

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA**

**CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL- GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

RAFAEL BORTONCELLO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DOIS MÉTODOS DE USINAGEM DE
UM INSERTO PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO**

JARAGUÁ DO SUL, MARÇO DE 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA CATARINA

CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL- GERALDO WERNINGHAUS

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

RAFAEL BORTONCELLO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DOIS MÉTODOS DE USINAGEM DE
UM INSERTO PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de conclusão de curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Tecnólogo em
Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Delcio Luís
Demarchi.

JARAGUÁ DO SUL, MARÇO DE 2016

B739a Bortoncello, Rafael

Análise comparativa de dois métodos de usinagem de um inserto para moldes de injeção de alumínio / Rafael Bortoncello;
Orientador Delcio Luís Demarchi. – Jaraguá do Sul, SC, 2016.
50 f.

Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Santa Catarina.
Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica

Inclui bibliografia

1. Fabricação de moldes. 2. Usinagem. 3. Aço endurecido. I.
Demarchi, Delcio Luís. III. Instituto Federal de Santa Catarina. Curso
Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica. IV. Título.

CDD 620.1

Catalogado por: Karla Viviane Garcia Moraes – CRB14/1002

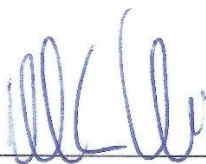
ANÁLISE COMPARATIVA DE DOIS MÉTODOS DE USINAGEM DE UM INSERTO PARA MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

RAFAEL BORTONCELLO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, março de 2016

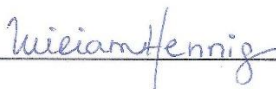
Banca Examinadora:



Delcio Luis Demarchi, Me.



Gabriel Costa Sousa, Me.



Miriam Hennig, Me.



Vanderlei Junkes, Me.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, a minha família por apoiar as minhas escolhas, e por me apoiar nos momentos difíceis.

Ficam meus agradecimentos ao meu orientador, Professor Delcio Luís Demarchi, por fornecer materiais de estudos, opiniões com grande valia para a conclusão deste trabalho, incentivo nos momentos de reflexão, pela amizade.

À professora Miriam Hennig, Me., pela dedicação e orientações na realização deste trabalho.

Ao IFSC pelas oportunidades de ensino. Aos colegas de turma pela compreensão e serenidade.

A todos os professores que contribuíram para a minha evolução no conhecimento, em uma variada gama de assuntos e pessoais. Ao IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

Na fabricação de moldes de injeção de alumínio, a maior parte do tempo de produção dos componentes está associado à usinagem das cavidades e insertos, por possuírem geometrias complexas, e à necessidade da utilização de máquinas com extenso tempo de execução do processo. Este trabalho compara dois métodos de usinagem de um inserto, tendo como objetivo evidenciar qual método é mais eficaz na redução do prazo e custo de fabricação. O método 1 de usinagem tem como características a utilização de tratamentos térmicos no material e a usinagem por eletroerosão. Entretanto, o método 2 apresenta a usinagem completa do inserto em uma máquina fresadora 5 eixos, com material endurecido. Conclui-se que o método 2 se fez mais eficaz por ter diminuído a quantidade de processos e máquinas, obteve ganhos nos tempos de usinagem, e tempo total de fabricação do inserto.

PALAVRAS-CHAVE: Fabricação de moldes. Usinagem. Aço endurecido.

ABSTRACT

In the fabrication of aluminum injection mold, most of the production time of the components are associated with the machining of the cavities and inserts by having complex geometries and need to use machines with extended process execution time. This paper compares two methods of machining an insert, aiming to show which method is most effective in reducing the time and cost of manufacturing. The method has as one of machining features the use of thermal treatment on the material and machining by electroerosion. However, the method 2 has the complete machining of the insert on a milling machine 5 axes with hardened material. It is concluded that Method 2 is made more effective by having reduced the number of processes and machines, profits obtained in machining times and total time of manufacture of the insert.

KEY WORDS: Manufacture of molds. Machining. Hardened steel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de molde de injeção de alumínio.....	18
Figura 2 – Etapas no processo de usinagem por fresamento e eletroerosão	21
Figura 3 – Fenômeno de eletroerosão	22
Figura 4 – Fatores relacionados do conceito de usinagem com altas velocidades ...	24
Figura 5 – Usinagem trocoidal.....	26
Figura 6 – Usinagem 5 eixos simultâneos	26
Figura 7 – Usinagem em 5 eixos posicionais	27
Figura 8 – Exemplo de furações de refrigeração de insertos	33
Figura 9 – Composição química em porcentagem do aço TENAX 300IM Villares.....	34
Figura 10 – Usinagem de acabamento do inserto.....	42
Figura 11 – Inserto pronto	42
Figura 12 – Comparação do tempo total de fabricação do inserto	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação de parâmetros de corte encontrados na literatura.....	22
Tabela 2 – Método 1 de usinagem do inserto	35
Tabela 3 – Método 2 de usinagem do inserto	37
Tabela 4 – Tempo de usinagem de cada operação do método 1	40
Tabela 5 – Tempo de usinagem de cada operação do método 2	41
Tabela 6 – Tempo em horas das operações de usinagem dos métodos 1 e 2	43
Tabela 7 – Comparação de desempenho da broca para furação lateral.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVOS.....	13
1.3.1	Objetivo geral.....	13
1.3.2	Objetivos específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	MOLDES.....	14
2.2	USINAGEM.....	15
2.2.1	Usinagem de cavidades e insertos	16
2.2.2	Eletroerosão.....	17
2.2.3	Fresamento	19
2.2.3.1	Fresamento de aços endurecidos	19
2.2.3.2	Parâmetros, conceitos e estratégias de fresamento	21
2.2.4	Ferramentas de corte	24
2.2.4.1	Aço rápido	24
2.2.4.2	Metal duro	25
2.2.5	Máquina-ferramenta	26
2.3	CUSTOS DE PRODUÇÃO	27
2.3.1	Tempo na usinagem	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	MATERIAL	31
3.2	MÉTODO 1	31
3.3	MÉTODO 2	34
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	37

4.1	MÉTODO 1	37
4.2	MÉTODO 2	38
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS	40
5	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	45
	ANEXO A – DESENHO DO INSERTO	49
	ANEXO B – DESENHO 3D DO INSERTO.....	50

1 INTRODUÇÃO

Com a constante evolução tecnológica, aliada à globalização dos mercados consumidores, ocorre a necessidade de produtos inovadores e menores prazos de fabricação, para que haja uma maior aceitação no mercado. Uma das escolhas das indústrias, em geral, é o investimento em novas tecnologias de processamento do produto, que trazem maior rendimento produtivo e financeiro, nesse cenário competitivo.

Segundo Veloso (2000), a competição entre as empresas deve-se ao relacionamento da visão de atender o cliente em potencial, dando o valor necessário na relação de custo efetivo, qualidade e tempo eficaz. Os macroprocessos de manufatura de uma fábrica estão relacionados entre 60 a 70% aos custos de fabricação do produto. Portanto, há a busca por melhores métodos de processos e operações, também para se obter uma maior competitividade a longo prazo.

Em uma indústria de manufatura metal mecânica que possui ferramentaria, por exemplo, onde são realizadas as usinagens e montagens de moldes de injeção de alumínio, a competitividade está relacionada aos métodos de usinagem. Conforme Oliveira (2007), a fabricação de moldes vem sofrendo mudanças constantes nos métodos utilizados na usinagem. Para ser feita a produção de moldes, utilizam máquinas que levam um tempo extenso de usinagem, que por sua vez aumenta o prazo de fabricação do molde.

O maior tempo de fabricação dos moldes incide na usinagem das cavidades e insertos, que estão ligados diretamente ao produto final a ser injetado. Os métodos de usinagem de cavidades e insertos estão diretamente ligados aos processos de manufatura dos materiais empregados, que se constituem de aços-ferramenta. Há dois principais processos que são: a eletroerosão e o fresamento.

A eletroerosão, exibe determinadas desvantagens, primeiramente nas operações de desbaste. Quando comparada com o fresamento, a eletroerosão apresenta uma baixa taxa de remoção de material e uma demora na execução do processo. A maior parte do processo de eletroerosão para cavidades e insertos de moldes de alumínio está relacionada com a fabricação do eletrodo, que pode ter dimensões complexas, que dificultam a usinagem, ocasionando um maior tempo de

fabricação, fazendo com que sejam elevados os custos do processo.

Há certa exigência na diminuição do prazo de produção dos produtos desejados. Por esses moldes serem muitos exigidos na operação de injeção do alumínio para a fabricação do produto, há a necessidade de produção de peças para reposição em menores tempos, para que atendam à produção de um segmento de produto. Portanto, a avaliação de dois métodos de usinagem é uma das lacunas a serem exploradas, buscando o diferencial que o cliente observa e necessita.

Por essa razão, este trabalho apresenta a avaliação de dois métodos de usinagem, para atingir essa diminuição do prazo de produção, e maneiras mais eficazes de usinagem, propondo o método que faz o melhor uso de recursos.

Para se obter a melhor utilização dos recursos disponíveis em uma ferramentaria da área mecânica, deve haver o esforço de propor melhores parâmetros, estratégias e conceitos de usinagem, além de evidenciar alguns pontos cruciais de usinagem, a fim de ser realizada uma melhor configuração dos processos e operações. Por isso, é necessário compará-las e reajustá-las, para verificar o método que melhor se adequa à execução da usinagem de componentes de moldes de alumínio, que exigem geometrias complexas e apresentam dificuldade na fabricação, com o objetivo de alcançar menores prazos e custos de fabricação.

1.1 PROBLEMA

Para a produção de produtos injetados de alumínio, o maior tempo de fabricação do molde está incorporado à usinagem das cavidades e insertos. Por ter geometrias complexas, que necessitam da utilização de maquinários com extenso tempo de processamento na usinagem da peça, surge a pergunta de pesquisa, como atingir o menor tempo de usinagem de um inserto para molde de alumínio, garantindo precisão dimensional e qualidade da superfície, reduzindo os prazos e custos de fabricação.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os processos que caracterizam o método 1 de usinagem de insertos de moldes de alumínio são: o desbaste, quando é feita a usinagem por fresamento e torneamento, os tratamentos térmicos no metal utilizado, o pré-acabamento, por

processos de fresamento e retificação, e o acabamento, com a utilização do fresamento e eletroerosão.

O método 2 está relacionado com conceitos e estratégias de usinagem por fresamento em materiais endurecidos em uma máquina CNC de 5 eixos, em uma ferramentaria de uma empresa do segmento metal mecânico, que faz a produção de moldes de injeção de alumínio. Nesse sentido, é feita a identificação das máquinas, das ferramentas de corte, dos processos de usinagem, dos conceitos e estratégias utilizados, comparando-se a relação de tempos dos processos, tempo total de usinagem e custos totais do método 2 em relação ao método 1.

Essas avaliações serão determinantes para obter-se uma amplitude de como utilizar melhores métodos, processos e operações em uma ferramentaria de uma empresa da área metal mecânica que utiliza a usinagem como ponto forte no quesito de concorrência no mercado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Comparar dois métodos de usinagem de um inserto de molde de injeção de alumínio, demonstrando qual método se apresenta eficaz na redução de prazos e custos de usinagem.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar máquinas e ferramentas de corte utilizadas para a usinagem do inserto para moldes de injeção de alumínio;
- Determinar os processos de usinagem dos métodos 1 e 2;
- Comparar os tempos dos processos e tempo total de usinagem entre os métodos 1 e 2;
- Comparar os custos das ferramentas de corte utilizadas na usinagem em relação aos métodos avaliados.

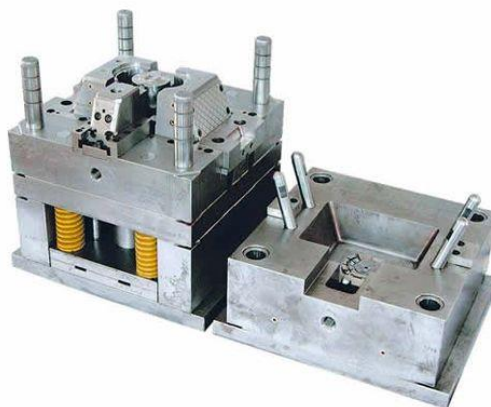
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a fundamentação teórica necessária para a compreensão de vários assuntos expostos neste trabalho, buscando evidenciar as bibliografias e tecnologias mais atuais encontrados no meio acadêmico.

2.1 MOLDES

Os moldes são a junção de elementos de funcionalidade com os de estrutura, para a injeção de vários materiais, por exemplo: plástico, alumínio e borracha. Os elementos de funcionalidade são nomeados cavidade e insertos. Os elementos de estrutura referem-se a peças que exigem uma padronização para garantir o desempenho no agrupamento, em pontos que necessitam de alinhamento. Elas são as partes que formam a estrutura mecânica de injeção, onde ocorre o aquecimento e o resfriamento, que é uma área crítica na injeção. A figura 1 apresenta um exemplo de molde de injeção de alumínio, com o conjunto de peças da parte móvel e gavetas. Com esta padronização dos elementos que fazem parte do corpo do molde, pode-se ganhar tempo na fabricação destas peças, trazendo maior facilidade de manufatura. Portanto, o maior tempo de fabricação dos moldes é efetuado na usinagem das cavidades e insertos, que estão ligados diretamente com o produto final a ser injetado (ALTAN et al., 1993).

Figura 1 – Exemplo de molde de injeção de alumínio



Com a constante expectativa de produtos inovadores no mercado, criam-se peças com uma maior complexidade estrutural, que possam trazer algo atraente para os consumidores, e isso, está aliado ao formato, às dimensões e cores ligadas com a tendência de mercado. Com formatos cada vez mais arrojados e difíceis de serem fabricados, há a necessidade de produtos injetados, que possibilitam a viabilidade destes produtos. Porém, essa complexidade traz dificuldade na usinagem desses elementos que darão forma a essas peças, elevando o tempo e os custos de fabricação (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2004).

A fabricação das cavidades e insertos exige materiais específicos para se obter peças com qualidade e resistência. Portanto, é necessária a utilização de aço-ferramenta como matéria-prima de obtenção de cavidades e insertos para os moldes, obtendo a maior configuração do mercado. A escolha de qual aço-ferramenta será utilizado deve levar em conta as operações que serão efetuadas, relacionando-as com as características do aço e com as exigências do processo (UNGER, 2006).

Porém, deve ser feita uma avaliação dos custos e os benefícios obtidos para ser uma escolha aceitável. Há algumas propriedades que são evidenciadas no aço-ferramenta, que são: resistência ao desgaste, dureza, tenacidade, dureza a quente, profundidade a ser alcançada pela têmpera e tamanho de grão (ROBERTS; CARY, 1992).

2.2 USINAGEM

A usinagem começou a ser utilizada nas indústrias para fabricar variados segmentos de produtos, com máquinas de poucos recursos de remoção de material. Porém, na atualidade encontra-se o desempenho de um segmento de máquinas que podem fazer a extração de material em forma de cavaco com uma altíssima velocidade, através de comandos computadorizados, que trazem uma interação mecânica e a automatização dos componentes da máquina (DINIZ et al., 2003).

O comando numérico mais utilizado é o CNC, que causou o maior impacto para a indústria mecânica no século XX. Desenvolvendo-se a maior automatização das máquinas que utilizam a movimentação dos eixos por comandos numéricos, uma infinidade de outras aplicações em processos e operações na fabricação de

variados produtos é aplicável (MACHADO, 2006).

Com a utilização de processos de conformação, fundição e soldagem para a fabricação de alguma peça, pode-se dar formas estruturais com dimensionais finais ao produto desejado. Mas em determinados segmentos de manufatura de metais, há a necessidade de medidas de maior precisão. Com isso, são incorporados processos complementares para se alcançar medidas finais e com tolerâncias dimensionais precisas (DINIZ et al., 2003). Há uma divisão de três categorias de processos para usinagem: de corte, utilizando como referência o torneamento e fresamento; de abrasão, nos quais são utilizados materiais abrasivos para a retirada de material da peça; não convencionais, que se referem a processos elétricos, químicos, térmicos, hidrodinâmico e laser (STEMMER, 1992).

Na usinagem, há três aspectos principais que são interação entre a máquina, ferramenta, e a peça a ser usinada. Porém, para que haja a melhor relação entre esses aspectos, deve-se conhecê-los profundamente, com o intuito de otimização do tempo e os recursos necessários para a usinagem de quaisquer produtos (MONTEMEZO, 2013).

2.2.1 Usinagem de cavidades e insertos

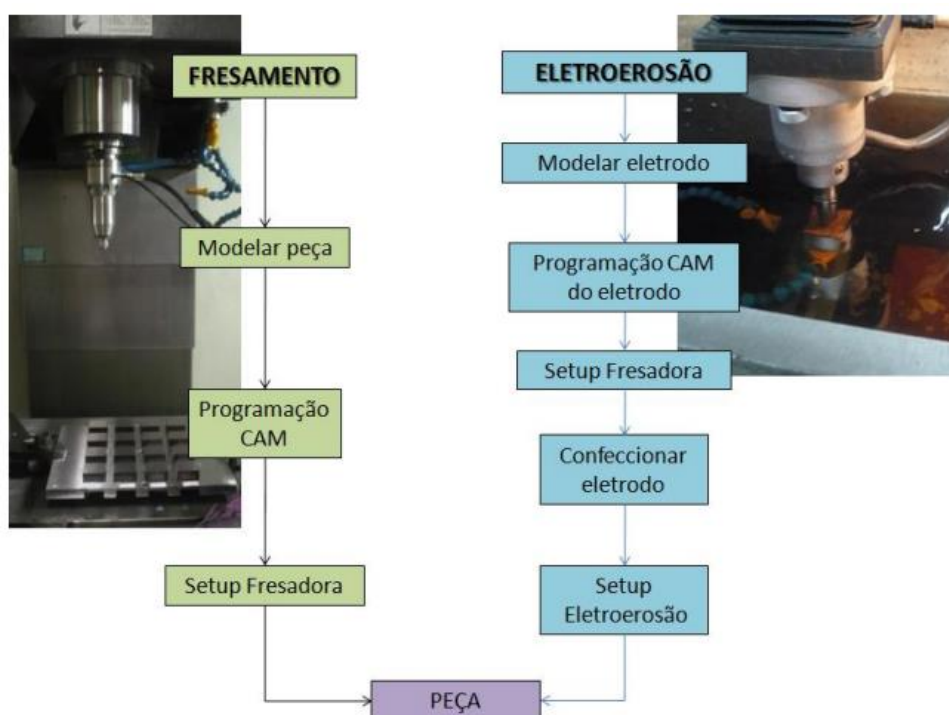
A fabricação de moldes vem sofrendo mudanças constantes nos métodos utilizados na usinagem. Para que a usinagem de moldes fosse feita, utiliza-se de máquinas que levavam um tempo mais extenso de usinagem, que por sua vez aumentavam o prazo de fabricação do molde (OLIVEIRA, 2007).

É preciso salientar que os métodos de usinagem de cavidades e insertos estão ligados aos processos de manufatura dos materiais empregados, como aço-ferramenta.

Há dois principais processos utilizados nos métodos de usinagem que são a eletroerosão e o fresamento. Os processos são divididos nas etapas de desbaste, pré-acabamento e acabamento. O desbaste pode ser feito com parâmetros de corte elevados, não se preocupando com o acabamento superficial, porém, deixando as medidas acima do especificado com sobre-metal, para serem feitos os acabamentos. O pré-acabamento se refere à usinagem de excesso de materiais em locais em que a ferramenta que foi utilizada no desbaste não possa alcançar

limitações geométricas. O acabamento está relacionado à qualidade da superfície da peça, eliminando todos os excessos de material existente, obtendo o formato e dimensões desejadas (SOUZA,2004). A figura 2 apresenta a comparação dos processos de fresamento e eletroerosão, deixando evidente a maior quantidade de processos na eletroerosão.

Figura 2 – Etapas no processo de usinagem por fresamento e eletroerosão



Fonte: Souza (2004, p. 21)

Conforme Person (2003), as particularidades que são atribuídas ao desempenho dos ferramentais de injeção estão aliadas às trincas, que estão relacionadas aos carregamentos mecânicos, aos choques térmicos, à aderência. O material utilizado para a peça está envolvido diretamente com o aparecimento de erosão e corrosão na superfície, pelo atrito da vazão do alumínio sendo injetado no molde. A origem da integridade da superfície está relacionada à usinagem do molde a qual contribui intensamente para uma melhor performance do ferramental em sua execução final.

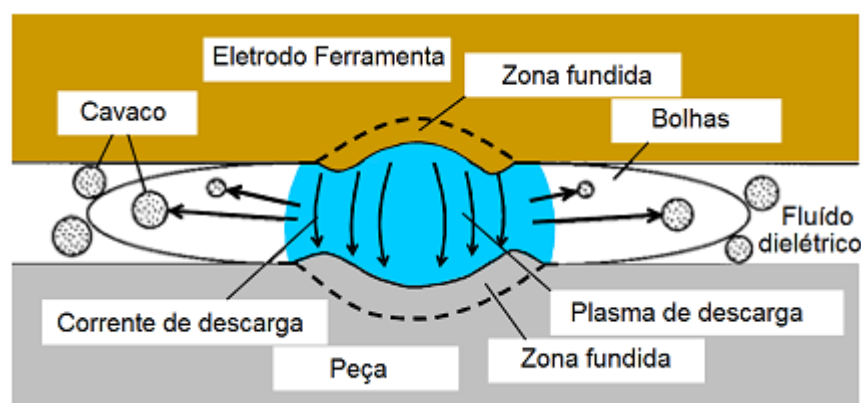
2.2.2 Eletroerosão

A eletroerosão pode ser a fio e à penetração. Esses tipos são utilizados para as peças nas quais a usinagem por fresamento não consegue atingir o formato

desejado, fator necessário para os insertos e cavidades de moldes.

A figura 3 apresenta o fenômeno de eletroerosão com suas características de usinagem. Esses métodos possibilitam usinar peças com alta dureza, com formatos complexos atingindo alta precisão dimensional e profundas cavidades. A produtividade desta máquina está aliada à condutividade elétrica do material a ser confeccionado (KECELJ et al.,2004).

Figura 3 – Fenômeno de eletroerosão



Fonte: Kunieda et al (2005, p. 24)

Porém, a eletroerosão exibe determinadas desvantagens. As operações de desbaste, por exemplo quando comparada com o fresamento, trazem uma baixa taxa de remoção de material e uma demora na execução do processo. A maior parte do processo de eletroerosão para cavidades e insertos de moldes de alumínio está relacionada à fabricação do eletrodo, que pode ter dimensões complexas, que dificultam a usinagem, ocorrendo um tempo mais extenso de fabricação e elevando os custos do processo (KECELJ et al., 2004).

Na eletroerosão são utilizados os seguintes parâmetros de corte, intensidade de corrente (I), duração do pulso (T_{on}), tempo de pausa (T_{off}) e voltagem (V) (BODZIAK, 2011). Para evidenciar esses parâmetros, a tabela 1 apresenta a variação encontrada na literatura.

Tabela 1 – Relação de parâmetros de corte encontrados na literatura

PARÂMETRO DE CORTE	VALORES BASE REFERÊNCIAS DA LITERATURA
Tempo de pulso (t_{on})	5 a 750 μ s
Corrente elétrica	1 a 25A
Voltagem	de 11 a 270V

Fonte: Bodziak (2011, p. 68)

2.2.3 Fresamento

Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2013), o fresamento é uma operação de usinagem que apresenta como particularidade a ferramenta, apontada como fresa, contendo arestas de corte organizadas simetricamente em torno de um eixo. Já o movimento de corte consiste na rotação da fresa ao redor do seu eixo, e o movimento de avanço ocorre pela extensão da peça em usinagem, que se encontra fixada na mesa da máquina. Com a entrada da peça sob a ferramenta em rotação, ele produz os contornos almejados.

O fresamento é influenciado por três grupos. O primeiro diz respeito às características da peça, que envolve formas, acabamentos e material. O segundo grupo apresenta as condições de trabalho, profundidades de corte, axial e radial, velocidade de avanço e de corte e fluido de corte. O terceiro grupo diz respeito aos dados construtivos da fresa (STEMMER, 1995). Além disso, o fresamento leva em conta as características dos materiais ferrosos, que são influenciados pela deformação plástica, a geração de calor com os pontos de contatos intermitentes e contínuos de usinagem, colisões e desgastes. A usinabilidade de um material varia de acordo com a características mecânicas, que são influenciadas pela sua dureza e temperalidade (TRENT; WRIGHT, 2000).

Para que haja um fresamento de qualidade, a máquina-ferramenta deve ter uma rigidez estática e dinâmica em conjunto com a peça para minimizar vibrações durante o corte. Experimentos com pouca rigidez entre máquina, ferramenta e fixação podem evidenciar um desgaste da ferramenta com trincas prematuras nos gumes, diminuindo sua vida (ABRÃO; ASPINWALL; WISE, 1996).

2.2.3.1 Fresamento de aços endurecidos

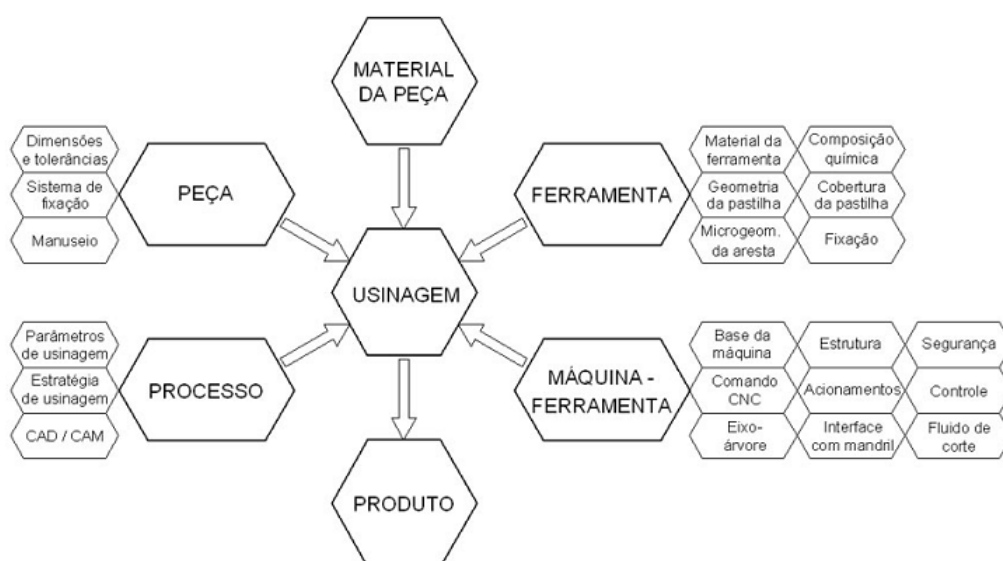
A usinagem de aços endurecidos é tratada como um dos processos mais eficazes utilizados nas indústrias metal mecânicas, pois acelera a fabricação de protótipos, apresentando uma melhor qualidade dimensional. Porém, está relacionada com velocidades de corte bem elevadas em relação à usinagem convencional, mas com menores profundidade de corte. Para que o fresamento seja eficaz, é necessário considerar os fatores da máquina-ferramenta, ferramentas de corte, material a ser usinado que estão ligados aos resultados desejados (SHIN et al., 2003; SANTOS et al., 2003; SCHULZ e MORIWAKI, 1992).

Para a utilização da usinagem de aços endurecidos com melhores parâmetros e qualidade dimensional, ela é feita em máquinas-ferramentas que têm a capacidade de altas velocidades de giro da ferramenta de corte. Mas para a utilização dessas máquinas, é necessário levar em conta alguns aspectos que afetam esse tipo de usinagem: o desgaste das ferramentas, vibrações, modo de fixação da peça e ferramenta e estratégias de corte. Devem ser levadas em conta as propriedades do aço endurecido a ser usinado que envolve a resistência ao desgaste, dureza, tenacidade, dureza com elevada temperatura de usinagem, estrutura dos grãos e a espessura da têmpera (OLIVEIRA, 2007).

O processo que pode superar essas desvantagens é a usinagem com alta velocidade de corte. Porém, é preciso ser avaliada a geometria da peça e, com isso, a escolha do processo de usinagem que melhor se encaixa (LÖTTGEN, 2003).

Para o processo de fresamento com alta velocidade, existem aspectos relevantes a serem evidenciados. Na figura 4 é possível perceber com maior clareza os elementos pertinentes às características da usinagem com altas velocidades.

Figura 4 – Fatores relacionados ao conceito de usinagem com altas velocidades



Fonte: Schulz e Moriwaki (1992, p.8)

2.2.3.2 Parâmetros, conceitos e estratégias de fresamento

Os parâmetros de corte utilizados no fresamento, velocidade de corte, avanço por aresta, profundidade de corte axial, profundidade de corte radial (BODZIAK, 2011).

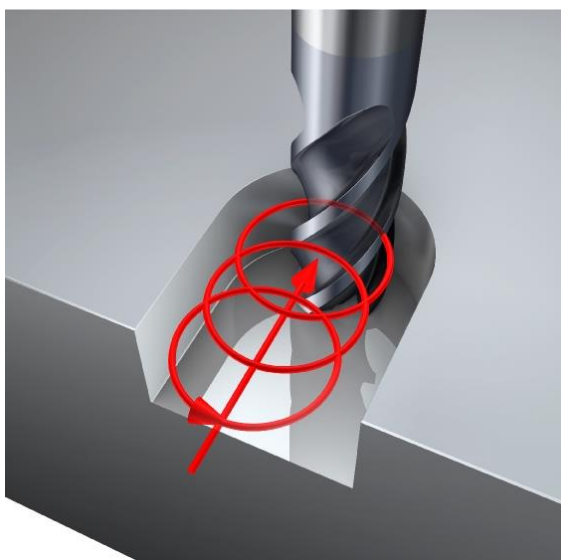
Para a determinação de quais serão os parâmetros do fresamento, são relacionadas propriedades relativas do material a ser usinado e a precisão dimensional exigida. Devem ser efetuados estudos antecipados, que trazem previsões de parâmetros para determinados materiais mais comercializados. Um dos parâmetros que traz uma maior influência nas medidas da escala micro é o avanço por aresta, que está diretamente ligado à influência do raio das arestas, que fazem a formação do cavaco. Os parâmetros utilizados na usinagem dos aços-ferramenta estão ligados diretamente com a integridade superficial da peça (VIVANCOS et al., 2004).

O conceito de corte de alto desempenho, *High-performance cutting* (HPC) ou usinagem de alto desempenho é uma usinagem na qual é possível aumentar significativamente a taxa de remoção por utilizar maiores velocidades de corte e taxas de avanço em relação aos processos convencionais. Dessa maneira, é possível aumentar a produtividade e a confiabilidade do processo.

O conceito de usinagem em alta velocidade, *High performance cutting* (HSC) é definido como uma combinação de altas velocidades de rotação com altas velocidades de avanço, levando em consideração o material a ser usinado, para que haja aumento da velocidade de corte e de avanço por dente. Isso proporciona um melhor acabamento superficial, buscando ganhos significativos em tempo e custos.

A usinagem trocoidal é utilizada para desbaste, mostrando-se mais eficiente para grande remoção de material, para materiais endurecidos. Esse fresamento pode ser definido como fresamento circular por introduzir movimentos simultâneos para frente. A fresa remove fatias repetidas de materiais em um segmento de trajetórias espirais contínuas da ferramenta no sentido radial (SANDVIK, 2003).

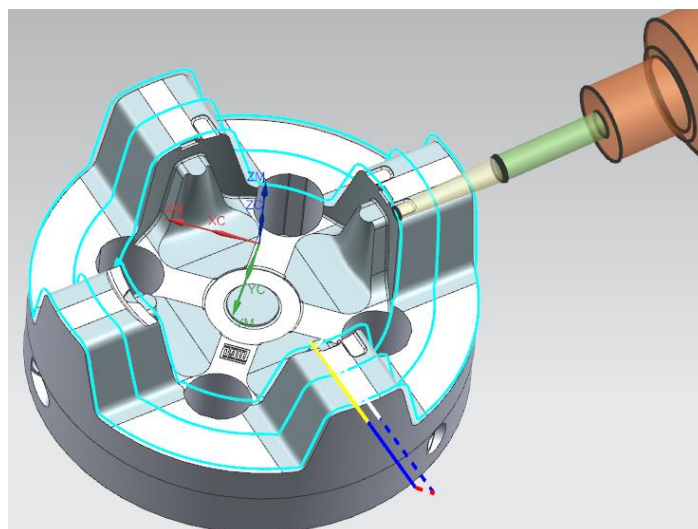
Figura 5 – Usinagem Trocoidal



Fonte: Sandvik (2003, p. 31)

A usinagem 5 eixos simultâneos aplica-se no acabamento, reduzindo-se a quantidade de ferramentas utilizadas na usinagem. Segundo Silva (2006), a maior aplicação desse tipo de usinagem está relacionada com o acabamento, por trazer como característica a baixa quantidade de material retirado. Estabelece-se também um contato permanente entre a ferramenta e a superfície de trabalho, sendo indicada para a usinagem de perfis complexos, muito usuais em moldes.

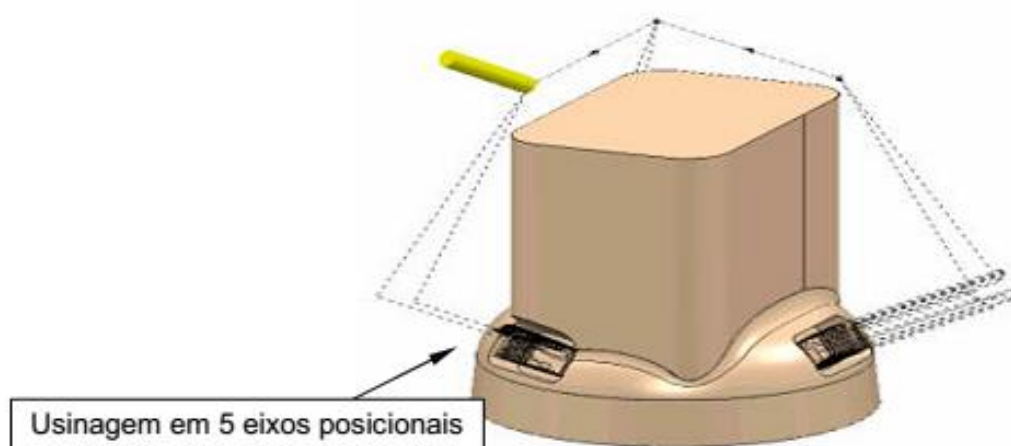
Figura 6 – Usinagem 5 eixos simultâneos



Fonte: o autor (2016)

A usinagem com 5 eixos posicionais é utilizada com o intuito de ganhar-se tempo e qualidade no acabamento com ferramentas mais curtas. Segundo Albano (2008), esse tipo de fresamento é também conhecido como 3+2 eixos, apresentando a usinagem propriamente em 3 eixos. A máquina, porém, faz os posicionamentos em outras duas direções, trazendo benefícios em usinagens que requerem profundidades maiores em regiões específicas, mostrada na figura 7.

Figura 7 – Usinagem em 5 eixos posicionais



Usinagem em 5 eixos posicionais

Fonte: Albano (2008, p.39)

2.2.4 Ferramentas de corte

As ferramentas devem ser produzidas para atender determinadas propriedades para que haja o melhor aproveitamento possível. As principais propriedades estão ligadas a várias características de resistência que são: compressão, flexão, calor, oxidação, brasão e gume (KONIG, 1981; SCHROETER, 2000). Para uma melhor avaliação de qual ferramenta utilizar no caso da usinagem de aços para moldes, deve-se levar em conta principalmente a resistência ao desgaste, interagindo com a tenacidade e com capacidade de dureza a quente (HANITA, 2000).

Comparado o aço rápido com o metal duro na questão de dureza, o aço rápido com 12% Co mantém com a dureza até 600 °C, porém, o metal duro mantém a dureza até cerca de 1000 °C (STEMMER, 1995). Para uma aplicação em aços inoxidáveis, ferro fundido e todos os metais não ferrosos, o *cermet* é mais indicado, pois possui características de alta dureza, resistência a impactos e ao desgaste de gume (WERKZEUGFABRIK, 2000).

As ferramentas de corte estão aliadas diretamente aos custos da usinagem. Para obtenção dos menores custos e qualidade, além das propriedades de resistência, deve-se analisar a vida da ferramenta, que é o tempo de trabalho efetivo, mantendo o seu gume de corte, ou chegar aos seus critérios de vida pré-estabelecidos. Os mais utilizados são a aparição de alguns desgastes na ferramenta, marcas de flanco, penetração de cratera, rompimento do gume, a elevação de calor no ponto de usinagem entre cavaco e a ferramenta, perda de qualidade dimensional, acabamento da superfície danificada, formato do cavaco, oscilações na interface peça e ferramenta e elevação das cargas de energia na usinagem (STEMMER, 1995).

2.2.4.1 Aço rápido

A aparição dos primeiros materiais para a fabricação de ferramentas de aço rápido para a usinagem aconteceu em meados do século XIX, revolucionando a atividade de usinagem. Na época, com esses materiais aumentou-se a velocidade de corte por volta de 10 vezes, em comparação com o aço carbono que foi o material utilizado na época para a fabricação de ferramentas de corte. Conseguiu-se

o aumento de 3 a 5 m/min em ferramentas de aço carbono para 30 a 35m/min com os aços rápidos. Por esse motivo, tais aços são denominados como rápidos, (HSS, do inglês *High Speed Steel*). Em comparação com a tecnologia atual, são bem inferiores, porém, o aço rápido sobrevive no mercado há mais de um século (MACHADO, 2012).

As ferramentas de aço rápido se dividem em dois grandes grupos: aços ao tungstênio (W), representado pela letra “T”, e os aços ao molibdênio (Mo), representado pela letra “M”. Os elementos que constituem a liga dos aços rápidos são: carbono, tungstênio, molibdênio, vanádio, cromo, cobalto e outros elementos. Nos dias atuais, a usinagem com os aços rápidos está sendo utilizada principalmente para a fabricação de brocas, fresas inteiriças, cossinetes, brochas, também sendo aplicada em forma de barras para o torneamento. Nas situações em que a velocidade de corte pode ser menor, é considerado que seja uma velocidade econômica de corte, apresentando maior resistência. (MACHADO, 2012).

2.2.4.2 Metal duro

O metal duro constitui-se de um produto da metalurgia do pó formado de fragmentos duros, finamente divididos de carbonetos refratários, sinterizados com um ou mais metais do grupo do ferro (ferro, níquel ou cobalto), desenvolvendo um corpo de elevada dureza e resistência à compressão. Os fragmentos duros são constituídos por carbonetos de tungstênio, usualmente em convênio com outros carbonetos, como carbonetos de titânio, tântalo e nióbio. O aglomerante básico é constituído de cobalto (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013).

Ultimamente já existe uma quantidade ampla de ferramentas rotativas de pequenos diâmetros fabricados de metal duro, que suportam as elevadas rotações do eixo - árvore existentes nas máquinas ferramentas atuais (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2013). Existem alguns tipos de fresas de metal duro que podem ser fresas de topo sólidas, com insertos ou gumes brasados, ou de insertos intercambiáveis. Para os insertos intercambiáveis é utilizado o metal duro, CBN (Nitreto de Boro Cúbico). Já as fresas inteiriças podem ser fabricadas de metal duro ou *cermet* (VALLE, 2001).

Existe uma variedade de revestimentos para metal duro no mercado que tem

como objetivo prolongar a vida útil das ferramentas. O TiAlN depositado por PVD (deposição física de vapor) possui uma estabilidade química superior aos revestimentos nitreto de titânio TiN e carbonitratretos de titânio TiCN, e é indicado para a usinagem de materiais dúcteis (DINIZ et al, 2001). Para a usinagem de materiais temperados para fabricação de moldes e matrizes são recomendáveis fresas de ponta esférica e de topo reta, inteiriças de metal duro revestido, com gumes mais reforçados e ângulos de saída neutros, com a seção transversal com maior espessura, para se obter uma maior resistência à deflexão (SANDVIK, 1999). As fresas de topo de metal duro que são inteiriças apresentam dificuldades na remoção de cavaco no local de trabalho. Alguns fabricantes têm desenvolvido sistemas de aspiração, e também a utilização do jato de ar e a remoção manual de cavaco (MACEDO, 2001).

Com o avanço da tecnologia na questão de ferramentas de corte, surgiram os revestimentos com o intuito de diminuir os desgastes abrasivo e adesivo. Para reduzir o atrito, e a usinagem a seco foram desenvolvidas primeiramente as coberturas de TiN; para usinagens específicas foram elaborados compostos de TiCN, podendo chegar à nanotecnologia, com a utilização de nano-compostos (AlCrN+Si₃N₄). Esses revestimentos devem atender algumas características para serem eficientes na proteção do substrato, retirar o calor para fora da região de corte, trabalhar como um isolante térmico para o substrato, diminuir o atrito e elevar a dureza na interface cavaco e ferramenta, e ter propriedades físicas que envolvam a resistência à corrosão, equilíbrio químico e adequada aderência, em qualquer temperatura (BOUZAKIS et al., 1999).

2.2.5 Máquina-ferramenta

Com a evolução das máquinas-ferramentas, de acordo com Wodtke (2009), a fresadora obteve ganhos consideráveis na versatilidade com a entrada dos centros de usinagem, sendo melhorada a forma de trabalho das fresadoras, que exerceram novas funções devido à implantação de novos componentes mecânicos e eletrônicos, aprimorando a versatilidade e a automatização. Um dos aspectos que traz uma melhor versatilidade é a porta-ferramentas, na qual estão dispostas as ferramentas, trazendo uma maior rapidez de troca.

Essa porta-ferramenta tem a possibilidade de comportar uma grande variedade de ferramentas. Ela é usualmente composta por um cabeçote giratório e de esteiras para serem feitas as trocas e de um mecanismo chamado de *Automatic Tool Changer* (ATC), podendo ser traduzido como trocador automático de ferramentas (WODTKE, 2009).

No comando dessas máquinas-ferramentas é necessária a utilização de um comando numérico para atuação dos eixos. Esse sistema é conhecido como *Computer Numeric Control* (CNC), o comando numérico computadorizado. As movimentações desses eixos podem ser longitudinais e transversais, chamados de eixos X e Y. A atuação do eixo vertical, chamado de eixo Z, está relacionado a máquinas fresadoras e centros de usinagem (WODTKE, 2009).

Para que haja uma estabilidade no processo, o sistema de fixação do cone no eixo-árvore na máquina deve ser rigoroso, para que não ocorram instabilidades devido ao mau encaixe na interface do fuso com a porta-ferramenta, por folga na fixação. A atuação de alguns agentes que possam trazer batimento para o mecanismo, como sujeiras e fragmentos, devem ser retirados para que haja uma fixação perfeita entre os componentes (SANDVIK, 1999).

2.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO

Segundo Veloso (2000), o crescimento da competição entre as empresas na passagem dos anos 90 para os anos 2000, está relacionado à visão de atender o cliente em potencial, dando o valor necessário na relação de custo efetivo, qualidade e tempo eficaz. Há uma relação de 60 a 70% dos custos de uma fábrica de manufatura aos macro processos. Nesse ponto deve-se ter uma melhor estratégia de processos e operações, para se obter uma maior competitividade sustentável.

Os sistemas de custo da produção estão aliados com as estratégias, no âmbito de conservação, cancelamento ou a idealização de produtos inovadores, desenvolvimento de preços dos produtos, avaliação de expectativa da empresa na questão econômica. Essas estratégias alteram a disposição da empresa, em relação aos clientes, produtos, serviços, cadeia de valores da empresa ou matéria-prima (VELOSO, 2000).

No entanto, Diniz (2012) relaciona os custos que envolvem a usinagem, em

duas divisões: os custos consequentes do processo, através dos custos do ferramental utilizado, a apropriação das máquinas e o custo dos operadores. E os custos que não estão relacionados diretamente com o processo, que envolvem o controle de qualidade, a matéria-prima a ser utilizada, mão de obra indireta, entre outros.

Algo que eleva os custos de produção é a perda, podendo acontecer em qualquer parte da produção de algum produto. Para evidenciá-las Wonack (1998), cita uma palavra que vem do japonês, a qual retrata com clareza o que é perda. A palavra (MUDA), significa desperdício, especificamente à alguma atividade humana que concentra gastos de recursos, mas não institui valor a algo. Esses desperdícios podem ser classificados em 7 grandes grupos segundo Ohno (1997): as perdas por superprodução, espera, transporte, processamento, estoque, movimentação e fabricação de produtos defeituosos.

Segundo Shingo (1996), a quantia suprimida de algum processo, sem a adulteração do desempenho ou propriedades esperadas dos produtos ou serviço, é constituída como perda, por exemplo, a diminuição de velocidade de trabalho por falta de manutenção na máquina específica.

Um ponto crucial é a perda no *setup* da máquina, na parada do equipamento para ser feita a preparação do ambiente em que é feita a produção de outro elemento. Existe a necessidade de um ajuste da peça para ser elaborada a usinagem com qualidade, porém este ajuste pode elevar o tempo da máquina inoperante (JIPM, 1995).

2.3.1 Tempo na usinagem

O *setup* em uma máquina pode ter duas divisões, que são internas e externas. A partir desses dois tipos de divisão, pode-se começar a estabelecer parâmetros para a diminuição destes tempos de *setup*. Compreendem-se como *setup* interno todos os procedimentos em que há a necessidade da máquina estar parada e *setup* externo como os procedimentos que podem ser executados enquanto a máquina está em trabalho. Para obter uma otimização dos *setups*, pode-se colocar em prática a troca rápida de ferramentas (SHINGO, 2000).

Conforme Diniz (2013), o tempo dos processos de usinagem está relacionado

diretamente ao prazo de fabricação, com a expectativa da diminuição desse tempo. São utilizados cálculos que trazem as melhores formas de utilização do ferramental e máquina. Com isso, é feita a avaliação das condições econômicas da usinagem, focando nos fenômenos que causam o desgaste prematuro das ferramentas, podendo-se explorar os cálculos das condições de mínimo custo e de máxima produção.

Para isso é levada em conta uma variedade de ciclos e tempos que estão relacionados com usinagem, que são:

1. Colocação e fixação da peça;
2. Aproximação e posicionamento da ferramenta;
3. Corte;
4. Afastamento da ferramenta;
5. Inspeção (se necessário) e retirada da peça.

Para determinadas aplicações, quando são necessárias fases extras temos:

1. Preparação da máquina;
2. Remoção da ferramenta para a sua substituição;
3. Recolocação e ajustagem da nova ferramenta.

Há uma denominação para cada item exposto acima, também de acordo com Diniz (2013):

- Tempo total de usinagem de uma peça;
- Tempo de corte;
- Tempo secundário;
- Tempo de aproximação e afastamento;
- Tempo de preparo da máquina;
- Tempo de troca da ferramenta.

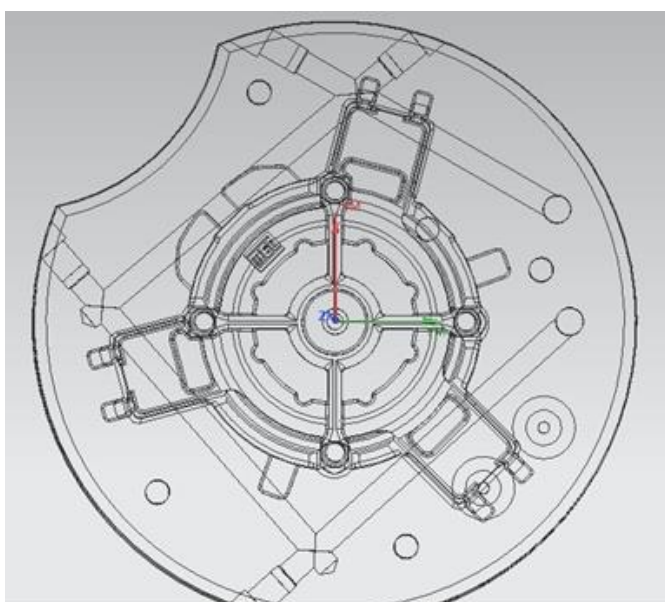
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho tem como objetivo comparar dois métodos de usinagem de um inserto de molde de injeção de alumínio, demonstrando qual método se apresenta eficaz na redução de prazos e custos de usinagem, identificando as máquinas e ferramentas de corte utilizadas para a usinagem do inserto, determinando os processos de usinagem dos dois métodos, comparando os tempos dos processos, o tempo total de usinagem e os custos totais das ferramentas de corte.

Para a avaliação dos métodos, primeiramente foi escolhida a peça que atenderia todas as peculiaridades de ambos os métodos. O inserto é apresentado nos anexos A e B. Para a escolha da peça, foi levado em conta a grande demanda de fabricação nessa ferramentaria. Foram também identificadas as máquinas e ferramentas de corte necessárias e o acompanhamento da usinagem de uma peça para o método 1 e uma peça para o método 2.

Conforme a figura 8, a peça a ser usinada contém algumas furações na lateral, que dificultam a usinagem, que se encontram entre elas. Com isso, deve-se ter cuidado no rompimento do material no encontro entre as furações, podendo levar à quebra da broca.

Figura 8 – Exemplo de furações de refrigeração de insertos



Fonte: o autor (2016)

O material e métodos estão ligados diretamente com os resultados alcançados neste trabalho. A elaboração do método 2 teve como base os temas estudados na revisão bibliográfica, podendo referenciar-se em estudos e tecnologias atuais. Em seguida, foram feitas tabelas para a comparação, do método 1 em relação ao método 2, com os tempos de cada operação de usinagem, custo e prazo total de usinagem da peça.

3.1 MATERIAL

O material utilizado nos procedimentos dos métodos foi o aço TENAX 300IM em um bloco de 200x85 mm, o qual é aplicado na indústria na fabricação de moldes e matrizes. Esse aço é empregado em trabalhos a quente com tenacidade e condutividade térmica acima dos aços similares (série H). Há uma boa resposta a tratamentos superficiais como nitretação e polimento, e aceita-se refrigeração à água (VILLARES METALS, 2010).

O aço é apontado especialmente para atuações que estabeleçam resistência ao desenvolvimento e alastramento de trincas térmicas e mecânicas, nas quais a tenacidade é atributo determinante para a vida da ferramenta. Esse metal é aplicado em moldes e componentes para fundição sob pressão, matrizes para extrusão de várias ligas, matrizes e punções para forjamento, recalque a quente e inserts. A figura 9 apresenta a composição química do aço TENAX 300IM villares, com algumas siglas que são: carbono (C); silício (Si); cromo (Cr); molibdênio (Mo); vanádio (V).

Figura 9 – Composição química em porcentagem do aço TENAX 300IM Villares

C	Si	Cr	Mo	V
0,36	0,30	5,00	1,40	0,40

Fonte: Villares (2010, p. 1)

3.2 MÉTODO 1

Foi avaliada a sequência operacional do método 1, que é usado nessa ferramentaria e o detalhamento de cada operação, sendo apresentadas as máquinas e as ferramentas de corte necessárias em cada operação da usinagem.

Tabela 2 – Método 1 de usinagem do inserto

MÉTODO 1		
Operação 1	Máquina	Serra fita
	Ferramenta de corte	Serra
	Operação 1.1	Cortar o material
Operação 2	Máquina	Fresadora 3 eixos
	Ferramenta de corte	Fresa de cabeçote diâmetro de 50mm com insertos de metal duro com raio de 3mm
	Operação 2.1	Desbaste do diâmetro externo
Operação 3	Máquina	Torno CNC
	Ferramenta de corte	Inserto de metal duro
	Operação 3.1	Desbaste do diâmetro externo e comprimento
Operação 4	Máquina	Fresadora 3 eixos
	Ferramenta de corte	Fresa de cabeçote diâmetro de 20mm com dois insertos de metal duro com refrigeração interna
		Fresa de cabeçote de diâmetro de 20mm com insertos de metal duro com raio de 2mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 0.5mm
	Operação 4.1	Desbaste dos perfis
Operação 5	Tratamento térmico (Alívio de tensões)	
Operação 6	Máquina	Torno CNC
	Ferramenta de corte	Inserto de metal duro
	Operação 6.1	Desbaste dos chanfros e rebaixos
Operação 7	Máquina	Fresadora 3 eixos
	Ferramenta de corte	Broca de centro de aço rápido
		Broca diâmetro de 8,5mm de aço rápido
		Broca diâmetro de 9mm de aço rápido
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 16mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 0.5mm
	Operação 7.1	Desbaste dos perfis, referência e marcação do demais furos
	Ferramenta de corte	Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 0.5mm
		Broca diâmetro 11.5mm de aço rápido
		Broca diâmetro 10mm de aço rápido
		Broca diâmetro 10mm longa de aço rápido
		Macho 1/4 NPT
	Operação 7.2	Furar e roscar na lateral
Operação 8	Máquina	Furadeira de bancada
	Ferramenta	Broca de diâmetro 8mm

	de corte	Macho M8
	Operação 8.1	Furar e roscar
Operação 9		Tratamento térmico (Têmpera)
Operação 10	Máquina	Retifica
	Operação 10.1	Reticar a espessura
Operação 11	Máquina	Torno CNC
	Ferramenta de corte	Inserto de metal duro
	Operação 11.1	Desbaste dos rebaixos e chanfros
Operação 12	Máquina	Retifica cilíndrica
	Operação 12.1	Retificar acabado o diâmetro externo e ângulos
Operação 13	Máquina	Fresadora 5 eixos
	Ferramenta de corte	Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 12mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 12mm e raio de 0.5mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm esférica
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 10mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm esférica para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm e raio de 0.5mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm e raio de 0.5mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 10mm e raio de 0,5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 2mm e raio de 0,5mm
		Mandrilhadora com um inserto regulável diâmetro 10mm H7
	Operação 13.1	Usinagem de acabamento dos perfis internos, fechamento do molde e furos diâmetro de 15
Operação 14	Máquina	Máquina de medir por coordenadas (Tridimensional)
	Operação 14.1	Medição
Operação 15	Máquina	Eletroerosão a penetração
	Operação 15.1	Fabricação do eletrodo
	Operação 15.2	Erosão dos perfis
Operação 16	Máquina	Eletroerosão a fio
	Operação 16.1	Erosão dos detalhes
Operação 17	Máquina	Operação manual
	Operação 17.1	Ajuste e polimento

A tabela 2 apresenta as operações do método 1, para as quais foram necessárias 17 operações. É importante considerar o corte do material, a necessidade de utilizar-se fresadoras de 3 eixos em três operações diferentes e a utilização de um torno CNC, retificadora cilíndrica, fresadora de 5 eixos, máquinas de eletroerosão à penetração para detalhes, e a fio para as furações com ângulos. E a necessidade de serem feitos dois tratamentos térmicos no material, que foram alívio de tensões e têmpera.

3.3 MÉTODO 2

Para a execução do método 2, a tabela 3 apresenta a sequência de operações que atenderiam todas as necessidades geométricas, e a qualidade da superfície do inserto a ser usinada, porém com a matéria-prima com a dureza final de trabalho de 43 - 46 HRC.

Tabela 3 – Método 2 de usinagem do inserto

MÉTODO 2		
Operação 1	Recebimento do Material temperado	
Operação 2	Máquina	Fresadora 5 eixos
	Ferramenta de corte	Fresa de cabeçote diâmetro de 25mm com insertos de metal duro com raio de 3,5mm
		Broca diâmetro 8mm de metal duro
		Broca diâmetro 9,5mm de metal duro
		Broca diâmetro 11,5mm de metal duro
		Fresa para materiais endurecidos, para os conceitos de alto avanço e alto desempenho diâmetro 12mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 20mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm para acabamento
	Operação 2.1	Desbaste do 1º lado
	Ferramenta de corte	Fresa para materiais endurecidos, para os conceitos de alto avanço e alto desempenho diâmetro 12mm
		Fresa para materiais endurecidos, para os conceitos de alto avanço e alto desempenho diâmetro 8mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 12mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 3mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 2mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 1mm e raio de 0,2mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm esférica
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm esférica

		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 2mm esférica
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 20mm para acabamento
	Operação 2.2	Desbaste do 2º lado
	Ferramenta de corte	Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 8mm e raio de 0.5mm
		Broca diâmetro 11.5mm de metal duro
		Broca diâmetro 10mm de metal duro
		Broca diâmetro 10mm longa de metal duro
		Macho 1/4 NPT de metal duro
	Operação 2.3	Furações na lateral
	Ferramenta de corte	Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 12mm e raio de 0.5mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 6mm e raio de 0.5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm e raio de 1mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm e raio de 0,5mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 1mm e raio de 0,2mm
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 4mm esférica
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 1mm esférica
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 0,5mm para acabamento
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 12mm com 3 graus de inclinação
		Fresa de topo inteiriça de metal duro diâmetro de 25mm para acabamento
	Operação 2.4	Acabamento dos perfis
Operação 3	Máquina	Máquina de medir por coordenadas (Tridimensional)
	Operação 3.1	Medição
Operação 4	Máquina	Operação manual
	Operação 4.1	Ajuste e polimento

Fonte: o autor (2016)

Foram necessárias somente 4 operações, que seriam o recebimento do material, a usinagem total em uma fresadora de 5 eixos, a medição e polimento da peça. Foi avaliada a máquina utilizada no fresamento total do inserto, a qual foi uma fresadora de 5 eixos. O fresamento foi preparado e executado pelo operador da máquina, sendo feito o acompanhamento e a anotação dos tempos de cada ferramenta utilizada.

Posteriormente, foi acompanhada a medição em uma máquina de medir por coordenadas (tridimensional) da peça para avaliar sua geometria. Por fim, foi acompanhada a operação 4 de ajuste e polimento do inserto.

Como fonte dos parâmetros de corte foi utilizado o catálogo da Emuge-Franken, visando manter a resistência e o maior tempo de vida das ferramentas, a

segurança no trabalho e o alcance da geometria necessária, garantido uma usinagem de qualidade.

Com o propósito de utilizar o método mais eficiente de usinagem, foram utilizados os conceitos e estratégias de usinagem - HPC e o HSC - utilizando-se a usinagem com recursos dos 5 eixos simultâneos e 5 eixos de posicionamento. Esses conceitos e estratégias de usinagem estão exibidos na seção 2.2.3.3. Utilizaram-se os recursos mais atuais de usinagem, os quais possibilitam o ganho em produtividade, aliado a operações de desbaste que removem um grande volume de material. Também cabe destacar a utilização de ferramentas de diâmetro de até 0,5mm no acabamento para eliminar a operação de eletroerosão por penetração.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são exibidos e discutidos os resultados da comparação entre os métodos, com a apresentação dos tempos de todos os processos de usinagem necessários, o tempo total de usinagem do inserto e os custos totais das ferramentas de corte.

4.1 MÉTODO 1

A fim de evidenciar a quantidade de operações, os tempos de execução de cada operação e as trocas de máquinas necessárias, foi feito o acompanhamento das operações que fazem parte da usinagem do inserto no método 1. A tabela 4 apresenta os tempos coletados na usinagem de cada operação, sem contar os tempos de transporte, tratamentos térmicos e de espera para a próxima operação.

Tabela 4 – Tempo de usinagem de cada operação do método 1

METÓDO 1		TEMPO EM HORAS
Operação 01	Cortar o material	00:04:00
Operação 02	Fresadora 3 eixos	01:00:00
Operação 03	Torno CNC	01:30:00
Operação 04	Fresadora 3 eixos	01:15:00
Operação 05	Tratamento térmico (Alívio de tensões)	-
Operação 06	Torno CNC	00:01:30
Operação 07	Fresadora 3 eixos	05:21:00
Operação 08	Furar e roscar	01:00:00
Operação 09	Tratamento térmico (Têmpera)	-
Operação 10	Retifica plana	00:50:00
Operação 11	Torno CNC	00:50:00
Operação 12	Retifica cilíndrica	01:30:00
Operação 13	Fresadora 5 eixos	15:55:00
Operação 14	Medição Tridimensional	00:15:00
Operação 15	Erosão a penetração	12:30:00
Operação 16	Erosão a fio	06:20:00
Operação 17	Ajuste e polimento	02:30:00
TOTAL		50:51:30

Fonte: o autor (2016)

4.2 MÉTODO 2

Com a análise do método 1 pode-se evidenciar algumas dificuldades, no tempo elevado de fabricação e a quantidade de máquinas utilizadas. Podendo ser melhoradas, através de uma nova configuração de operações para ser feita a usinagem do inserto. Com isso, o método 2 fez a utilização de ferramentas de corte que suportam melhores estratégias de usinagem, aliada à máquina fresadora 5 eixos, que possibilita uma usinagem de alto rendimento, com elevadas rotações e avanços, que apresentaram vantagens se comparadas ao método 1.

Foram feitas as coletas de dados com o acompanhamento do método 2, coletando os tempos das operações necessárias. Com o acompanhamento do método 2, obteve-se os tempos da execução de cada operação, que estão descritos na tabela 5.

Tabela 5 – Tempo de usinagem de cada operação do método 2

METÓDO 2		TEMPO EM HORAS
Operação 01	Recebimento do Material temperado	-
Operação 02	Fresadora 5 eixos	13:21:33
Operação 03	Medição tridimensional	00:15:00
Operação 04	Ajuste e polimento	01:00:00
TOTAL		14:36:33

Fonte: o autor (2016)

A usinagem foi feita a partir do material com a sua dureza final de trabalho, retirando as operações de tratamentos térmicos que constavam no método 1. A execução do fresamento foi realizada em uma máquina fresadora de 5 eixos possibilitando a usinagem total da peça, não havendo a necessidade de trocas de máquinas e transporte. As operações de medição e de polimento foi mantida no método por ser uma etapa final de verificação do dimensional e ajuste.

Na operação 2 foi realizada toda a usinagem necessária da peça. Foram necessárias ferramentas de corte de alto desempenho, que permitiram a usinagem do material com sua dureza de trabalho. O material utilizado nas fresas e brocas foi o metal duro, e para os insertos foram utilizados o metal duro com revestimentos de nitreto de titânio (TiN).

Primeiramente, foi feito o desbaste do primeiro lado, para se obter apoio na

mesa da fresadora. Para a fixação foi utilizada, num segundo momento, uma placa de três castanhas, que possibilita a movimentação da fresadora em todos os eixos de trabalho. Em seguida, a peça foi virada e fixada novamente. Em seguida, foi feita a usinagem de acabamento, apresentada na figura 10, fazendo-se uso de fresas de diâmetro de até 0,5 mm para serem feitos os cantos sem arredondamento.

Figura 10 – Usinagem de acabamento do inserto



Fonte: o autor (2016)

Na sequência, foram feitas as medições por coordenadas (tridimensionais) para a verificação da geometria da peça. Por fim, foi executado o polimento do inserto para dar melhor acabamento para a superfície da peça, a qual é apresentada na figura 11.

Figura 11 – Inserto pronto



Fonte: o autor (2016)

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Na tabela 6 é apresentada a comparação do tempo total de todos os processos de usinagem. É possível verificar que o tempo total de usinagem do método 1 é três vezes maior que o método 2.

Tabela 6 – Tempo em horas das operações de usinagem dos métodos 1 e 2

MÉTODO 1		TEMPO EM HORAS	MÉTODO 2	TEMPO EM HORAS
Operação 01	Cortar o material	00:04:00	Recebimento do Material temperado	-
Operação 02	Fresadora 3 eixos	01:00:00	Fresadora 5 eixos	13:21:33
Operação 03	Torno CNC	01:30:00	Medição tridimensional	00:15:00
Operação 04	Fresadora 3 eixos	01:15:00	Ajuste e polimento	01:00:00
Operação 05	Tratamento térmico (Alívio de tensões)	-		
Operação 06	Torno CNC	00:01:30		
Operação 07	Fresadora 3 eixos	05:21:00		
Operação 08	Furar e roscar	01:00:00		
Operação 09	Tratamento térmico (Têmpera)	-		
Operação 10	Retifica plana	00:50:00		
Operação 11	Torno CNC	00:50:00		
Operação 12	Retifica cilíndrica	01:30:00		
Operação 13	Fresadora 5 eixos	15:55:00		
Operação 14	Medição Tridimensional	00:15:00		
Operação 15	Erosão a penetração	12:30:00		
Operação 16	Erosão a fio	06:20:00		
Operação 17	Ajuste e polimento	02:30:00		
	TOTAL	50:51:30		14:36:33

Fonte: o autor (2016)

Com acompanhamento de cada operação, pôde ser feita a avaliação da furação lateral levando em conta o material da broca. Na tabela 7 é apresentada a comparação entre os materiais aço rápido que foram utilizadas no método 1, e o metal duro que foi utilizada no método 2. Portanto, evidencia-se um ganho de 500 % em tempo do metal duro, que faz o uso de velocidades de corte 10 vezes maiores que as velocidades para o aço rápido.

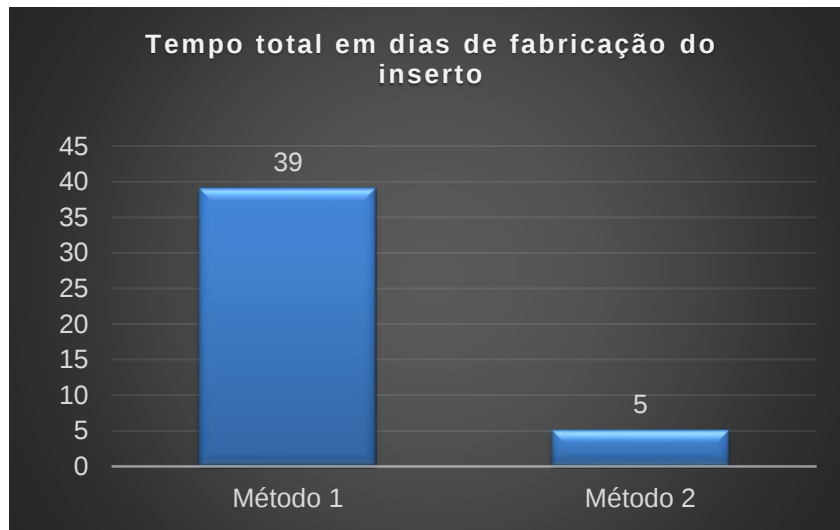
Tabela 7 – Comparação de desempenho da broca para furação lateral

	Broca	Velocidade Corte	Tempo de usinagem	Ganhos
Método 1	Aço rápido	5 m/min	01:30:35 horas	100%
Método 2	Metal Duro	50 m/min	00:18:22 horas	500%

Fonte: o autor (2016)

Na figura 12 é apresentada a comparação dos tempos de fabricação total do inserto, levando em conta os processos desde o corte do material até o ajuste e polimento de acabamento, que foram descritos nas tabelas 7 a 8. Esse processo leva em consideração os tempos de peça para parada aguardando o próximo processo, tratamentos térmicos, preparação e *setup* da máquina. Os ganhos foram de 780% do método 2 em relação ao método 1 na fabricação do inserto, conforme a figura 12.

Figura 12 – Comparação do tempo total de fabricação do inserto



Fonte: o autor (2016)

A empresa onde foram realizados os experimentos não disponibilizou os valores de cada ferramenta de corte e hora-máquina para não serem comprometidas as negociações com os fornecedores e a terceirização de usinagem. Porém com o estudo das ferramentas de corte, evidencia-se o aumento de 7,15% nos custos das ferramentas de corte no método 2. Entretanto, foram utilizadas ferramentas de corte da empresa Emuge-Frankende, com maior qualidade e resistência, para obter

melhores rendimentos em velocidade de corte e avanço, trazendo uma segurança dos parâmetros para o experimento.

5 CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas neste trabalho, que tem como objetivo comparar o método 1 e 2 de usinagem de um inserto de molde de injeção de alumínio, demonstrando qual método se apresenta mais eficaz na redução de prazos e custos de usinagem.

Os dois métodos de usinagem podem ser utilizados para a fabricação de cavidades e insertos para moldes de alumínio. O método 1 está bem implantado no cotidiano das empresas que fabricam essas peças. Porém, esse método pode ser melhorado em vários aspectos, como foi apresentado nos capítulos 3 e 4, tais como a utilização de conceitos e estratégias de usinagem mais atualizadas, o uso de melhores parâmetros de velocidade de corte e avanço, a melhor utilização de máquinas fresadoras com 5 eixos nas operações. Isso possibilita a usinagem de acabamento sem a necessidade da usinagem por eletroerosão, retirando-se alguns processos de fabricação, como desbaste e tratamentos térmicos, diminuindo custos e prazos. A partir da comparação entre os métodos, conclui-se que o método 2 de usinagem:

- Diminuiu 425% a quantidade de operações de usinagem;
- Diminuiu de 7 a 8 vezes o tempo de fabricação total do inserto;
- Encareceu 7,15% os custos das ferramentas de corte;
- Obteve uma qualidade geométrica e superficial de igual aspecto em ambos os métodos;
- Evitou a troca repetida das máquinas, diminuindo-se a quantidade de processos, o aparecimento de erros de preparação, programação e movimentação na mudança de processo por ter sido utilizada somente uma máquina fresadora de 5 eixos;
- Utilizou parâmetros estabelecidos pelo fabricante das ferramentas de corte, garantindo uma usinagem de qualidade, de segurança e ganhos.

A utilização somente de um fabricante de ferramenta de corte originou o aumento do custo do ferramental. No entanto, após uma avaliação dos fornecedores

internos, poderão ser obtidos melhores preços. Para uma ferramentaria que possui máquinas fresadoras de 5 eixos, o método 2 apresenta-se mais eficiente para a usinagem de cavidade e insertos para moldes de alumínio.

Este trabalho apresentou os principais processos e operações de usinagem para insertos e cavidades de moldes de alumínio, contribuindo com os estudos sobre a usinagem e moldes que estão ligados diretamente com o curso superior de fabricação mecânica. Ele pode contribuir em novos estudos em relação à usinagem de materiais endurecidos.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, A. M.; ASPINWALL, D. K. e WISE, M. K. **A Vida de Ferramentas e a integridade de peças no torneamento de aços temperados. Máquinas e Metais**, São Paulo, p.200 - 217, 1996.

ALTAN et al. **Advanced techniques for die and mould manufacturing. Annals of the CIRP**, v. 42, n. 2, p. 707-716, 1993.

BODZIAK, Sabrina. **Estudo do micro-fresamento aplicado à indústria de moldes e matrizes como alternativa à usinagem por eletroerosão**, 2011. 118 f. Tese (Mestrado) - Engenharia Mecânica, Instituto Superior Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2011.

BOUZAKIS, K. D. et al. **Quantification of properties modification and cutting performance of (TiAl)N coating at elevated temperatures. Surface and Coating Technology**, v.120-121, p.34-43, 1999.

DINIZ, Anselmo Eduardo et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 3.ed. São Paulo: Artiber, 2003.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8. ed. São Paulo: Artiber, 2013. 270 p.

EMUGE-FRANKEN. **Werkzeug katalog Tool Catalogue 240**. Rückersdorf, Germany, 2012.

FENSTERSEIFER, Jaime E. **Apostila do curso estratégia de produção**. Porto Alegre, UFRGS/ Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção – PPGE, jan 1999.

HANITA. **Technical information**. Israel, 2000. 1 compact disc digital. HAM HARTMETALL WERKZEUGFABRIK. **Präzisionkatalog**. Hörenhausen, 2000. Catálogo de ferramentas.

JIPM. **Manual II curso internacional para formação de instrutores TPM**. São Paulo, Editora JIPM/IMC maio/1995.

KACELJ, B. et al. **Speciality of HSC in manufacturing offorging dies**. Journal of Materials Processing Technology, 157–158, 2004. 536–542.

KÖNIG, W. **Tornear, Fresar e Furar**. (Tradução: Prof. Dr.-Ing. WALTER L. WEINGAERTNER. Aachen. 1981. 409 p.

KUNIEDA, M. et al. **Advancing EDM through fundamental insight into the process**. CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume, 54, 2005. 64-87.

LÖTTGEN, R. **EDM or HSM? Which technology wins concerning die and mold making?** In: Seminário Internacional de Alta Tecnologia ,8., 2003, Piracicaba, p. 227-239.

MACEDO, S. E. **Análise de forças no fresamento de topo convencional e com altas velocidades de corte**. 2001.109f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MACHADO, A. **Descobrimento e aplicação do comando numérico CNC**. O mundo da usinagem. São Paulo, v.4, n. 28, p.30, maio/junho 2006.

MEGLIORINI, E. **Custos: análise e gestão**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

MONTEMEZO, R. A. **Implantação das ferramentas de troca rápida de ferramental no setor de usinagem de uma indústria produtiva de peças de trator**. 2013. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, UNIPLAC, Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2013.

OHMAE, K. **Começando de novo**. Revista HSM Management, São Paulo, Editora Savana, p. 6-10, nov/ dez 1998B.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala**. Porto Alegre, Editora Bookman, 1997.

OLIVEIRA, A. J. **Análise do desgaste de ferramentas no Fresamento com Alta Velocidade de aços endurecidos**. 2007. 205 f. Tese (Pós-graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo,

2007.

PERSSON, A. **On tool failure in die casting**. 2003, 40 p. Tese (Doutorado) - Uppsala University, Uppsala.

ROBERTS, G. A.; CARY, R. A. **Tool Steel**, 4. ed., Ohio: Editora ASM, 1992. 820p.

SANDVIK. **Fabricação de moldes e matrizes**. Guia de aplicação.1999. 208 p.

SANTOS et al. Usinagem em altíssimas velocidades: como os conceitos HSM/HSC podem revolucionar a indústria metal mecânica.1. ed., São Paulo: Editora Érica, 2003. 214 p.

SCHROETER, R. B. **Tecnologia da usinagem com ferramentas de geometria definida**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Mecânica de Precisão, Florianópolis. Apostila.

SCHULZ, H.; MORIWAKI, T. **High speed machining**. *Annal softhe CIRP*, v. 41, n. 2, p. 637-643, 1992.

SHIN et al. **A new rapid manufacturing process for multi-face high speedmachining**. *International Journalof Advanced Manufacturing Technology*, v. 22, n. 1/2, p. 68-74, 2003.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre, Editora Bookman, 1996.

SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C.R., BUDYNAS, R. G. **Mechanical Engineering Design**, 7. ed. New York. Editora McGraw Hill, 2004. 1030p.

SILVA, A.S.A. **Desenvolvimento integrado CAD/CAM de componentes para turbinas a gás**. Dissertação de Mestrado-Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. 2006.

SOUZA, A. F. **Contribuições ao fresamento de geometrias complexas aplicando a tecnologia de usinagem em altas velocidades**. Tese (doutorado) - EESC/USP - Universidade de São Paulo. São Carlos: 2004.

STEMMER, G. Erich. **Ferramentas de Corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992,

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte I.** Florianópolis: Ed UFSC, 4 ed., 1995. 249 p., Bibliografia p. 59, 94.

STEMMER, C. E. **Ferramentas de corte II.** Florianópolis: Ed UFSC, 2 ed. 1995. 314 p., Bibliografia p. 141-214.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting.** 4rd ed. Boston: Butterworths Heinemann, 2000.

UNGER, P. **Injection Molds 130 Proven Designs.** 4. ed. Cincinnati: Editora Hanser Gardner, 2006. 300p.

VALLE, P. D. **Avaliação da influência da minimização e eliminação do fluido de corte no processo de fresamento de topo reto.** 2001. 129f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

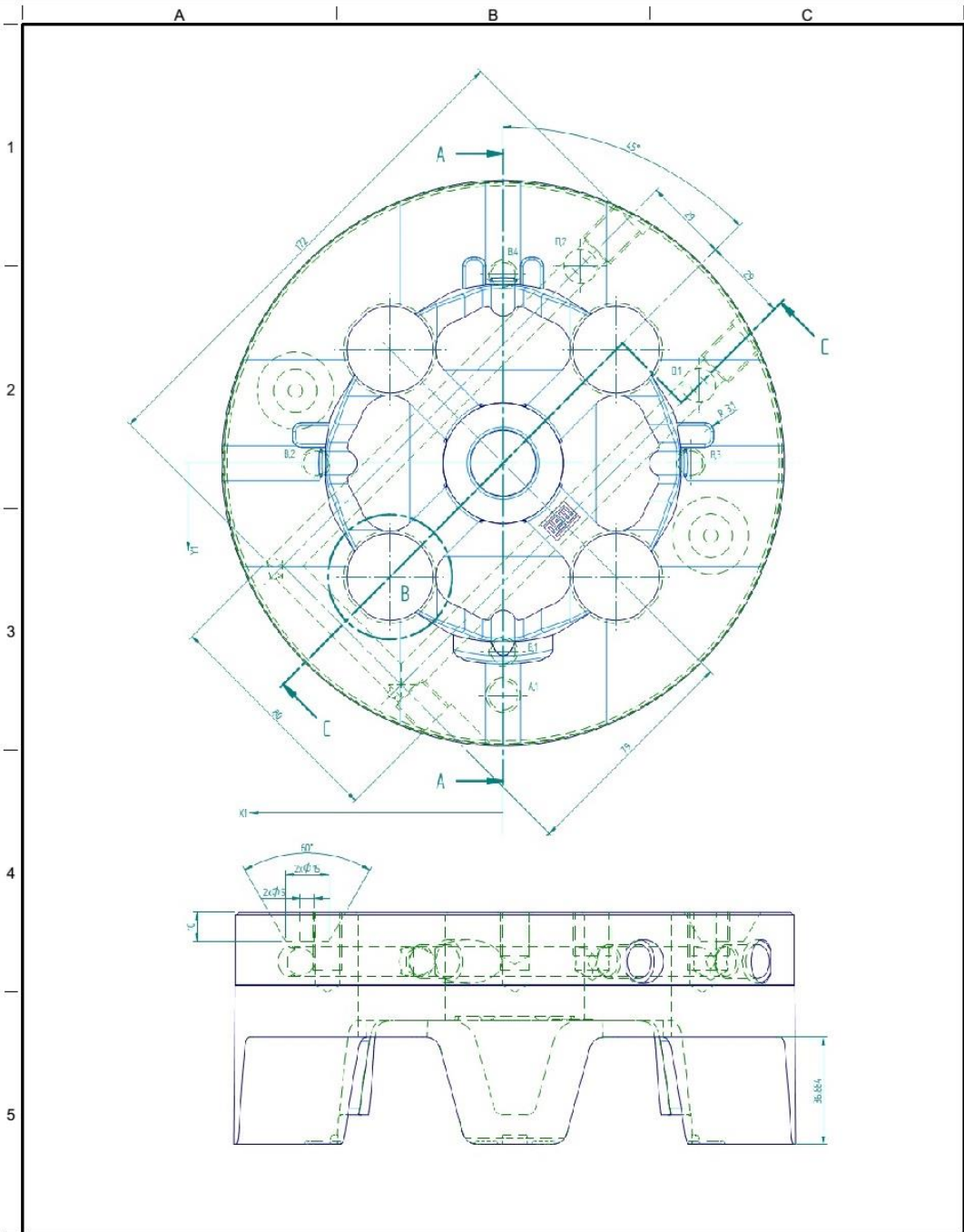
VELOSO, Á. L. **Sistemas de custos da produção a gestão de custo fabril para a competitividade.** Belo Horizonte. Business Consulting Division, 2004.

VILLARES METALS. **Catálogo aços para trabalho a quente.** São Paulo, Brasil, 2010.

WODTKE, A. **Realização de ensaios de usinagem com ferramentas de metal duro com revestimento no ferro fundido modular austemperado.** 2009. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Unerj, Centro Universitário de Jaraguá do Sul, Jaraguá do Sul, 2009.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas - elimine o desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro, Editora Campus, 1998.

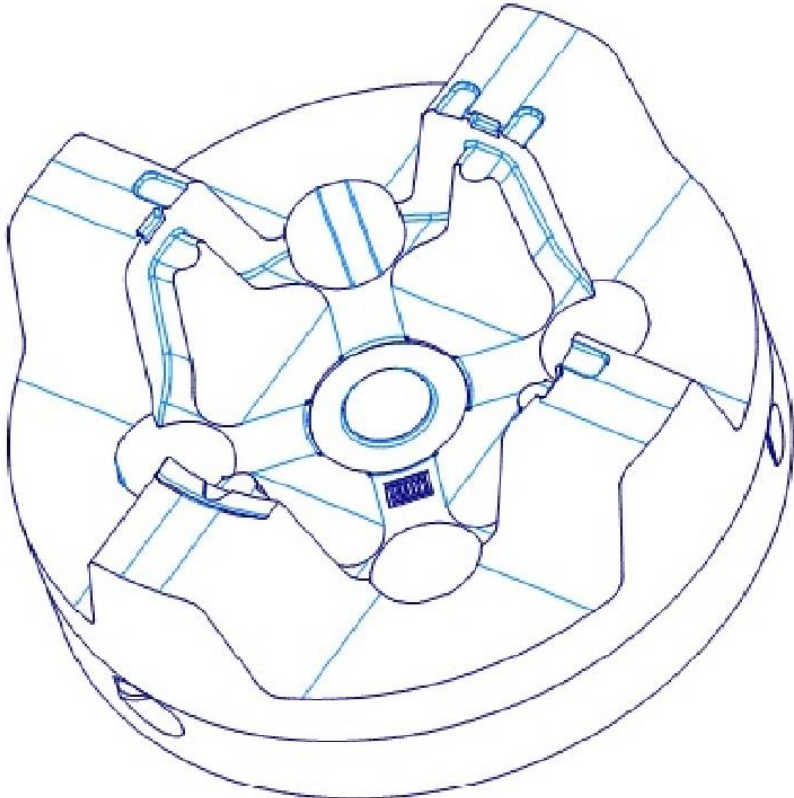
ANEXO A – DESENHO DO INSERTO



Pos.:		Qtd.:	Cód. peça:	---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
Responsável		Data	RLM	LOC	Resumo de Modificações	Executado	Liberado	Data	Rev.
Lib.			Material:						
Ver.			Tratamento:						
Des.			Aplicação:						
Esc.:	Descrição:						Número:		

A4

ANEXO B – DESENHO 3D DO INSERTO

		A		B		C			
1									
2									
3									
4									
5									
Pos.:		Qtd.:	Cód. peça:	---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
				---	---	---	---	---	---
6	Responsável		Data	RLM	LOC	Resumo de Modificações	Executado	Liberado	Data Rev.
	Lib.			Material:					
	Ver.			Tratamento:					
	Des.			Aplicação:					
A4	Esc.:		Descrição:				Número:		