
OS BENEFÍCIOS DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA FERRAMENTARIA DE UMA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA: UTILIZANDO O CONCEITO DE USINAGEM EM ALTA VELOCIDADE DE CORTE

ARTIGO

Cibele A. de Castro Deonísio Darwin¹

Mestranda na Divisão de Engenharia Mecânica Aeronáutica do Departamento de Produção do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atuando, na área administrativa, em gerência de projetos do laboratório de Engenharia de Fabricação do Centro de Competência e Manufatura, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CCM/ITA).
E-mail: cibeledeonisio@yahoo.com.br

RESUMO

Este artigo apresenta os principais benefícios da Usinagem de moldes e matrizes em Alta Velocidade de Corte (High Speed Cutting – HSC) na ferramentaria de uma empresa automobilística. A inovação tecnológica abrange tanto o produto quanto o processo de se chegar a uma solução tecnologicamente viável para o problema, e surge de uma oportunidade tecnológica ou de uma necessidade de mercado. O tema tratado está relacionado com o estudo do processo de mudança tecnológica – a inovação –, pela abordagem da gestão da inovação tecnológica. Foi avaliada a transição de um processo de Usinagem Convencional para o processo de Usinagem em Alta Velocidade de Corte (HSC), por meio de dados técnicos levantados no Laboratório de Engenharia de Fabricação do Centro de Competência em Manufatura, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (CCM/ITA). À medida que iam sendo realizados os ensaios e treinamentos, esses dados foram sendo transferidos para a empresa automobilística.

Palavras-chave: Inovação; Tecnologia; Usinagem.

ABSTRACT

This study describes important benefits for mold and die machining obtained by the introduction of new High Speed Cutting (HSC) technology in the die shop of an automotive manufacturer. This technical innovation involves the product as well as the process and is brought about by a

technologically viable problem solution arising from a technical opportunity or a requirement of the market. This subject is related to the study of technical change - innovation – by means of technological innovation management. The transition from a conventional machining process to the High Speed Cutting (HSC) process was technically evaluated in the Manufacturing Engineering Laboratory of the Center for Manufacturing Competence at the Technology Institute of Aeronautics (CCM/ITA). To the extent that tests and training progressed this information was transferred as quickly as possible to the automotive manufacturer.

Key words: Innovation; Technology; Machining.

1. INTRODUÇÃO

A gestão da inovação tecnológica enfatiza a criação de vantagens competitivas para firmas por meio da concepção de formas de atender às necessidades e desejos do mercado. Tais vantagens decorrem da incorporação de conhecimentos em novos produtos e processos. As mudanças tecnológicas oferecem muitas possibilidades, que vão desde a produção de um novo produto que atende a uma necessidade não endereçada até a de um produto que seja superior àqueles corretamente disponíveis (NARAYANAN, 2000).

Na indústria automotiva vislumbra-se a predominância de uma série de tecnologias que afetam as empresas de autopeças, principalmente aquelas tecnologias relacionadas à integração de

¹ A autora agradece ao Coordenador do laboratório de Engenharia do CCM/ITA, Carlos Cesar de Castro Deonísio, e a Aloísio André dos Santos pelo apoio recebido.

sistemas, integração eletrônica, *e-commerce*, novos materiais, logística e produção enxuta.

Empresas brasileiras, para se manterem competitivas no mercado mundial, estão procurando introduzir a tecnologia de Usinagem em Alta Velocidade de Corte (HSC) em seus processos produtivos.

Essa tecnologia já está maturada o suficiente para ser implementada no ambiente fabril, e não há dúvidas quanto aos benefícios que pode proporcionar. De acordo com estudos realizados pelo CCM/ITA, pode-se destacar, como principal benefício, a redução de 30% a 60% nos tempos de fabricação de componentes usinados e, conseqüentemente, nos “tempos de resposta” no lançamento de novos produtos, ou seja, maior produtividade, redução de custos e um incremento na qualidade do produto.

Os riscos na implementação são bastante reduzidos. No exterior, outras empresas já adotam essa tecnologia com resultados extremamente satisfatórios. No Brasil, a introdução e aplicação efetiva no chão de fábrica datam do final de 1997, sendo portanto bastante recentes e carentes de maiores estudos e de formação de recursos humanos.

Considerando-se esse contexto, este artigo tem como objetivo demonstrar os benefícios referentes à introdução da tecnologia de Usinagem em Alta Velocidade de Corte (HSC) em uma empresa do setor metal mecânico, especificamente do setor automobilístico, na área de ferramentaria.

1.1. A Tarefa de uma Ferramentaria

A função da área de ferramentaria é fornecer recursos de produção para as fábricas. Essa tarefa não é fácil, dada a sua complexidade e a alta competitividade do setor num mercado cada vez mais exigente e globalizado.

Segundo DEONÍSIO (1998), “dependendo da área do setor de produção considerada, os custos com ferramentas (moldes ou matrizes) podem representar até 30% do custo total de produção”. Esse cálculo considera tanto os custos com novos investimentos quanto os relacionados à reparação de ferramentas.

Em relação à indústria automobilística, o tempo de lançamento de automóveis no mercado vem

caindo consideravelmente. Alongar esse tempo pode representar uma perda de 25 a 60% do retorno esperado. Um fator decisivo nesse tempo está relacionado à área de produção, onde ocorre a fabricação de moldes e matrizes. Sendo assim, a otimização dessa área reflete diretamente nos custos da empresa.

A indústria automobilística é a principal cliente do setor de moldes e matrizes: mais de 80% do faturamento deste é proveniente da indústria de veículos automotivos. Uma inovação tecnológica nessa área traz ganhos não só para a indústria automobilística, mas também para o setor de moldes e matrizes. Por isso, é de total relevância o investimento em pesquisa e desenvolvimento nessa área.

A área de ferramentaria engloba um grande fluxo de informações e passos de produção usados na produção convencional de moldes e matrizes, como: geração de trajetória da ferramenta, usinagem de desbaste do molde ou de um eletrodo para EDM, acabamento manual, incluindo polimento manual e automatizado, teste de ferramenta, etc.

O custo relativo dessas diversas etapas varia de uma ferramenta para outra. Os custos de fabricação de uma forma em aço, por exemplo, representam em média 50% do custo total de um molde ou matriz (DEONÍSIO, 1998). Sendo assim, é fundamental a otimização dos parâmetros de usinagem, ferramentas de corte, máquina-ferramenta e dispositivos de fixação.

Essa otimização se dá no chão de fábrica, pela introdução de novos materiais e técnicas com características impostas por projetos, e visa a uma melhor usinabilidade e à racionalização da seqüência do processo.

A indústria americana, por exemplo, consome de 8 a 16% do tempo total de usinagem para o desbaste, de 27 a 39% para a fase de pré-acabamento e de 13 a 23% para o acabamento. No Brasil, estima-se que o tempo de acabamento manual é de 40 a 50% do tempo total de usinagem. Isso justifica os investimentos no Brasil nessa área e mostra a necessidade tanto de redução do tempo de entrega de ferramentas quanto de introdução de modificações na seqüência de processos na linha de produção.

Atentando a essas mudanças, a empresa automobilística estudada implementou

modificações na sua área de ferramentaria, utilizando a tecnologia de fresamento *High Speed Cutting ou High Speed Machining (HSH)* – Alta Velocidade de Corte –, que oferece um conjunto de vantagens técnicas e econômicas em vários campos de aplicação, mas só apresenta melhores resultados pela interação de máquinas-ferramentas de corte e pela geometria de material da peça.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A História da Máquina CNC

Desde os tempos mais remotos, das mais antigas civilizações, o homem busca racionalizar e automatizar o seu trabalho por meio de novas técnicas. Um dos principais fatores que forçaram os meios industriais a essa busca foi a 2ª Guerra Mundial. Durante a guerra, a necessidade de evolução teve papel decisivo. Necessitava-se de muitos aviões, tanques, barcos, navios, armas, caminhões, etc., tudo em ritmo de produção em alta escala e com grande precisão. Era o momento certo para desenvolver máquinas automáticas de grande produção para peças de precisão que não dependessem da qualidade e da especialização da mão-de-obra.

Diante desse desafio, iniciou-se o processo de pesquisa a partir do qual chegou-se à máquina comandada numericamente pelo sistema CN – Comando Numérico. Ano a ano a aplicação do CN foi sendo incrementada, principalmente na indústria aeronáutica. A partir de 1957 houve, nos Estados Unidos, uma intensa fabricação de máquinas comandadas por CN. Até então, os industriais investiam em adaptações do CN nas máquinas convencionais. Esse novo processo foi cada vez mais usado na rotina de manufatura. Com todos os benefícios que haviam obtido desse sistema, surgiram novos fabricantes que fabricavam seus próprios comandos.

Em razão do grande número de fabricantes, começaram a surgir os primeiros problemas, dos quais o principal era a falta de uma linguagem única e padronizada. A falta de padronização era bastante sentida nas empresas com mais de uma máquina, fabricadas por diferentes fornecedores – cada um deles com uma linguagem própria – e que requeriam uma equipe técnica especializada para

cada tipo de comando, elevando os custos de fabricação.

Em 1958, por intermédio da *Electronic Industries Association (EIA)*, organizaram-se estudos para padronizar os tipos de linguagem. No início da década de 70, surgiram as primeiras máquinas de Controle Numérico Computadorizado (CNC) e, no Brasil, as primeiras máquinas CN de fabricação nacional. A partir daí, observa-se uma evolução contínua e notável, concomitantemente com os computadores em geral, que permitiu que os comandos (CNC) mais modernos empregassem em seu conceito físico (*hardware*) tecnologia de última geração.

Com isso, a confiabilidade nos componentes eletrônicos aumentou, aumentando a confiança em todo o sistema.

- **Comando CN** é aquele que executa um programa sem memorizá-lo e, a cada execução, deve realizar a leitura no veículo de entrada.
- **Comando CNC** é aquele que, após a primeira leitura do veículo de entrada, memoriza o programa e o executa de acordo com a necessidade, sem nova leitura.

Atualmente, o meio mais usado para introduzir dados no CNC é o computador, embora durante muitos anos a fita perfurada tenha sido mais utilizada, assim como outros meios de menor destaque.

Dentre as inúmeras vantagens das máquinas CNC, podem ser citadas uma redução nos tempos de fabricação e maior repetibilidade na seqüência das operações, que faz com que os tempos-padrão previstos sejam mais seguros. Com os tempos-padrão mais seguros, tem-se maior precisão nos cálculos de custos, nos controles de carga máquina, nos controles de carga homem (*man power*), e maior repetibilidade no consumo de ferramentas. Por se tratar de uma usinagem com esforços e velocidades constantes, uniformes e repetitivos, essas máquinas fazem com que os desgastes estejam sob controle. Isso facilita o controle do estoque, ao permitir melhor desenvolvimento e teste de fornecedores, melhor controle por desgaste ao processo das ferramentas, o que evita retrabalhos e refugos; redução nos tempos de preparação (*set-up*), o que torna viável a produção de pequenos lotes; redução de itens acabados no estoque, por possibilitar a produção de pequenos lotes, etc.

2.2. Tecnologia HSC

Segundo SCHULZ (1996), as atividades de pesquisa em alta velocidade de corte datam de 1931, quando experimentos foram conduzidos por Salomon em um torno mecânico adaptado. Somente na década de 70, porém, teve início o uso de fresadoras na usinagem HSC.

Em 1981, alguns especialistas em usinagem afirmavam que a aplicação desta tecnologia não era economicamente viável, em razão dos elevados desgastes observados nas ferramentas de corte. Entretanto, com a evolução tecnológica das máquinas-ferramentas, dos sistemas de programação e das próprias ferramentas de corte, contornando ou minimizando os problemas iniciais, esta tecnologia mostra-se hoje extremamente atraente para alguns segmentos da indústria.

A tecnologia *High Speed Cutting* (HSC), que consiste na usinagem para altíssima velocidade de corte, vem sendo desenvolvida, principalmente, para as operações de fresamento, onde ocorre sua maior utilização. Essas operações atendem a duas áreas da manufatura:

- as operações de desbaste e acabamento de materiais não-ferrosos, visando a altas taxas de remoção de material e ao semi-acabamento;

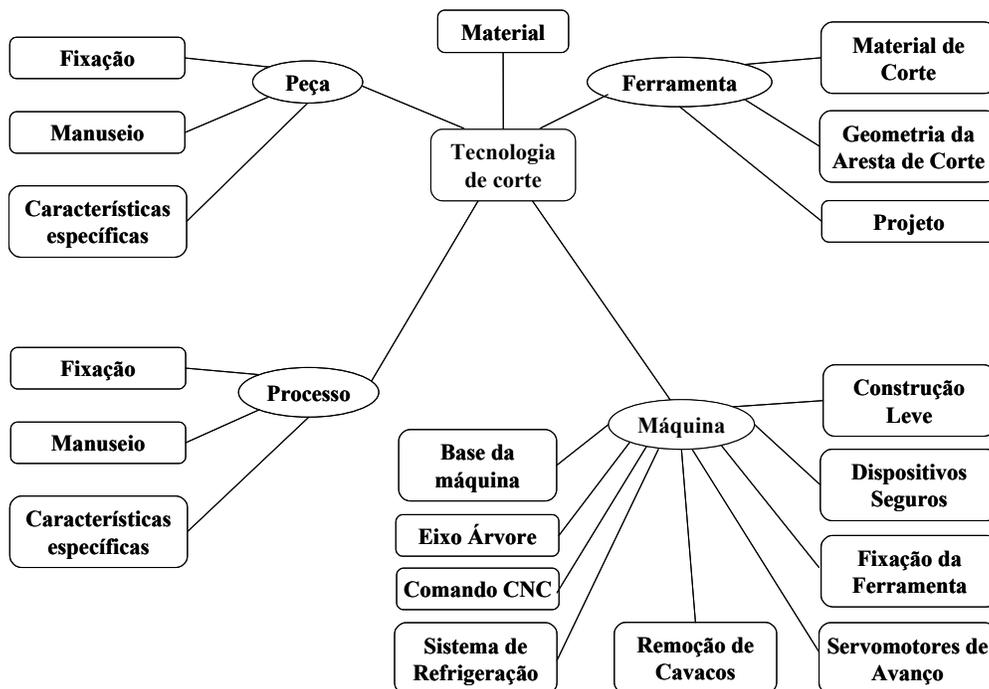
- acabamento de materiais ferrosos, visando à qualidade do acabamento superficial.

No primeiro caso, os principais campos de aplicação são os setores aeronáutico, aeroespacial e automobilístico. Já no segundo caso, sua principal utilização é entre fabricantes de moldes e matrizes, ocupando uma importante posição na cadeia do processo produtivo pela considerável redução do *Lead Time*, considerando-se aqui a indústria automobilística, eletrodomésticos e bens de consumo.

HSC é uma abreviação da expressão inglesa *High Speed Cutting*, que significa usinagem com alta velocidade de corte. Fresar em altas velocidades de corte significa utilizar velocidades de corte cinco a dez vezes maiores que as utilizadas no fresamento convencional. Este aumento da velocidade de corte é alcançado por meio do uso de fusos de alta frequência (20.000 a 100.000 rpm) e avanços de usinagem acima de 5 m/min.

É importante ressaltar que não basta que a máquina tenha altas rotações para que a aplicação de tecnologia HSC seja viável. Outras variáveis do processo, como partes específicas da máquina-ferramenta, ferramentas de corte e elementos de fixação, também devem ser adequadas (SCHULZ e MORWAK, 1992, FINZER, 1997).

Figura 1: Variáveis do processo relacionadas à tecnologia HSC



2.3. As Características da Máquina CNC

As máquinas HSC possuem as seguintes características:

- estrutura com alta rigidez mecânica (concepção portal);
- componentes móveis leves;
- a motorização dos eixos deve permitir grandes acelerações (até 10 m/s²) e altas velocidades finais (até 50 m/min.);
- fuso de alta frequência, com atenção especial ao seu balanceamento;
- sistema de fixação das ferramentas apropriado para a altíssima rotação;
- comando numérico com características técnicas adequadas à tecnologia HSC.

Apresentam como principais vantagens:

- diminuição do tempo de usinagem por peça;
- geração de maior volume específico de cavaco;
- redução dos esforços de usinagem;
- obtenção de superfícies com um ótimo acabamento, o que elimina muitas vezes trabalhos posteriores de lixamento e/ou polimento;
- a usinagem ocorre sem vibrações, pois as oscilações induzidas pelo corte de ferramenta são de alta frequência, muito acima das frequências de ressonância da máquina;
- baixo aquecimento da peça durante a usinagem, pois a maior parte da energia térmica gerada se concentra no cavaco e, como este é arrancado rapidamente em razão da alta velocidade de corte, a transferência de calor para a peça é praticamente nula;
- possibilidade de emprego de usinagem a seco.

Também possuem as seguintes desvantagens:

- os parâmetros tecnológicos para a usinagem otimizada ainda não são totalmente conhecidos e dominados;
- estratégias de usinagem devem ser reestudadas para as peças atualmente existentes;
- atualmente, poucos sistemas CAD/ CAM dão suporte à tecnologia HSC.

É importante salientar que as desvantagens acima descritas são devidas, principalmente, ao fato de a usinagem com alta velocidade de corte ser uma tecnologia recente. Com o passar do tempo, novos estudos trarão informações adicionais que permitirão a utilização cada vez mais otimizada da tecnologia HSC.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. A Inovação Tecnológica adotada pela Empresa Automobilística

Este estudo de caso apresenta alguns resultados referentes à usinagem, durante a implementação da tecnologia HSC em uma grande empresa da indústria automobilística que inovou tecnologicamente seu processo de ferramentaria instalando novas máquinas operatrizes, das quais duas fresadoras com tecnologia HSC.

Com essa inovação, que substitui a máquina fresadora CNC convencional, a empresa esperava a otimização da área, com a redução de custos, o aumento de produtividade e a qualidade do produto obtido, para tornar-se mais competitiva no mercado.

Trata-se de uma inovação do processo porque, uma vez que é possível usinar o material já endurecido, também é possível tirar o produto acabado da máquina com a tecnologia HSC; assim, é praticamente eliminado o trabalho manual final (polimento manual). Por outro lado, alguns erros ou falhas no processo, que passavam despercebidos, como defeitos na modelagem do produto ou perdas de dados geométricos do produto na transferência de arquivos entre sistemas CAD/CAM, passam a ser significativos, uma vez que não serão corrigidos nas etapas de trabalho manual. Em alguns casos, é necessário rever todo o ciclo de fabricação do produto. Usinar em alta velocidade não significa usinar mais rápido; às vezes, significa um repensar sobre como fazer o produto de uma forma melhor.

Segundo FREEMAN e SOETE (1997), existem três razões para falhas em projetos de inovação: incerteza técnica, incerteza de mercado e incertezas político-econômicas. A “Inovação em Produtos” envolve tanto incertezas técnicas quanto de mercado, enquanto a “Inovação em Processos” envolve apenas incertezas técnicas.

Como a inovação destacada no artigo é uma inovação no processo, havia somente a incerteza técnica. Para minimizar ou até mesmo eliminar essa incerteza de projeto, a empresa decidiu, antes de adquirir as máquinas e todo o ferramental, efetuar testes no Laboratório de Engenharia de Fabricação do CCM/ITA. Com isso, a inovação tecnológica estaria baseada em dados concretos e confiáveis.

3.2. Dados Técnicos

Durante o processo de usinagem foram utilizados uma fresadora horizontal CNC, WOTAN B105 MIT, com 1.000 rpm, e um centro de usinagem marca HERMLE, modelo C1200 V, com 15.000 rpm e 10,5 kw.

Os dados comparativos da introdução da nova tecnologia (inovação) foram analisados pelo CCM/ITA e destacados a seguir:

- Dados relacionados à punção:

- análise de desbaste;
- alívio de raio;
- acabamento;
- retoque de raio.

- Dados relacionados à matriz:

- análise de desbaste;
- alívio de raio;
- acabamento;
- retoque de raio.

Os tempos para cada procedimento estão destacados no Quadro 1 para as duas tecnologias analisadas.

Quadro 1: Tempos de usinagem para cada procedimento processo convencional versus HSC

Itens		Operação	Usinagem Convencional	Usinagem HSC
			Tempo (horas)	Tempo (horas)
1	Punção	Desbaste	10:15	10:15
2		Alívio Raio	2:35	2:35
3		Pré-acabamento	21:30	5:15
4		Acabamento	1:30	7:50
5	Matriz	Desbaste	15:00	15:00
6		Alívio Raio	4:30	4:30
7		Pré-acabamento	24:00	1:20
8		Acabamento	1:00	7:40
Tempo Total de Usinagem			107:06	68:06

3.3. Análise dos Dados

Observou-se que os tempos do item relativo à operação de desbaste realizada tanto pela fresadora com processo de usinagem convencional como pela com HSC não se diferenciaram, continuando os mesmos, ou seja, não houve ganho no desbaste com a inovação.

A operação de acabamento (itens 3, 4, 7 e 8) realizada com a usinagem convencional totalizou 48

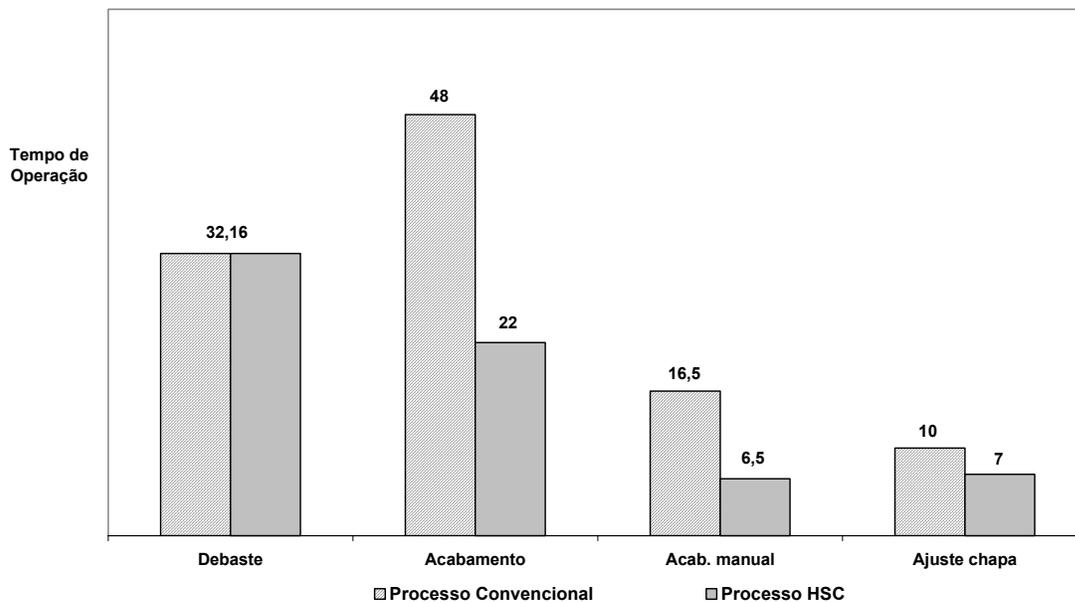
horas de trabalho. No caso da usinagem com HSC, o total foi de 22 horas e 5 minutos. Houve uma redução de 54% nessa operação, resultante dos seguintes fatores:

- apesar dos baixos valores de profundidade de corte, utilizaram-se altas velocidades de avanço e de corte na máquina HSC;
- maior capacidade de processamento e memória do comando numérico da máquina;

- o *software* de CAM utilizado para HSC permitiu que se usinasse com estratégias otimizadas para maiores taxas de avanços;
- ferramentas de corte e fixações apropriadas para HSC.

A seguir, é apresentado um quadro comparativo entre o processo convencional e o processo HSC das operações realizadas nos testes.

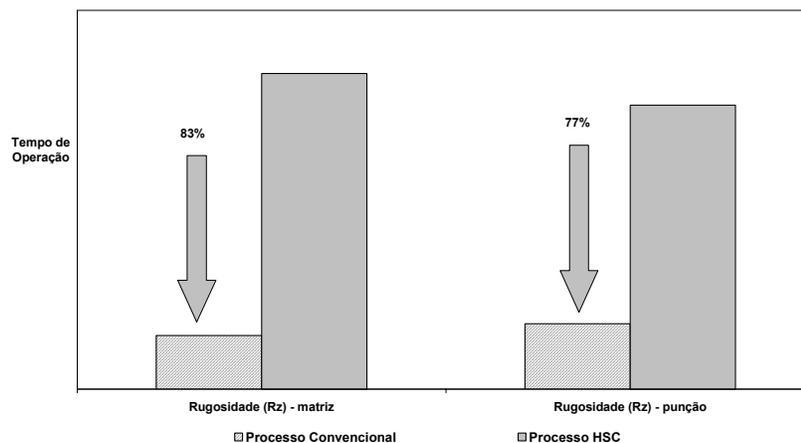
Gráfico 1: Tempos de usinagem: processo convencional *versus* HSC



Em relação ao acabamento manual, o Gráfico 2 mostra uma redução de 60% no tempo de realização dessa atividade, porque na operação anterior, de

acabamento, a ferramenta com tecnologia HSC apresentou uma rugosidade até 83% menor que a da ferramenta do processo convencional.

Gráfico 2: Tempos de acabamento manual: processo convencional *versus* HSC .



3.4. Análise dos Resultados

A usinagem HSC proporcionou uma redução de 37% no ciclo total de fabricação e uma melhoria de até 83% na qualidade superficial da ferramenta após operação de acabamento na máquina CNC. Possibilitou também uma significativa redução de custo e do tempo de resposta, ou seja, a entrega da ferramenta ao cliente em menos tempo, com ganhos de até 65% na redução do tempo de fabricação.

Observou-se que o processo de usinagem HSC requer um refinamento na concepção do produto e do meio de produção, ou seja, etapas do ciclo de desenvolvimento do produto que antes não eram importantes passaram a ser mais significativas, como, por exemplo, a qualidade do modelo gerado no CAD e a fidelidade dos dados geométricos transferidos entre os sistemas CAD/CAM. Não adianta obter uma ferramenta com uma boa qualidade superficial após o acabamento, se em razão dos defeitos oriundos do módulo forem necessárias mais horas de trabalho manual.

O processo de usinagem em HSC implica uma otimização de todo o ciclo de desenvolvimento do produto. O *Computer Aided Engineering* (CAE), por meio de simulação, permite otimizar a geometria funcional da ferramenta, diminuindo ou até mesmo eliminando o retrabalho na ferramenta. A implementação do *software* CAE no setor de projeto de meios de produção é extremamente desejável, uma vez que em HSC já é possível usinar peças com a dureza final de trabalho.

4. CONCLUSÃO

O processo de inovação tecnológica analisado – a usinagem em HSC – está diretamente relacionado à estratégia de motivação, pela qual as empresas buscam novas tecnologias, num processo contínuo, onde existe competitividade, seja no meio externo, seja no ambiente fabril.

Os benefícios obtidos da inovação tecnológica HSC na ferramentaria da indústria automobilística foram: um ciclo de vida mais curto do produto, pouco ou nenhum defeito, oferta do produto cada vez mais diversificada, o que possibilita ainda a redução de custos, além da utilização de novos materiais com padrões de qualidade mais rigorosos, observados criteriosamente em todo o processo produtivo: TG, *Just in Time, Lear Manufacturing*.

Usinar em HSC não é fazer o processo antigo rodar mais rápido; em muitos casos, significa seguir um caminho diferente e melhor para fabricar o produto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ganho efetivo da usinagem em HSC não deve ser medido pela redução do tempo de usinagem, mas sim pela redução do tempo do ciclo de fabricação do produto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DEONISIO, C.C.C. Usinagem em Alta Velocidade de Corte – Aplicações. In: WORKSHOP DE USINAGEM EM ALTA VELOCIDADE DE CORTE (HSC), *Anais*. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1998.
- FINZER, T. The HSC Technology. In: SEMINÁRIO USINAGEM EM ALTISSIMA VELOCIDADE DE CORTE, 1º, *Anais*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. *The Economics of Industrial Innovation*. 3. ed. Great Britain: MIT Press edition, 1997.
- NARAYANAN, V.K. *Managing Technology and Innovation for Competitive Advantage*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- SCHULZ, H. PTW *Research Activities in the field of High Speed Machining*. In: High Speed Machining. Do original alemão: Hochgeschwindigkeits-bearbeitung. Alemanha: Carl Hanser Verlag, Cap. 1, p.1-19, 1996.
- SCHULZ, H. e MORIWAKI, T. High Speed Machining. *Annals of the CIRP*, [S.l.: s.n.], v. 41/21/1992.

7. OBRAS CONSULTADAS

- CABRAL, A. S.; YONEYAMA, T. *Economia Digital: uma perspectiva estratégica para negócios*, São Paulo: Atlas, 2001.
- HARMON, R.L.; PETERSON, L.D. *Reinventando a Fábrica: Conceitos modernos de produtividade aplicados à prática*. Rio de Janeiro: Campus, 1991.

SBRAGIA, R. A capacidade de inovação será o diferencial do futuro. *Pesquisa Fapesp*. São Paulo: FAPESP, n. 54, jun. 2000. (Suplemento especial. Pensando São Paulo: desenvolvimento e emprego).