

ANÁLISE DA INSERÇÃO DE CENTROS DE USINAGEM 5 EIXOS NO PROCESSO DE FRESAMENTO DE MOLDES¹

Fernando Brito de Lacerda²

André Luis Helleno³

Maria Célia de Oliveira Papa⁴

Resumo

Atualmente a redução do ciclo de vida de produtos de bens de consumo, o aumento da utilização de superfícies complexas na representação geométrica dos produtos e o aumento da diversidade dos produtos tem resultado na mudança do panorama da indústria nacional de manufatura. Um processo de usinagem com alta qualidade dimensional, baixo custo e flexível torna-se uma vantagem competitiva no mercado globalizado. Desta forma, surge na indústria inúmeras soluções de equipamento para atender este panorama, dentre os quais, os centros de usinagem 5 Eixos. Estes centros de usinagem se destacam pela característica de flexibilidade no processo de usinagem. No entanto, o uso restrito desta tecnologia na fabricação de bens de consumo resulta em paradigmas quanto à eficácia de sua aplicação, especialmente na redução do tempo de usinagem e dos custos. Com isso, este artigo tem como objetivo analisar a inserção de centro de usinagem 5 Eixos no processo de fresamento de moldes. A análise baseou-se no fresamento de um molde utilizado na indústria de calçados, o qual foi usinado em um centro de usinagem 3 Eixos e um Centro de usinagem 5 Eixos. Para a comparação utilizou-se como parâmetros o tempo da usinagem e o seu custo.

Palavras-chave: Fresamento; Centro de usinagem 5 eixos; Moldes.

ANALYZE THE INSERTION OF 5-AXIS MACHINE TOOL IN THE MOLD MACHINING PROCESS

Abstract

Today the reduction of life cycle of products from consumer goods, the increased use of complex surfaces in geometric representation of products and increased diversity of products has resulted in changing the landscape of national manufacturing industry. A machining process with high dimensional quality, low cost and flexible becomes a competitive advantage in the global market. Thus arises in numerous industry equipment solutions to meet this scenario, among them, the 5-axis machining centers. These machining centers are distinguished by the characteristic of flexibility in the machining process. However, the restricted use of this technology in the manufacture of consumer goods results in paradigms regarding the effectiveness of its implementation, especially in reducing machining time and costs. Thus, this article aims to analyze the insertion of 5-axis machining center in the process of milling mold. The analysis was based on milling a mold used in the footwear industry, which was machined on a 3-Axis machining center and a 5-axis machining center. For comparison we used as parameters of the machining time and cost.)

Key-words: Milling; 5 Axis machine tool; Insert.

¹ *Contribuição técnica ao 11º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 14 e 15 de agosto de 2013, São Paulo, SP.*

² *Engenheiro Elétrico. Mestrando. Engenharia de Produto. Indústrias ROMI S.A. Santa Bárbara d' Oeste, São Paulo, Brasil.*

³ *Engenheiro de Produção. Doutor. Coordenador do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara d' Oeste, São Paulo, Brasil.*

⁴ *Matemática. Doutora. Professora do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba. Santa Bárbara d' Oeste, São Paulo, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A indústria de moldes tem grande impacto no cenário de manufatura atual em função de sua forte influência em diversos segmentos produtivos, tais como: eletrodoméstico, automobilístico, indústria civil, entre outros.⁽¹⁾

No entanto, apesar deste cenário, a indústria nacional de moldes encontra dificuldades que a colocam em uma posição de desvantagem competitiva em um mercado globalizado. Destas dificuldades destacam-se a falta de mão de obra especializada; os altos custos dos recursos e o elevado tempo de produção dos moldes.

Conforme pode ser observado na Figura 1, a indústria nacional de moldes não se destaca entre os principais fabricantes de moldes mundiais. Até o início do século, destacavam-se os seguintes países: EUA, Alemanha, Itália e Japão e, mais recentemente, os países asiáticos Coreia do Sul e China.

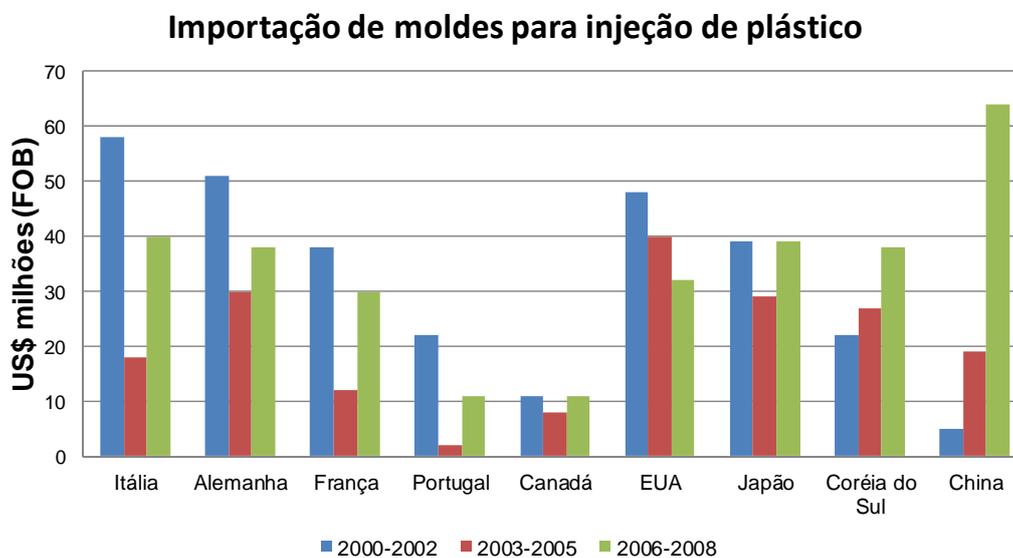


Figura 1: Importação segundo o país de origem.⁽¹⁾

Para o mercado nacional de moldes tornar-se competitivo mundialmente é preciso que os seus processos de fabricação sejam modernizados e aprimorados. Esta modernização relaciona-se diretamente com o aumento do nível tecnológico das máquinas ferramentas que são utilizadas no processo.

Neste sentido, a inserção de centros de usinagem 5 Eixos no processo de usinagem de moldes é um importante fator. Comparando estes centros de usinagem com os de 3 eixos, que já são amplamente utilizados pela indústria nacional, além de movimentos no plano cartesiano XYZ, tem-se os movimento rotacionais sobre os eixos X (Eixo B) e Y (Eixo A).

Segundo Do, Yan e Tian,⁽²⁾ as vantagens da inserção de centros de usinagem 5 Eixos no processo de fresamento permite aumentar a taxa de remoção de material e melhorar a qualidade dimensional das peças usinadas. Tais vantagens contribuem para o aumento da utilização do fresamento em 5 eixos em processos de fabricação modernos.

Além disso, o fresamento em 5 Eixos permite maior liberdade de orientação da ferramenta em relação ao fresamento em 3 eixos, o que possibilita inúmeras vantagens com relação ao processo convencional.⁽³⁾ Em um processo de usinagem convencional, de peças que possuem múltiplas faces, muitas vezes é necessário

vários posicionamentos e fixação da peça na mesa da máquina para a usinagem, isso ocasiona diversos problemas como por exemplo, maior erros geométricos do produto final, devido ao reposicionamento das outras faces a serem usinadas; necessidade de dispositivos de fixação, aumentando o custo do produto final e processo mais dependente do operador de máquina para reposicionamento e operação da mesma.

No fresamento em centros de usinagem 5 eixos, primeiramente, pode-se relatar a vantagem da acessibilidade da ferramenta em determinados ângulos negativos e faces da peça, nos quais a máquina convencional não tem acesso. Isso permite, na maioria das vezes, usinar peças com uma única fixação, o que reduz consideravelmente o tempo e o custo de usinagem. Além disso, é possível utilizar ferramentas mais curtas, que proporcionam uma maior rigidez do processo e, conseqüentemente melhor acabamento da superfície usinada.

Hong, Ibaraki e Matsubara⁽⁴⁾ destacam que a aplicação de centros de usinagem 5 Eixos no processo de manufatura de moldes e matrizes como um fato de evolução tecnológica e impulsionada pela busca de um diferencial nesse segmento.

Apesar da aplicação da tecnologia de usinagem por 5 eixos na fabricação de moldes, este processo exige alta capacitação técnica dos envolvidos, em função da complexidade das programações e da operação destes centros de usinagem.

2 DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS DE USINAGEM

Análise da inserção de centros de usinagem 5 Eixos no processo de fresamento de moldes esta baseado em uma comparação de um processo de usinagem de um molde em um centro de usinagem 5 Eixos e, um processo de usinagem do mesmo molde em um centro de usinagem 3 Eixos. A Figura 2 e e o Quadro 1 ilustram respectivamente os centros de usinagem da Indústrias Romi S.A. utilizados no processo de usinagem e suas informações técnicas.



Figura 2: Ilustração dos Centros de Usinagem: (a) 3 Eixos; (b) 5 Eixos.

Quadro 1. Máquinas-Ferramentas ROMI utilizada no experimento

Máquinas-Ferramenta		
Modelo	ROMI DCM 620 5X V1.0	ROMI D 1000 AP DD V4.0
Curso	X = 620mm Y = 520mm Z = 460mm	X = 1020mm Y = 610mm Z = 640mm
Eixo B	-50 à +110°	-
Eixo C	360°	-
Transmissão eixo árvore	Direta	Direta
Cone	NBT40	NBT40
Rotação	12000 rpm	15000 rpm
Trocador de Ferramenta	32 Ferramentas	30 Ferramentas
Potência Spindle	12,5KW	18,5KW
Avanço máximo	X = 36000 mm/min Y = 36000 mm/min Z = 36000 mm/min B = 25 rpm C = 25 rpm	X = 40000 mm/min Y = 40000 mm/min Z = 40000 mm/min B = - C = -

O corpo de prova utilizado nos ensaios de usinagem, conforme ilustrado na Figura 3, é um molde real de uma empresa fabricante de moldes e matrizes para o setor calçadista, com dimensões de 380mm x 180mm x 60mm. Este molde é representado geometricamente por geométricas complexas que necessitam de usinagens negativas que resultam em um alto tempo de fabricação.



Figura 3: Molde de indústria calçadista.

A fim de simular as condições da manufatura de moldes e matrizes, os ensaios de usinagem foram realizados em alumínio aeronáutico 7075. Este material é bastante estável e possui alta dureza e resistência, características estas que são necessárias para grandes produções.

Além destas características, em comparação aos outros materiais, o alumínio 7075 oferece benefícios de usinabilidade, admite tratamentos de superfície, além de ser resistente à corrosão, soldável e reciclável.

Do ponto de vista prático, o alumínio 7075 é um referencial para a fabricação de moldes para uma infinidade de produtos plásticos, atendendo desde componentes para a indústria automobilística até elementos para computadores, pet, robótica, matrizaria, automação, brinquedos, entre outros.

O trabalho experimental foi realizado nas dependências da Indústria Romi S.A. , com a participação de representantes das empresas de *software* CAD/CAM, responsável pela programação e geração do programa NC. Para a programação do centro de usinagem 5 Eixos utilizou-se o Sistema *VISI Machining*, enquanto que utilizou-se o Sistema *EDGECAM* para a programação do centro de usinagem 3 eixos.

Na comparação entre os centros de usinagem utilizou-se o tempo de usinagem do corpo de prova e o retorno de investimento (custo do Processo).

Os Quadros 2 e 3 ilustram, respectivamente, as características dos processos de usinagem com 5 e 3 Eixos.

Tabela 2.Características dos processos de usinagem com 5 Eixos
Parâmetros de usinagem corpo de prova em 5 eixos

Ferramenta [mm]	RPM	Avanço F[mm/min]	Operação	Estratégia de Corte
Fresa Topo Diâmetro 50mm	7000	4500	-Desbaste	-Traçar -Desbaste em espiral para fora
Fresa Topo Diâmetro 25mm	10000	4000	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Topo Diâmetro 16mm	11000	3000	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Esférica Diâmetro 10mm	12000	3600	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Esférica Diâmetro 6mm	12000	3600	-Redesbaste	-Helicoidal
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	12000	2000	-Redesbaste	-Helicoidal
Fresa Esférica Diâmetro 4mm	12000	2400	Acabamento	-Raster

Quadro 3. Características dos processos de usinagem com 3 Eixos
Parâmetros de usinagem corpo de prova em 3 eixos

Ferramenta [mm]	RPM	Avanço F[mm/min]	Operação	Estratégia de Corte
Fresa Topo Diâmetro 50mm	7000	4500	-Desbaste	-Traçar -Desbaste em espiral para fora
Fresa Topo Diâmetro 25mm	10000	4000	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Topo Diâmetro 16mm	11000	3000	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Esférica Diâmetro 10mm	12000	3600	-Desbaste	-Desbaste em espiral para fora
Fresa Esférica Diâmetro 6mm	12000	3600	-Redesbaste	-Helicoidal
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	12000	2000	-Redesbaste	-Helicoidal
Fresa Esférica Diâmetro 4mm	12000	2400	Acabamento	-Raster

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tempos de usinagem dos moldes nos centros de usinagem 3 e 5 Eixos são apresentados no Quadro 4.

Tabela 4. Tempo de usinagem corpo de prova em 5 eixos

Tempo de Usinagem do Corpo de Prova em 3 e 5 Eixos				
Ferramenta [mm]	Operação	Estratégia de corte	Tempo Fresamento corpo de prova em 3 eixos [hrs]	Tempo Fresamento corpo de prova em 5 eixos [hrs]
Fresa Topo Diâmetro 50mm	- Desbaste (Esquadrejar)	- Traçar - Desbaste em espiral para fora	0:29:26	00:05:25
Fresa Topo Diâmetro 25mm	- Desbaste - SWARF 90°	- Desbaste em espiral para fora	-	00:08:50
Fresa Topo Diâmetro 16mm	- Desbaste	- Desbaste em espiral para fora	00:49:08	00:08:00
Fresa Esférica Diâmetro 10mm	- Desbaste - Pré-Acabamento	- Desbaste em espiral para fora	00:41:17	00:47:50
Fresa Esférica Diâmetro 6mm	- Redesbaste	- Helicoidal	00:46:41	00:42:50
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	- Redesbaste	- Helicoidal	02:18:57	00:29:00
Fresa Esférica Diâmetro 4mm	- Acabamento	-Raster	01:22:40	01:52:00
Fresa Esférica Diâmetro 6mm	- Bico 45° (Setup Dispositivo)	- Desbaste em espiral para fora	00:45:00	-
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	- Calcanhar 45° (Setup Dispositivo)	- Desbaste em espiral para fora	00:45:00	-
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	- Lateral interna 45° (Setup Dispositivo)	- Desbaste em espiral para fora	01:20:00	-
Fresa Esférica Diâmetro 5mm	- Lateral externa 45° (Setup Dispositivo)	- Desbaste em espiral para fora	01:20:00	-
Total:			10:38:09	4:13:55

Observou-se um ganho significativo no tempo de fresamento do corpo de prova em 5 eixos devido a não necessidade de SETUP's e dispositivos nas usinagens negativas, além da possibilidade de liberdade de estratégias que ganham tempo devido aos graus de liberdade que proporcionam os eixos rotativos no centro de usinagem 5 eixos.

O custo de fabricação para ambos os métodos foram calculados multiplicando o tempo total de cada etapa do processo pelo seu respectivo custo por hora, adicionando ao custo da matéria prima e dos dispositivos usados, conforme mostra o Quadro 5.

Quadro 5. Custo de Fabricação da usinagem com ambos os métodos: 3 e 5 Eixos

Custos fresamento corpo de prova 3 e 5 eixos					
Corpo de prova	Custo hora [R\$]	Tempo Fresamento corpo de prova em 3 eixos [hrs]	Tempo Fresamento corpo de prova em 5 eixos [hrs]	Custo Fresamento corpo de prova em 3 eixos [R\$]	Custo Fresamento corpo de prova em 5 eixos [R\$]
Molde Solado	R\$ 80,00	10:38:09	04:13:55	R\$ 850,78	R\$ 332,00
Custo matéria Prima	-	-	-	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Dispositivo	-	-	-	R\$ 8.000,00	R\$ 2.000,00
Total:				R\$ 9.450,78	R\$ 2.932,00

O custo do fresamento do corpo de prova em 5 eixos é de 3, 22 vezes menor que o fresamento em 3 eixos.

A Tabela 1 apresenta o retorno de investimento estimado para cada processo de usinagem 3 e 5 eixos na fabricação do corpo de prova.

Tabela 1. Análise de Payback para cada processo de usinagem

Tabela de Análise de Payback para a inserção de Centro de usinagem 5 eixos em Relação a 3 Eixos

	Centro Usinagem ROMI D1000 AP DD (3 Eixos)	Centro Usinagem ROMI DCM 620 (5 Eixos)
Tempo em anos para a amortização do investimento (Custo investimento / Total Financeiro Gerado)	4,25	1,21

Foi analisado o retorno de investimento para a implementação de cada processo de usinagem 3 e 5 eixos, esta análise foi baseada nos custos de aquisição, lucro e depreciação da tecnologia aplicada na fabricação do corpo de prova.

5 CONCLUSÕES

Com a fabricação do corpo de prova em um centro de usinagem 5 eixos obtém-se uma redução de tempo de 2,5 vezes no tempo de fabricação do corpo de prova em relação ao fabricado em um centro de usinagem 3 eixos.

O processo 5 eixos mostra-se eficaz na aplicação da fabricação de moldes complexos onde há a necessidade de implementação de dispositivos, fixações em varias posições e difíceis acessos a cavidade do molde.

O processo de usinagem 5 eixos na fabricação do corpo de prova não necessita de nenhuma intervenção humana durante o processo de usinagem, o que difere na usinagem em, 3 eixos onde foi necessário a intervenção para o reposicionamento do corpo de prova.

Observou-se que o tempo total de disponibilização do corpo de prova para o cliente final é menor no fresamento 5 eixos, devido a não necessidade de desenvolver dispositivos complexos para a fixação do molde, isso faz com que a velocidade de entrega do utilizando o fresamento 5 eixos seja reduzido.

Para a fabricação do corpo de prova proposto o fresamento 5 eixos possibilitou uma redução geral de custos na ordem de 3,22 vezes menor que a fabricação utilizando o processo em 3 eixos.

Para o caso estudado a implementação do fresamento 5 eixos na fabricação do corpo de prova tem um custo 50% superior em relação á tecnologia 3 eixos.

Para o caso estudado a implementação do fresamento 5 eixos na fabricação do corpo de prova obtém se um retorno de investimento em aproximadamente 1 ano, contra 5 anos para o fresamento em 3 eixos.

Agradecimentos

Ao Professor André Luís Helleno pela orientação e incentivo para a conclusão deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Máquinas-Ferramentas das Indústrias Romi pela constante ajuda no desenvolvimento dos ensaios.

Às Indústrias Romi S.A. pela disponibilidade de equipamentos e máquinas para a realização dos ensaios.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho

REFERÊNCIAS

- 1 MARSON, D. Filão de moldes aberto para exploração. Revista Máquinas e Metais, nº524, p. 30 - 49, 2009.
- 2 Do, J., Yan, X.-g., & Tian, X.-t. (2011). The avoidance of cutter gouging in five-axis machining with a fillet-end milling cutter. International Journal adnavced of Manufact technology, 89-97.
- 3 PENCHENG HU, K. T. (2011). Improving the dynamics of five-axis machining through optimization of workpiece setup and tool orientations. Computer-Aided Design, 1693-1706.
- 4 HONG, C., IBARAKI, S., & MATSUBARA, A. (2011). Influence of position-dependent geometric errors of rotary axes on a machining test of cone frustum by five-axis axis machine tools. Precision Engineering, p.1 -9, 2011.