisão no acabamento de furos em metais (Vig, 1996).

Mais ainda, aplicações de processos com altíssima velocidade de corte para alta produtividade são cada vez mais presentes. Derivados da tecnologia de criação de

moldes e matrizes com HSM, é cada vez maior a aplicação de fresamento com altíssima velocidade de corte para produção de peças seriadas. Centros de usinagem que permitem operações com HSM são cada vez menores e mais baratos, tornando a produção de pequenas séries de peças mais apropriada sob este aspecto (Zehe, 1996; Schock, 1996).

Além deste tipo de operação com HSM, já existem aplicações também para linhas flexíveis de usinagem de cabeçotes de motor com furações através de usinagem com altíssima velocidade de corte (Jaissle, 1996). Tanto cabeçotes de motor de alumínio como de ferro fundido podem ser fabricados utilizando esta tecnologia com níveis de produtividade equivalentes ou melhores que os processos de fabricação convencionais.

Por fim, há ainda o torneamento com altíssima velocidade de corte. Este processo, cujo o volume de máquinas com esta aplicação já chegou a ser comparável com o de fresamento de topo, tem maior uso em peças da indústria aeronáutica. A princípio, o torneamento vertical com HSM era utilizado devido a dificuldade em se usinar peças de ligas de níquel e de titânio, que necessitava de grandes esforços para o arranque do material.

Utilizando o mesmo princípio do torneamento destas ligas para a aeronáutica, expandiu-se a utilização para outras peças, como volantes de motor em ferro fundido (Coelho et al., 2001).

Há, atualmente, uma pressão maior para o desenvolvimento de máquinas e estudos de processos para torneamento horizontal com altíssima velocidade de corte, uma vez que este tipo de utilização ainda engatinha no mercado. Vantagens como qualidade e produtividade são evidentes, uma vez que se consiga obter maquinário com custos acessíveis.

2.2. Definição de Usinagem com Altíssima Velocidade de Corte

O conceito de HSM por muitos anos foi definido como sendo um processo de fresamento de topo com ferramentas de pequeno diâmetro e rotações na faixa de 10.000 a 100.000 rpm (Dewes & Aspinwall, 1997). Entretanto, este processo, inicialmente aplicável a ligas leves, gradualmente foi sendo utilizado para outros materiais, incluindo aços e ferro fundido endurecidos.

Uma definição mais atualizada da altíssima velocidade de corte é apresentada por Schulz (1996), considerando-se curvas de transição da usinagem convencional para a HSM para diferentes materiais conforme visto na Figura 3.

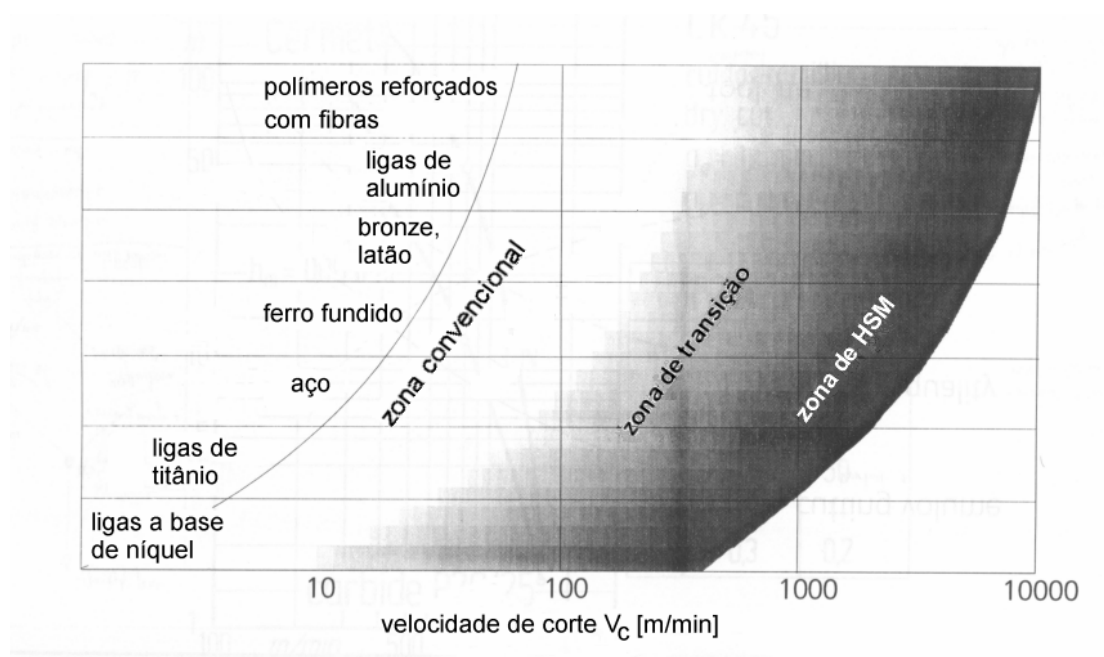


Figura 3: Campo da aplicação da velocidade de corte V_c em relação ao material usinado (adaptado de Schulz, H., 1996)

Esta figura tem a vantagem de conseguir reunir diversas informações relacionadas ao processo de usinagem, como o material usinado e a velocidade de corte V_c , porém não considera variáveis importantes como o material da ferramenta de corte ou o avanço.

Outra definição, proposta por Lewis, D. L., mencionado em Hogan (1999), defende que o ponto inicial para HSM são 8000 rpm de rotação do fuso, independentemente de sua aplicação ou outros parâmetros de corte. Apesar de simplista, esta definição permite observar a evolução e o volume dos fabricantes de máquinas ferramentas, uma vez que este autor realizou uma pesquisa em exposições de fabricantes de máquinas. Segundo este critério, a quantidade de fabricantes, inicialmente de 24 em 1990 (nesta época, o valor para admissão no conjunto de máquinas que operassem em HSM era 10000 rpm), chegou a 704 em 1997.

Dagiloke et al. (1995) propuseram ainda uma maior segmentação dos campos de execução de usinagem em altíssima velocidade, baseados exclusivamente na velocidade de corte, para adequar ao seu algoritmo de análise do processo de corte. De acordo com estes autores, qualquer tipo de usinagem pode ser enquadrada em 4 categorias: LSM (*Low Speed Machining*, usinagem de baixa velocidade, cujas velocidades de corte variam de 1 a 600 m/min), HSM (*High Speed Machining*, usinagem de alta velocidade, para velocidades de corte de 600 a 1800 m/min), VHSM (*Very High Speed Machining*, usinagem de velocidade muito alta, composta de velocidades de corte de 1800 a 18000 m/min) e UHSM (*Ultra High Speed Machining*, usinagem de velocidade ultra alta, de velocidades de corte de 18000 a 300000 m/min).

Desta maneira, os autores pretendem refinar seu algoritmo, modificando o modelo adotado para análise conforme a classificação em que se encontra o processo de usinagem, uma vez que diferentes mecanismos de energia, temperatura e esforços precisam ser considerados.

Há ainda uma classificação apresentada por Schmitt (in Apostila do Seminário..., 1996), em que três classes para máquinas fresadoras são estipuladas através da velocidade disponível do fuso e do máximo avanço obtido pela máquina, conforme observado na Figura 4.

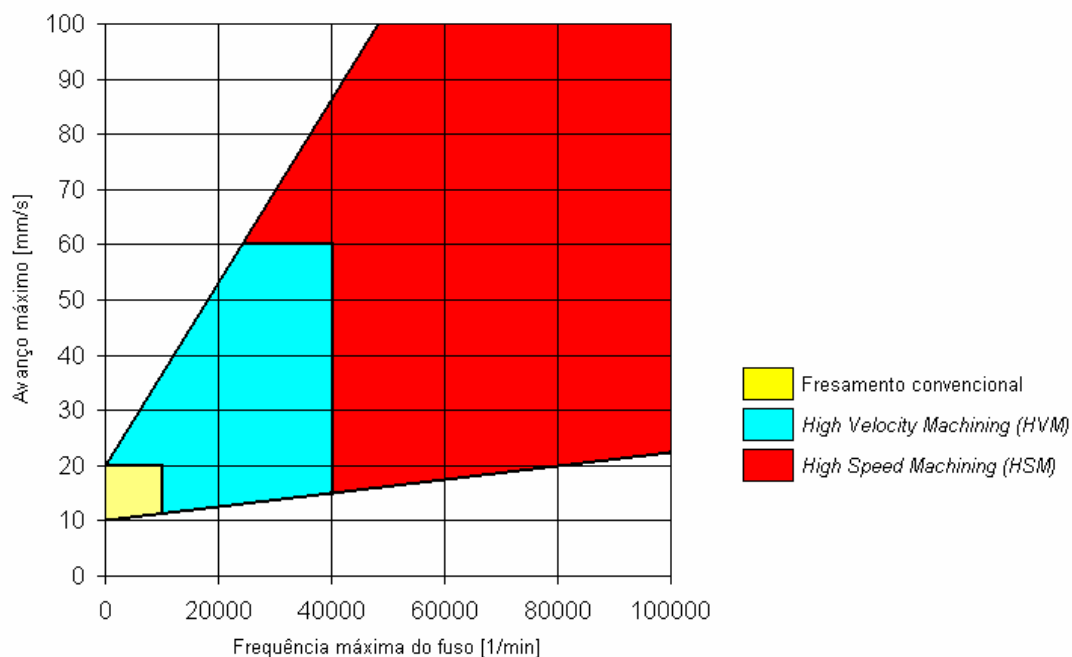


Figura 4: Classificação de máquinas fresadoras através da velocidade de fuso disponível e do máximo avanço permissível (adaptado de Schmitt, in Seminário... 1996)

Através da semântica inglesa, que define dois sinônimos para velocidade (*velocity* e *speed*), o autor defende que existam duas classes de máquinas que operam com altíssima velocidade de corte: no campo inferior, a HVM (*High Velocity Machining*), encontram-se máquinas que de uma maneira geral permitem volumes de remoção de metal médios e altos, composta por centros de usinagem de porte elevado para fresamento de moldes grandes e por centros de usinagem para produção de lotes pequenos e médios (ou seja, a maioria das máquinas disponíveis comercialmente); no campo superior, a HSM legítima para este autor, restringe-se às máquinas que operam em velocidades de corte e avanços máximos para volumes de remoção de metal médios e pequenos, que são aquelas destinadas a manufatura de pequenos moldes, além de novos conceitos de maquinário e protótipos de laboratório.

Esta conceituação proposta por Schmitt é extremamente útil no sentido da seleção de materiais e elementos para construção das máquinas, além dos sistemas de comando computadorizado.

Hans Beck, conforme registrado em Fiedler et al. (2001), inclui na definição de usinagem em altíssima velocidade que, além de elevadas frequências de fuso e grandes velocidades de avanço, esta também deve oferecer uma qualidade de usinagem melhorada, além de redução dos custos. Seguindo esta mesma linha para conceituação de usinagem com altíssima velocidade, Wolfgang Hockauf cita, nesta mesma obra que “a usinagem com altíssima velocidade de corte significa não apenas velocidades elevadas de corte e de avanço, mas também tempos reduzidos de cavaco a cavaco”.

Estas duas últimas definições têm a vantagem de enxergar a tecnologia e o processo com aplicações HSM como algo necessariamente rentável do ponto de vista econômico, seja através de redução de custos ou de tempos durante a usinagem.

Por fim, Schulz (1996) propõe uma regra empírica, em que a usinagem com altíssima velocidade de corte seria toda aquela com um aumento de 5 a 10 vezes na velocidade de corte e do avanço por dente, quando comparada a uma usinagem convencional.