

**SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL
SENAI**

**CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO
MECÂNICA.**

**SISTEMAS DE FIXAÇÃO PARA FRESAS INTEGRAIS DE METAL
DURO EM CENTROS DE USINAGEM C.N.C.
SISTEMA PORTA PINÇA X MANDRIL HIDRÁULICO.**

DANIEL CRISTIANO MORONI

Trabalho de Conclusão de Curso

JOINVILLE - SC

2009

DANIEL CRISTIANO MORONI

**SISTEMAS DE FIXAÇÃO PARA FRESAS INTEGRAIS DE METAL
DURO EM CENTROS DE USINAGEM C.N.C.
SISTEMA PORTA PINÇA X MANDRIL HIDRÁULICO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior de Tecnologia
em Fabricação Mecânica do Serviço Nacional
de Aprendizagem Industrial – SENAI – como
requisito parcial para conclusão do curso.

Professor Orientador Claudinei Haag.

Unidade:	SENAI		
Curso:	TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA	Ano:	2009
Professor Orientador:	CLAUDINEI HAAG		
Estudante:	DANIEL CRISTIANO MORONI		
TÍTULO DO TRABALHO:	SISTEMAS DE FIXAÇÃO PARA FRESAS INTEGRAIS DE METAL DURO EM CENTROS DE USINAGEM C.N.C (SISTEMA PORTA PINÇA X HIDRÁULICO)		
AVALIADORES:			

Descrição		Avaliação
O ESTUDANTE regularmente matriculado no Curso APRESENTOU e ou DEFENDEU seu Trabalho de Conclusão de Curso.		
Assinatura:	_____ Prof.Nilton M.L. Adão	
	_____ Prof.Claudinei Haag	
QUANDO PREVISTO BANCA EXAMINADORA		
Assinatura:	_____ _____ _____	
Data:		

*Esta ficha deverá ser **anexada na versão final do TCC** corrigido e com as devidas sugestões dos Avaliadores, logo após a folha de rosto.

DEDICATÓRIA

Dedico a DEUS que me deu forças, sabedoria e em muitas vezes persistência para alcançar meus objetivos com a finalidade de buscar conhecimento e conseqüentemente a graduação acadêmica. Dedico também a minha família que em muitos momentos superou minha ausência, sabendo do meu objetivo para buscar um futuro claro, digno e promissor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar concluindo mais uma etapa em minha vida;

Aos meus filhos, que durante este período de execução do trabalho, tiveram paciência e superaram em muitos momentos a minha ausência;

A minha esposa, que com muita paciência esteve sempre ao meu lado;

Aos meus pais, pela educação e apoio sempre desprendido;

Ao amigo Osmar Lima da Taegutec do Brasil pelo fornecimento das ferramentas;

Aos professores e colegas do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Curso Superior SENAI Joinville;

EPIGRAFE

“Sem sonhos, as perdas se tornam insuportáveis, as pedras do caminho se tornam montanhas, os fracassos se transformam em golpes fatais. Mas, se você tiver grandes sonhos, seus erros produzirão crescimento, seus desafios produzirão oportunidades, seus medos produzirão coragem”.

Augusto Cury,2006.

RESUMO

Durante os últimos anos a usinagem teve um grande avanço tecnológico. Com o desenvolvimento de novas tecnologias criadas para atender as atuais necessidades do mercado, ocorreu um fator bastante curioso. As empresas possuem muitas opções para desenvolver seus processos de usinagem, assim muitas vezes os mesmos acabam ficando em dúvida na escolha, pois muitos não possuem conhecimento técnico suficiente para tal tomada de decisão. Este trabalho foi desenvolvido para ajudar nesta importante decisão. Através de estudos de caso, consegue-se verificar as principais características dos processos de usinagem no que diz respeito à fixação das ferramentas de metal duro. Foi analisado o processo de usinagem em fresamento com dois tipos de fixação para ferramenta de metal duro, ambos utilizando parâmetros de corte idênticos em usinagem de Aço ABNT D2 para respectiva dureza de 38HRC e usinagem de Ferro Fundido Cinzento GG25 para respectiva dureza de 182HB. No primeiro experimento foi utilizado o processo de fixação conhecido como Cone Porta-Pinça ER40 (ISO40-DIN69871). No segundo experimento foi utilizado o processo de fixação conhecido como Cone Hidráulico (ISO40-DIN69871), onde se consegue avaliar vantagens, desvantagens e custos dos processos através de comparação da vida útil das ferramentas, acabamento superficial da peça, e custo do sistema. Os resultados obtidos com este trabalho serão demonstrados de maneira objetiva e clara através de tabelas e gráficos, para que possa servir de embasamento teórico e prático a quem vier precisar. Para se alcançar um resultado mais eficaz, será apresentado experimentos realizados em teste de campo (condições de produção diária em chão de fábrica – Ferro Fundido) e experimentos realizados em laboratório (condições climáticas ideais – Aço ABNT D2).

Palavras chave: ferramenta de metal duro; sistemas de fixação; usinagem CNC.

ABSTRACT

In recent years the machining was a major technological breakthrough. With the development of new technologies designed to meet the current needs of the market, there was a factor rather curious. Businesses have many options to develop their machining processes, and often they end up in doubt in choosing, as many do not have sufficient technical knowledge to this decision. This study was designed to help in this important decision. Through case studies, it is possible to verify the main characteristics of machining processes with respect to the determination of carbide tools. We analyzed the process in milling machining with two types of fixation for carbide tool, both using the same cutting parameters in machining of AISI D2 to their hardness of 38HRC and machining of gray cast iron GG25 for their hardness 182HB. In the first experiment we used the fixation process known as Cone Holder ER40 Collet (ISO40-DIN69871). In the second experiment we used the fixation process known as Hydraulic Cone (ISO40-DIN69871), which can assess the advantages, disadvantages and costs of processes by comparing the tool life, surface finish of the piece, and system cost. The results of this work will be demonstrated objectively and clearly in tables and graphs, so you can serve as a theoretical and practical need to come looking. To achieve more effective results will be presented experiments in field test (conditions of daily production in the factory floor - Cast Iron) and in laboratory experiments (ideal weather conditions - AISI D2).

Keywords: carbide tool, fastening systems, CNC machining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Requisitos para Portas Ferramentas. Gráfico retirado do CD Total Tooling	14
Figura 2 – Elementos para eficiência do Porta Ferramentas	15
Figura 3 - Flexibilidade de Montagens. Foto CD Total Tooling Port – 2005	18
Figura 4 - Componentes Básicos. Foto CD Total Tooling Port – 2005	22
Figura 5 – Tipos de Flanges. Catálogo MN2008-Tooling.	24
Figura 6 - Tipos de Flanges. Foto CD Total Tooling Port – 2008	25
Figura 7 - Tipos de Fresas de Topo.	26
Figura 8 - Geometria do corte com ferramenta esférica ou toroidal.	27
Figura 9 – Viabilidade econômica para reafiações de ferramentas integrais.	28
Figura 10 - Micrografia do metal duro com gradiente funcional.	32
Figura 11 - Tratamentos de superfície no substrato de metal duro	33
Figura 12 - Análise da estrutura de uma máquina-ferramenta.	34
Figura 13 - Eixo-árvore para máquina-ferramenta.	36
Figura 14 - Interface mandril e porta-ferramenta	37
Figura 15 - Deformação no eixo-árvore influenciada pela força centrífuga	40
Figura 16 - Tabela da Qualidade do Balanceamento.	45
Figura 17 - Centro de Usinagem Vertical ROMI DISCOVERY560	47
Figura 18 -Fixação das ferramentas utilizadas nos experimentos.	48
Figura 19 - Corpo-de-prova utilizado nos ensaios com 90° e material D2	49
Figura 20 - Micrografia do aço ABNT D2 atacado com Nital 10%	50
Figura 21 - Microscópio Utilizado nos Testes	51
Figura 22 - Verificação da rugosidade no sentido longitudinal	52
Figura 23 - Fixação do Corpo de Prova	54
Figura 24 - Sentido de Corte Concordante	54
Figura 25 - Simulação da Usinagem gerado no Mastercam	55
Figura 26 – Rugosidade Comparativa - Cone Porta-Pinça x Cone Hidráulico	59
Figura 27 – Comparativo de Batimento - Cone Porta-Pinça x Cone Hidráulico	59
Figura 28 – Aresta de Corte com Lascamento e Micro-lascas (Sistema Porta-Pinça)	60
Figura 29 – Vida Útil da Ferramenta (Porta-Pinça x Hidráulico)	61
Quadro 1 – Comparativo dos Sistemas de Fixação Porta-Pinça x Hidráulico	61
Quadro 2 – Relatório Técnico de Usinagem utilizado na fase 3 dos Experimentos	62
Quadro 3 – Relatório Econômico de Uisnagem utilizado na fase 3 dos Experimentos	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo da mudança de Engenharia em várias etapas do Processo de Usinagem do Produto.	21
Tabela 2 - Propriedades dos carbonetos utilizados no metal duro.....	30
Tabela 3 - Influência da quantidade de aglomerante nas propriedades do metal duro.	31
Tabela 4 - Tipos diferentes de Sistemas de Fixação.	41
Tabela 5 - Tipos diferentes de Sistemas de Fixação.	42
Tabela 6 - Características dos Sistemas de Fixação.....	43
Tabela 7 - Simbologia do Sistema de Balanceamento.	44
Tabela 8 - Composição química do aço-ferramenta utilizado no ensaio (% em massa)	50
Tabela 9 - Condições de usinagem utilizadas na fase 1 e 2 dos experimentos.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IDENTIFICAÇÃO	REFERÊNCIA
CAD	Computer Aided Design Desenho Assistido por Computador
CAE	Engenharia Assistida por Computador
CAM	Computer Aided Manufacturing Manufatura Assistida por Computador
Cm	Centímetros
CNC	Computer Numeric Control Controle Numérico Computadorizado
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis Análise do Modo e Efeito das Falhas
MD	Metal Duro
Mm	Milímetros
PUP	Processo de Usinagem do Produto
TiAlN	Nitreto de Titânio e Alumínio
TiCN	Nitreto Cúbico de Titânio
TiN	Nitreto de Titânio
VBB	Desgaste de Flanco
HSM	High Speed Machine Máquina de Alta Velocidade
HSC	High Speed Cuting Corte em Alta Velocidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVO GERAL	13
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTAS	14
2.2	ELEMENTOS ESSENCIAIS PARA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO.	15
2.3	SISTEMAS DE FIXAÇÃO NO PROCESSO DE USINAGEM DO PRODUTO (PUP)	16
2.4	HSM (HIGH-SPEED-MACHINE) E HSC (HIGH-SPEED-CUTTING)	16
2.5	A FINALIDADE DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO NO PROCESSO DE USINAGEM DO PRODUTO	17
2.6	VANTAGENS DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO ADEQUADOS	19
2.7	REDUÇÃO DE CUSTO E TEMPO	20
2.8	TIPOS DE CONES	21
2.8.1	HASTE CÔNICA	22
2.9	TIPOS DE FLANGES	22
2.10	PINO DE TRAÇÃO	25
2.11	FRESAMENTO DE AÇOS PARA MOLDES E MATRIZES.	25
2.12	SUBSTRATO NO METAL DURO.	29
2.13	TRATAMENTO DO SUBSTRATO PARA DEPOSIÇÃO DA COBERTURA.	32
2.14	ESTRUTURA DA MÁQUINA FERRAMENTA.	33
2.15	EIXO-ÁRVORE.	35
2.16	INTERFACES ENTRE EIXO-ÁRVORE E A FERRAMENTA.	37
2.17	TIPOS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO	40
2.18	CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO.	43
2.19	BALANCEAMENTO DO SISTEMA DE PORTA-FERRAMENTAS/FRESA.	44
2.20	QUALIDADE DO BALANCEAMENTO COM BASE EM TABELAS PADRONIZADAS.	45

3	METODOLOGIA	Erro! Indicador não definido.
3.1	MÁQUINA-FERRAMENTA	47
3.2	FERRAMENTA, PORTA-FERRAMENTA E MANDRIL DE FIXAÇÃO.	48
3.3	MATERIAL USINADO.	49
3.4	MONITORAMENTO DO PROCESSO.	51
3.5	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	53
3.6	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	55
3.7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.	58
3.7.1	RELATÓRIO COMPARATIVO DE TESTE DE CAMPO.	63
	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	67
	ANEXO A	70
	ANEXO B	72
	ANEXO C	75

1 INTRODUÇÃO

O sucesso de uma boa usinagem está associado ao desenvolvimento do processo da empresa e as suas habilidades em identificar as necessidades do cliente e imediatamente desenvolver a usinagem das peças de forma rápida e eficaz. A chave para o sucesso da usinagem do produto é a utilização de sistemas de fixação de peças adequadas, estratégias de usinagem, parâmetros de corte e sistemas de fixação para ferramentas que podem influenciar diretamente na fabricação, na qualidade do produto ou no custo do mesmo.

1.1 JUSTIFICATIVA

Os sistemas de fixação para ferramentas integrais de metal duro, na usinagem em máquinas C.N.C, estão cada vez mais complexos e precisos devido aos conceitos de usinagem, dando uma maior garantia na fabricação dos produtos. Com a usinagem rápida e a demanda por peças cada vez maior, o que era tarefa especializada e demorada tornou-se mais fácil e ágil, gerando um considerável aumento no uso de ferramentas integrais de metal duro em gama de dimensões abaixo de Ø16,0mm.

Os sistemas de fixação tiveram um grande avanço nos últimos anos. Novas tecnologias foram criadas para o melhor atendimento das exigências das empresas de usinagem, deixando o cliente em dúvida na escolha do melhor processo de fabricação da peça com um menor custo/benefício e maior rapidez.

Portanto, faz-se necessário uma análise de dois processos de fixação de ferramentas, um demonstrando o sistema de fixação de “CONE PORTA PINÇA” e o outro demonstrando o sistema de fixação “CONE HIDRÁULICO” para usinagem com ferramentas integrais de metal duro.

1.2 OBJETIVO GERAL

Realizar uma comparação entre os processos de fixação Cone Porta Pinça e Cone Hidráulico e identificar em que situação deve-se usá-los.

1.3 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Especificar a melhor qualidade superficial da peça;
- Verificar a resistência de cada processo.
- Analisar a relação entre custo e benefício dos processos cone porta pinça e cone hidráulico;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE FIXAÇÃO DE FERRAMENTAS

É um dispositivo que age como uma interface intercambiável entre o fuso de uma máquina ferramenta e uma ferramenta de corte de maneira que não seja diminuída a eficiência dos elementos mencionados.

Não há porta ferramentas “TOP” universal disponível que atenda todos os critérios de usinagem. Pelas vantagens específicas de cada sistema de aplicação, todos merecem seu mérito. Os sistemas de fixação servem, além de fixar as ferramentas, como sistemas de amortecimento de vibrações, rigidez de fixação radial e de excelente estabilidade durante a usinagem. (DORMER, 2006).



Figura 1 - Requisitos para Portas Ferramentas. Gráfico retirado do CD Total Tooling Port – 2005

Fonte: Sanches Blanes(2005)

2.2 ELEMENTOS ESSENCIAIS PARA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO.

Os elementos essenciais a uma boa fixação são caracterizados pelos seguintes aspectos:

a. Concentricidade - O eixo de rotação do fuso da máquina e o da ferramenta de corte deve ser mantido concêntrico.

b. Força de fixação - A ferramenta de corte deve ser segurada firmemente para evitar a sua rotação dentro do mandril.

c. Padronização - Os mandris devem ser uniformes entre si. A utilização de mandris com qualidade assegura a constância de fixação, de mandril para mandril.

d. Balanceamento – Os portas-ferramenta devem ser balanceados tão perfeitamente como os fusos nos quais são montados.

Como se pode observar, é possível desdobrar o porta-ferramenta em três partes separadas: a interface com fuso (cone, A), a flange (B) e a parte para prender a ferramenta (mecanismo para prender, C). (DORMER,2008).

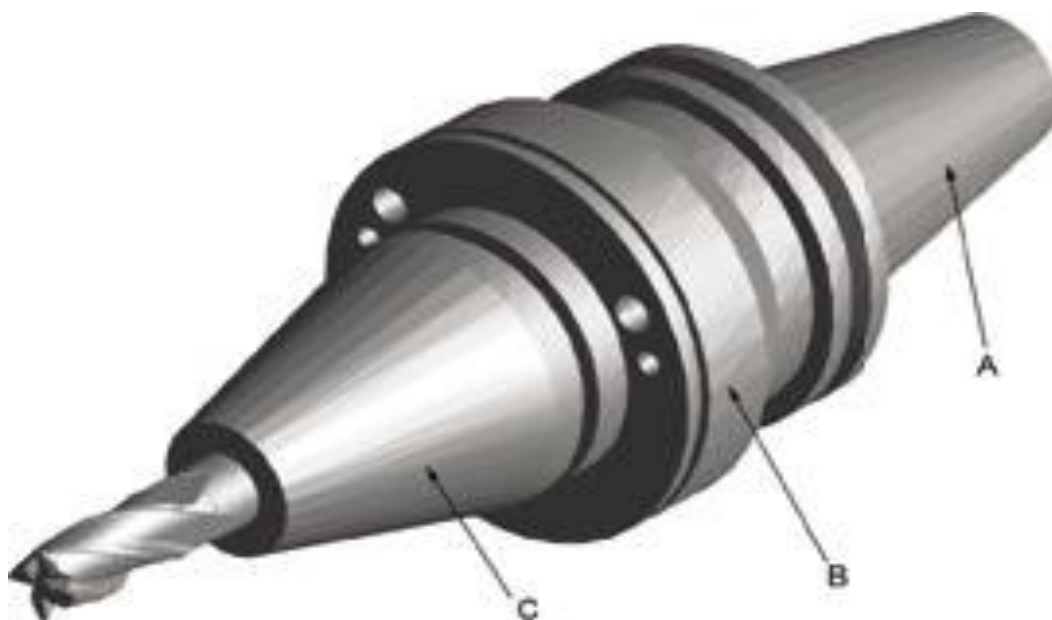


Figura 2 – Elementos para eficiência do Porta Ferramentas

Fonte: Dormer, (2008)

2.3 SISTEMAS DE FIXAÇÃO NO PROCESSO DE USINAGEM DO PRODUTO (PUP)

Com o surgimento das tecnologias de Usinagem Rápida (HSM High-Speed-Machine e HSC High-Speed-Cutting), o que era tarefa especializada e demorada tornou-se mais fácil, gerando um considerável aumento no uso de sistemas de fixação de ferramentas mais confiáveis. Para melhor entender a importância dos sistemas de fixação no processo de fabricação do produto, é necessária visualizar o papel dos sistemas de fixação neste processo. Para tanto, são necessários alguns comentários sobre o seu uso e vantagens, antes de se entrar em mais detalhes sobre estas tecnologias.

O sucesso da fabricação de um determinado produto está muitas vezes associado à habilidade das empresas em identificar as necessidades dos clientes e imediatamente desenvolver o processo de usinagem que atendam as lacunas a um baixo custo. A aprendizagem rápida dos envolvidos em cada estágio do processo de desenvolvimento da usinagem do produto é a chave para o sucesso, e que a utilização do sistema de fixação, quando devidamente explorado, é essencial neste processo. No entanto, o uso de sistemas de fixação apropriados, ocorre a um índice muito baixo, como consequência do tempo e do custo associado à sua fabricação.

2.4 HSM (HIGH-SPEED-MACHINE) E HSC (HIGH-SPEED-CUTTING)

A HSC - (High Speed Cutting) está sendo muito utilizada em indústrias que exigem velocidade de produção conciliada com precisão de usinagem, como a aeroespacial. Isto se deve aos diversos benefícios que a acompanham, tais como tempo de produção e custos reduzidos, excelente qualidade de acabamento e menor distorção da peça final, menor stress do material, entre outros.

O conceito básico da HSC foi desenvolvido pelo Dr. Carl Salomon em 1931, o que resultou em uma patente alemã. A idéia consiste em aumentar a velocidade de usinagem e assim diminuir a temperatura da peça sendo usinada, o que causa um menor enfraquecimento do material. A razão é que a velocidade de corte (Machining Feed Rate) é maior do que a velocidade de condução térmica, concentrando a maior parte da dissipação de calor no material removido (cavaco).

A produção orientada em HSC teve início em 1976 com a indústria aeroespacial, e ainda hoje, este é o ramo que mais utiliza esta tecnologia como ferramenta de produção. A utilização da tecnologia HSC depende tanto da mecânica quanto da eletrônica que a equipa, por isso o conjunto completo que forma a máquina deve ser desenvolvido para tal finalidade. Os itens mais importantes na questão da mecânica são o spindle e o cabeçote (toolholder), pois a ferramenta está diretamente ligada a estes dois componentes (no caso de um centro de usinagem). O balanceamento e a simetria do conjunto spindle+cabeçote é essencial para um bom desempenho da máquina, já que é neste conjunto que são exercidas as forças de usinagem.

Fonte: (Mercado Empresarial,2009).

2.5 A FINALIDADE DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO NO PROCESSO DE USINAGEM DO PRODUTO

Os sistemas de fixação de ferramentas podem ser utilizados para várias finalidades dentro do processo de usinagem do produto (PUP), entre as quais se destacam a flexibilidade, robustez, custo e prazo de projeto.

Flexibilidade:

Os sistemas de fixação de ferramentas são construídos principalmente para se adaptarem aos processos de usinagem. Hoje com as mudanças constantes, inclusive durante o processo, necessita-se de sistemas de fixação de ferramentas com flexibilidade de montagens diversas. Estas montagens ou adaptações são feitas por meio de pinças e prolongadores, com finalidade a atender em prazo hábil o projeto de usinagem e criar uma versatilidade nos sistemas de fixação de ferramentas.

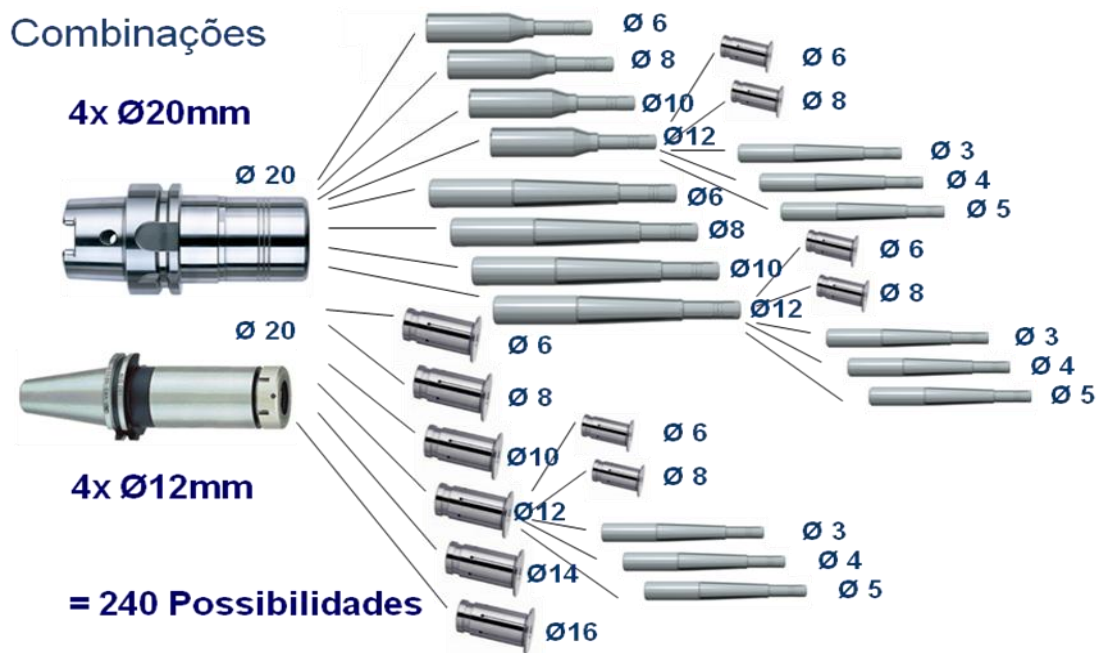


Figura 3 - Flexibilidade de Montagens. Foto CD Total Tooling Port – 2005

Fonte: Sanches Blanes, (2005)

Robustez: Os sistemas de fixação desempenham o papel principal na fixação de ferramentas de metal duro, especificamente, nas aplicações de fresas integrais de metal duro. Apresentam robustez devido ao torque de aperto das ferramentas (fixação) muito elevado, pois a fixação da ferramenta é dada pela haste cilíndrica em sua circunferência completa. A idéia é criar um campo de interferência entre cone e ferramenta, com finalidade de suportar as necessidades da usinagem, seja ela, vibração, folga de máquina, parâmetros de corte elevados e aquecimento.

Custo: Os Sistemas de Fixação promovem e melhoram a integração entre o projeto da peça e a usinagem em si, por atuarem como um meio de comunicação e entendimento comum e, também, como uma base de dados comum em um processo de desenvolvimento da usinagem. Por exemplo, a possibilidade de se executar montagens nos estágios iniciais do processo de desenvolvimento da usinagem aumenta o nível de integração e promove a solução de problemas de projeto. A montagem exige a interligação física de todas as peças e submontagens.

Marco de Projeto: Os Sistemas de Fixação para ferramentas integrais de metal duro podem ser usados como marcos no processo de usinagem por meio do estabelecimento de objetivos a serem alcançados: possibilitam uma estratégia de usinagem com altas taxas de avanços e rotações e reforçam o uso de máquinas operatrizes altamente eficientes no quesito tempo e qualidade.

2.6 VANTAGENS DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO ADEQUADOS

Uma vantagem básica de se utilizar sistemas de fixação adequados a usinagem, é que não existe maneira melhor de se certificar que uma peça complexa possui todas as características desejadas do que alcançar todas as qualidades superficiais e de medição desejada. Os produtos a serem usinados, podem ser otimizados de várias formas com o uso de sistemas de fixação eficientes e adequados. Uma contribuição fundamental é a possibilidade de facilitar o processo de decisão baseado em resultados de simulações, avaliações, testes e integração de lote de peças piloto nas fases iniciais do projeto.

Os sistemas de fixação, auxiliam na simulação para respostas rápidas ou para finalizar os requerimentos de um projeto. Com a possibilidade de obtê-lo rapidamente, o produto pode ser otimizado pelo teste de diferentes hipóteses, ou seja, explorando e avaliando soluções alternativas. Outra vantagem visível com aplicação correta de sistemas de fixação é a viabilidade e flexibilidade das montagens das ferramentas, ocasionando uma maior racionalização de cones porta ferramentas e ainda diminuindo a quantidade de gasto em aquisição dos mesmos.

Ferramentas paradas em cones parados geram custos elevados, sendo repassados estes custos para o produto final. Um sistema de fixação adequado pode ser usado como garantia de eficiência do processo de usinagem e responsável pelo desenvolvimento da usinagem do produto. Serve como uma confirmação da qualidade do produto e do processo. Os sistemas de fixação também possibilitam uma melhor rastreabilidade do processo de desenvolvimento de produtos.

Podem também auxiliar na simulação e aprovação do processo de manufatura, possibilitando a verificação de ferramentas e dispositivos necessários. Pode-se deduzir que há várias outras vantagens de se usar sistemas de fixação de ferramentas adequadas, com base nas finalidades já apresentadas. Algumas delas comentadas a seguir.

2.7 REDUÇÃO DE CUSTO E TEMPO

É importante observar a influência dos estágios iniciais do processo de desenvolvimento de produtos, que compreendem a fase de projeto, no custo comprometido do produto. Os custos despendidos em avaliação explorativa nas fases iniciais darão retorno na forma de grandes economias em estágios mais avançados. É comum, no entanto, encontrar resistência em escolher o melhor sistema de fixação no processo de usinagem de um determinado produto, argumentando que estas requerem muito tempo e com custos elevados.

O tempo ganho com a omissão destas etapas geralmente resulta em prejuízo da qualidade do produto e mais tempo para o seu processo de usinagem. Por outro lado, o reconhecimento imediato de problemas durante o processo de usinagem, já é responsável pela redução do tempo total de desenvolvimento de um produto. O uso de sistemas de fixação de ferramentas adequado possibilita a correção de problemas que poderiam, de outra forma, serem descobertos somente depois de finalizadas as atividades dispendiosas do processo de usinagem. Além disso, possibilita antecipar problemas futuros, agindo como uma bola de cristal. Por exemplo, um molde de injeção pode necessitar retrabalho ou mesmo ter que ser refeito, se as medidas ou acabamento superficial não se encaixar perfeitamente com a sua outra metade.

Baseado em informações no segmento de Ferramentaria, o custo de alterações de projeto é maior quando em estágios mais adiantados do processo de desenvolvimento de produtos ou até mesmo após a sua usinagem total. A tabela 2.1 apresenta uma idéia de custos de mudanças de engenharia em três estágios do processo, considerando um custo médio da hora trabalhada em qualquer um dos processos de R\$120,00/hora.

Fonte: (ACIJ,2008).

Tabela 1 - Custo da mudança de Engenharia em várias etapas do Processo de Usinagem do Produto.

Custo da Mudança de Engenharia em várias etapas do PUP		
Etapas do PUP	Descrição	Custo Médio por Mudança
1°	Engenharia de Projeto (400horas).	R\$ 48.000,00
2°	Programação e Usinagem antes da liberação do produto (800horas).	R\$ 96.000,00
3°	Depois da liberação do produto (1200horas).	R\$144.000,00

Fonte: ACIJ, (2005)

2.8 TIPOS DE CONES

As máquinas manuais grandes e as máquinas CNC têm porta-ferramentas retificados, com precisão com um cone macho que se encaixa com o cone fêmea, específico da máquina. Também há um modo de segurar o porta-ferramentas no seu lugar mediante um pino de tração ou uma barra com rosca de tração. Nas máquinas CNC o pino de tração é mais popular pois permite uma fácil troca automática das ferramentas.

- Cone (CAT, BT, TC, ISO)
- HSK
- Outros (Cone Morse, Haste Automotiva, Haste Cilíndrica1835A, Haste Cilíndrica forma B).

Um porta-ferramentas consiste de cinco componentes básicos (ver figura 4):

1. Pino de tração
2. Haste cônica
3. Flange
4. Adaptador
5. Abertura oposta

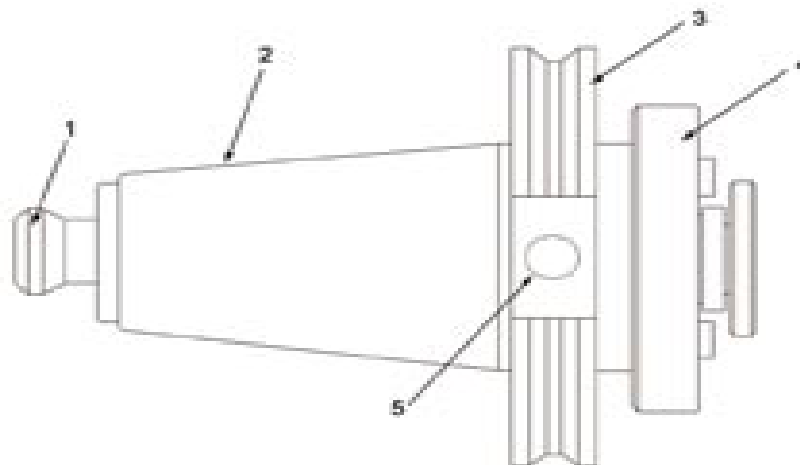


Figura 4 - Componentes Básicos. Foto CD Total Tooling Port – 2005

Fonte: Sanches Blanes, (2005)

2.8.1 Haste Cônica

A Norma define seis dimensões básicas de hastes cônicas, incluindo n°30, n°35, n°40, n°45, n°50, e n°60.

A Haste Cônica adequada para o Tipo de Máquina

N°60 Máquinas muito grandes

N°50 Máquinas de tamanho médio

N°40 Máquinas pequenas

N°30 Máquinas muito pequenas

2.9 TIPOS DE FLANGES

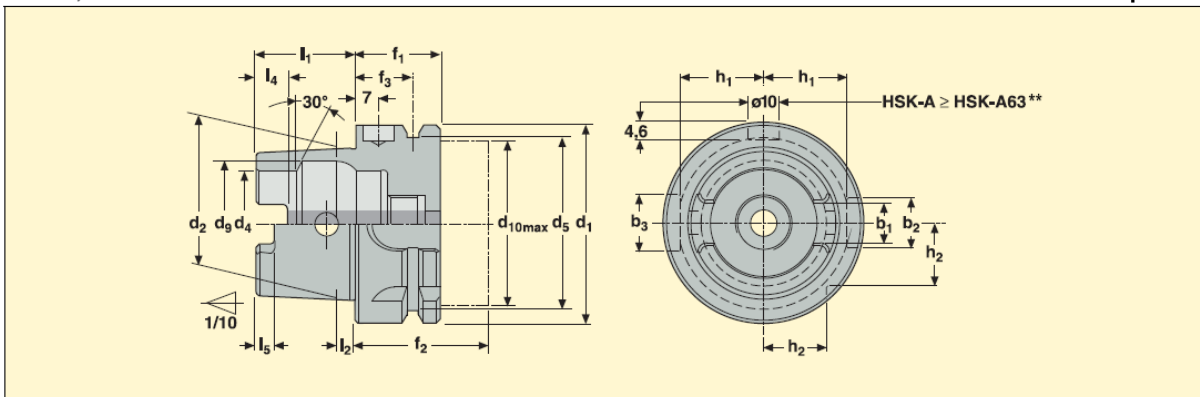
O flange permite que o porta-ferramentas seja seguro pelo prendedor de ferramenta ou pelo fuso da máquina. Há quatro tipos de flanges normalmente utilizados: Flange V, Flange BT, Flange HSK-A e HSK-E e Flange DIN2080, conforme demonstrado na figura 5.

Os porta-ferramentas de flange BT tem roscas métricas para o pino de tração, porém seus adaptadores podem ser projetados para alojar uma grande faixa de ferramentas de corte dimensionadas em polegadas. Os porta-ferramentas com flange BT são extensamente utilizados em centros de usinagem fabricados no Japão e na Europa.

Fonte: (DORMER, 2008)

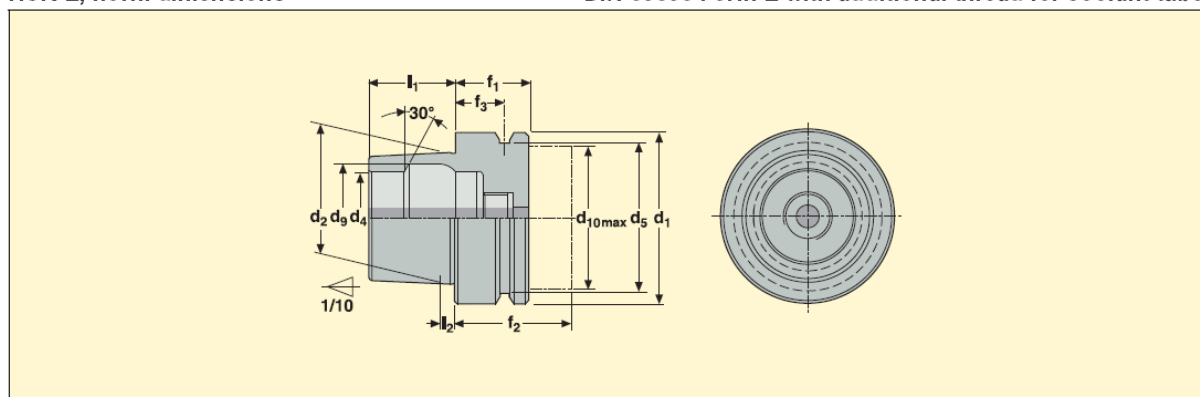
HSK-A, norm dimensions

ISO 12164-1 Form A/ DIN 69893 Form A compatible



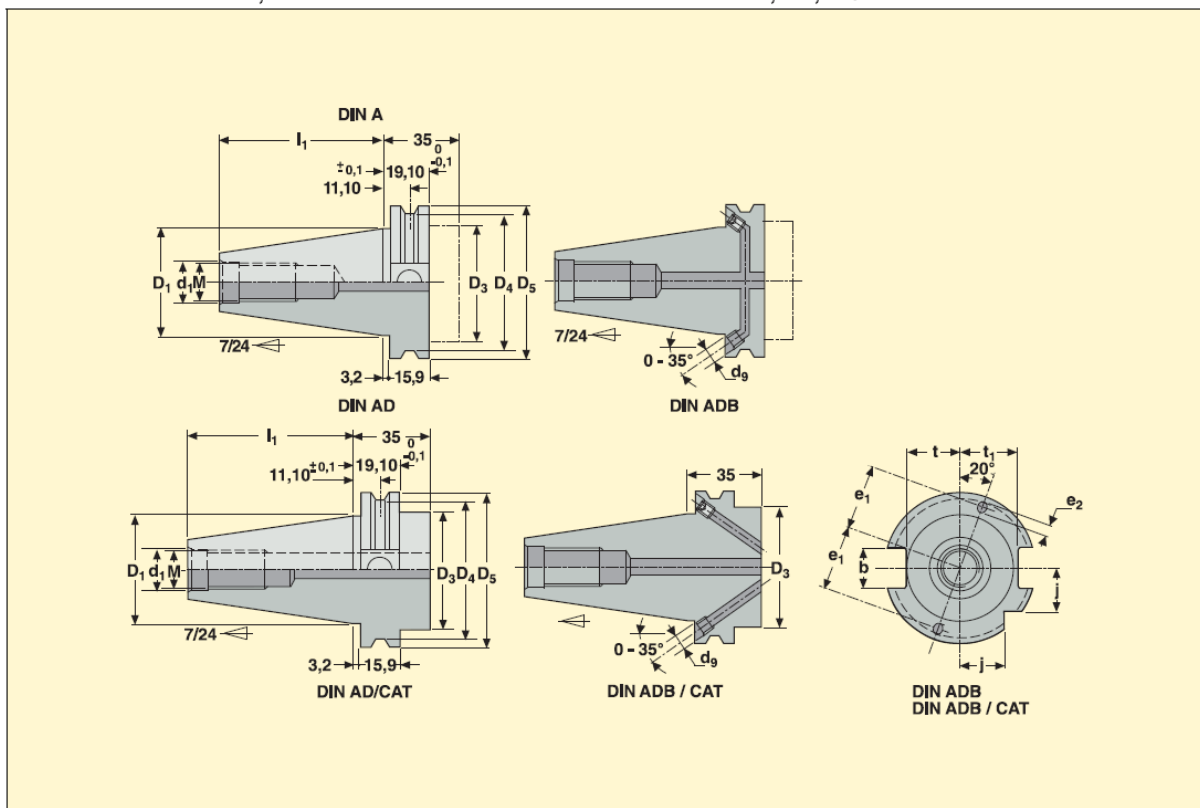
HSK-E, norm dimensions

DIN 69893 Form E with additional thread for coolant tube



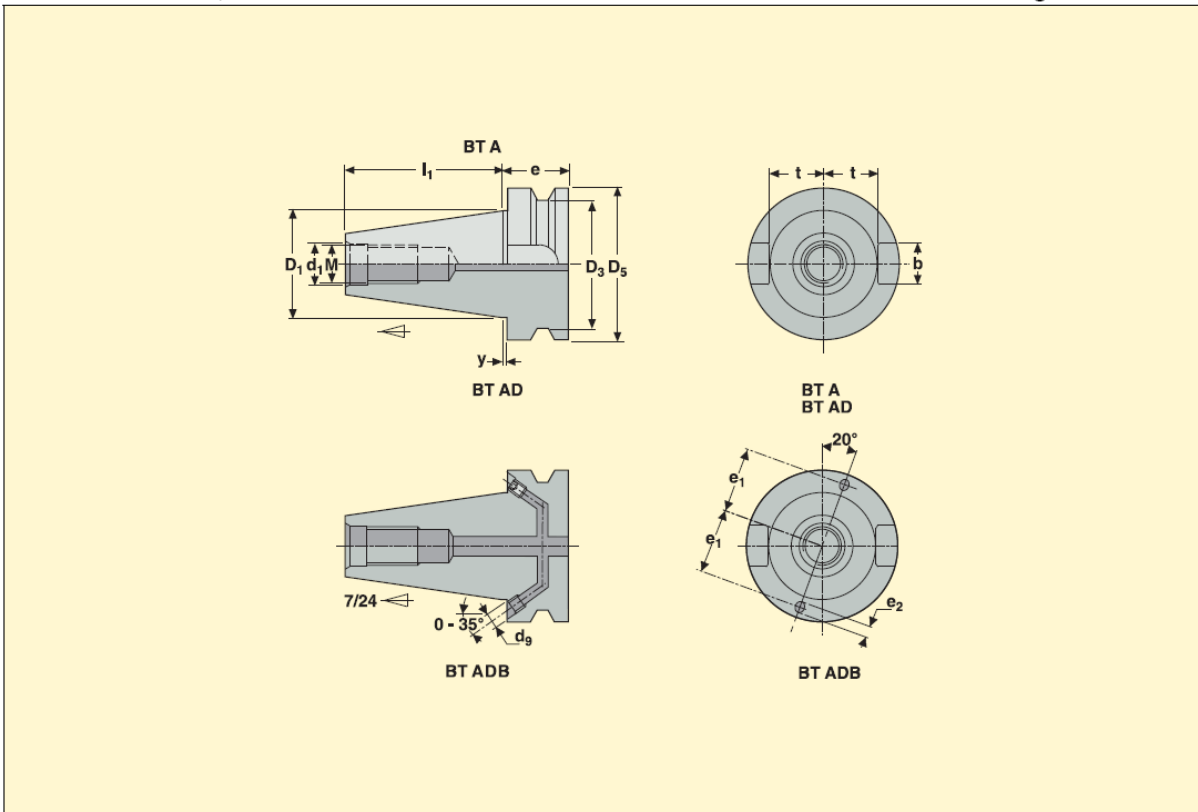
DIN 69871-A/AD/B/ADB, norm dimensions

DIN 69871 Form A, AD, B and ADB/ NF-E 62-540/ ISO 7388



BT JIS-A/AD/B/ADB, norm dimensions

JIS B 6339/ BT with coolant through A/AD/B/ADB



DIN 2080, norm dimensions

DIN 2080/ NF-E-60-024/ ISO 297

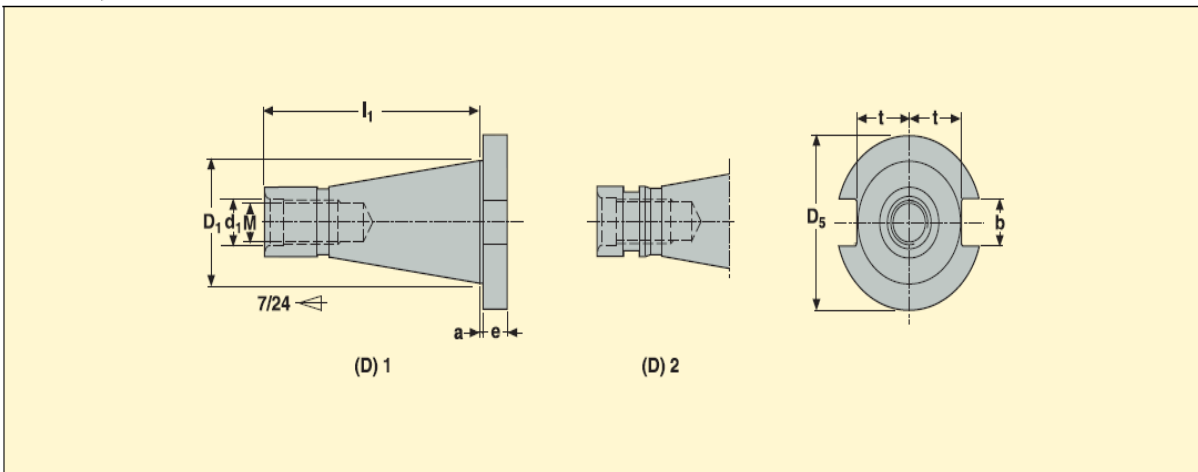


Figura 5 – Tipos de Flanges. Catálogo MN2008-Tooling.

Ing – 2008

Fonte: Seco, (2008)

2.10 PINO DE TRAÇÃO

O pino de tração permite que a barra de tração (A) do fuso puxe o mandril firmemente para dentro do fuso e o libere automaticamente. Os pinos de tração (B) são confeccionados em vários estilos e dimensões. Não são necessariamente intercambiáveis. Utilizar somente os pinos de tração que são especificados pelo fabricante da máquina-ferramenta.

- A - Barra de tração com trava
- B - Pino de tração
- C - Fixação
- D - Liberação

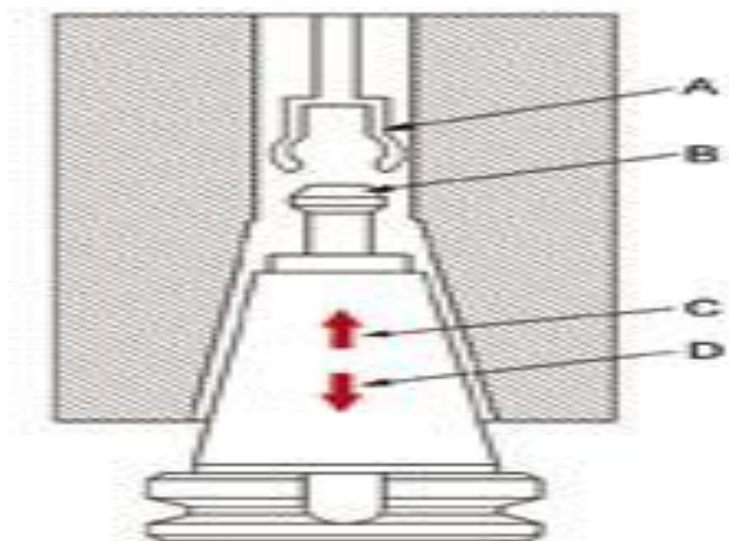


Figura 6 - Tipos de Flanges. Foto CD Total Tooling Port – 2008

Fonte: Sanches Blanes, (2008)

2.11 FRESAMENTO DE AÇOS PARA MOLDES E MATRIZES.

Na construção de moldes e matrizes pelo processo de fresamento são, normalmente, utilizadas fresas de topo. Estas ferramentas proporcionam a execução de superfícies de formas complexas, rasgos e cortes de diferentes tipos e tamanhos. A versatilidade das fresas de topo está relacionada ao fato de estas possuírem arestas de corte tanto na sua periferia quanto no topo. A aresta lateral pode ser reta ou cônica e o topo pode ser reto, toroidal ou esférico.

Construtivamente, as fresas de topo podem ser sólidas, com pastilhas soldadas ou com pastilhas intercambiáveis (SANDVIK, 2006). A figura 7 demonstra alguns exemplos de fresas de topo.



Figura 7 - Tipos de Fresas de Topo.

Fonte: Sandvik, (2006)

Normalmente, o fresamento concordante é mais favorável do que o discordante. No fresamento discordante, devido à menor espessura de corte na entrada da ferramenta, a pressão específica de corte torna-se maior e, conseqüentemente, o calor gerado também aumenta. A vida útil da ferramenta, nestas condições de corte, torna-se menor, podendo chegar a uma redução de 50%.

Fonte: (SANDVIK, 2006)

Ainda, no fresamento discordante, as forças radiais também são consideravelmente maiores, o que promove um efeito negativo nas vibrações e na vida do eixo-árvore da máquina-ferramenta (SANDVIK, 2006; KANG et al. 2001; SCHULZ, 1995).

Ferramentas esféricas e toroidais produzem um cavaco duplamente curvado, conforme a figura 8. Com as ferramentas esféricas e uma superfície usinada perpendicular ao eixo da fresa, a velocidade de corte no centro da ferramenta é zero e a espessura de corte é muito pequena. Estas características causam lascamentos na aresta de corte e, conseqüentemente, a deterioração na qualidade da superfície da peça. Entretanto, na maioria das usinagens com essas ferramentas, as superfícies geradas não são perpendiculares ao eixo da fresa.

Com paredes inclinadas ou curvadas, o problema relacionado com a velocidade de corte é reduzido, pois o diâmetro efetivo de corte é aumentado (KANG et al., 2001; SCHULZ, 1995).

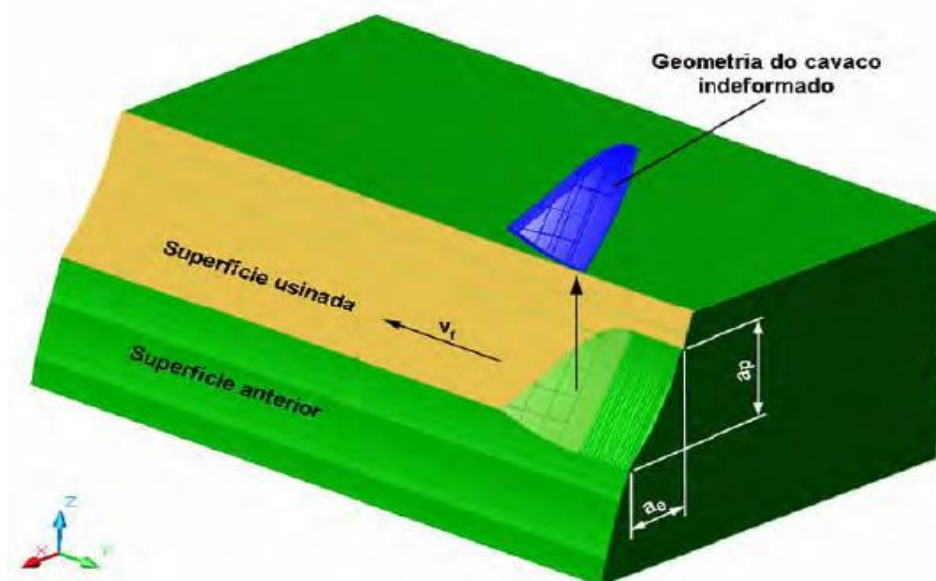


Figura 8 - Geometria do corte com ferramenta esférica ou toroidal.

Fonte: Oliveira, (2007)

O tempo de vida da ferramenta é outro importante fator no processo de desbaste e acabamento dos moldes e matrizes. A determinação de parâmetros de usinagem e sistemas de fixação das mesmas, deve ser adequados para que não ocorra troca de ferramenta durante a operação de desbaste e acabamento. Caso isto não seja possível, pequenas diferenças na nova montagem, normalmente, promovem marcas na superfície usinada. Assim, o melhor procedimento diante desta situação é repassar, com a nova ferramenta, toda a superfície usinada com a ferramenta anterior.

Outro ponto a ser destacado é que o desgaste e as avarias nas ferramentas não tornem a geometria menos precisa e/ou aumentem a rugosidade (LACALLE et al., 2002a).

O tempo de usinagem pode ser o fator decisivo para a tomada de decisão entre a utilização de ferramentas sólidas ou de pastilhas intercambiáveis no Fresamento com Alta Velocidade, bem como o sistema de fixação da ferramenta utilizado. Segundo Lacalle et al. (2002a), a utilização de ferramentas sólidas proporciona uma maior vida de ferramenta quando comparadas com pastilhas intercambiáveis. Entretanto, outros aspectos devem ser considerados na escolha da opção a ser utilizada: a utilização de pastilha intercambiável promove um menor custo e a troca da ferramenta é mais rápida; a utilização de ferramenta sólida aumenta a rigidez e facilita o balanceamento do conjunto de fixação de ferramentas, indispensável com elevadas rotações; com a utilização de ferramenta sólida, necessita-se a reafiação e nova deposição de cobertura, com o objetivo de minimizar os custos.

A figura 9 demonstra um estudo de viabilidade econômica da reafiação de ferramentas sólidas quando comparadas à utilização de pastilhas intercambiáveis. O estudo demonstra a necessidade de, no mínimo, quatro reafiações para que seja economicamente viável a utilização de ferramenta sólida em substituição à utilização de pastilha intercambiável.

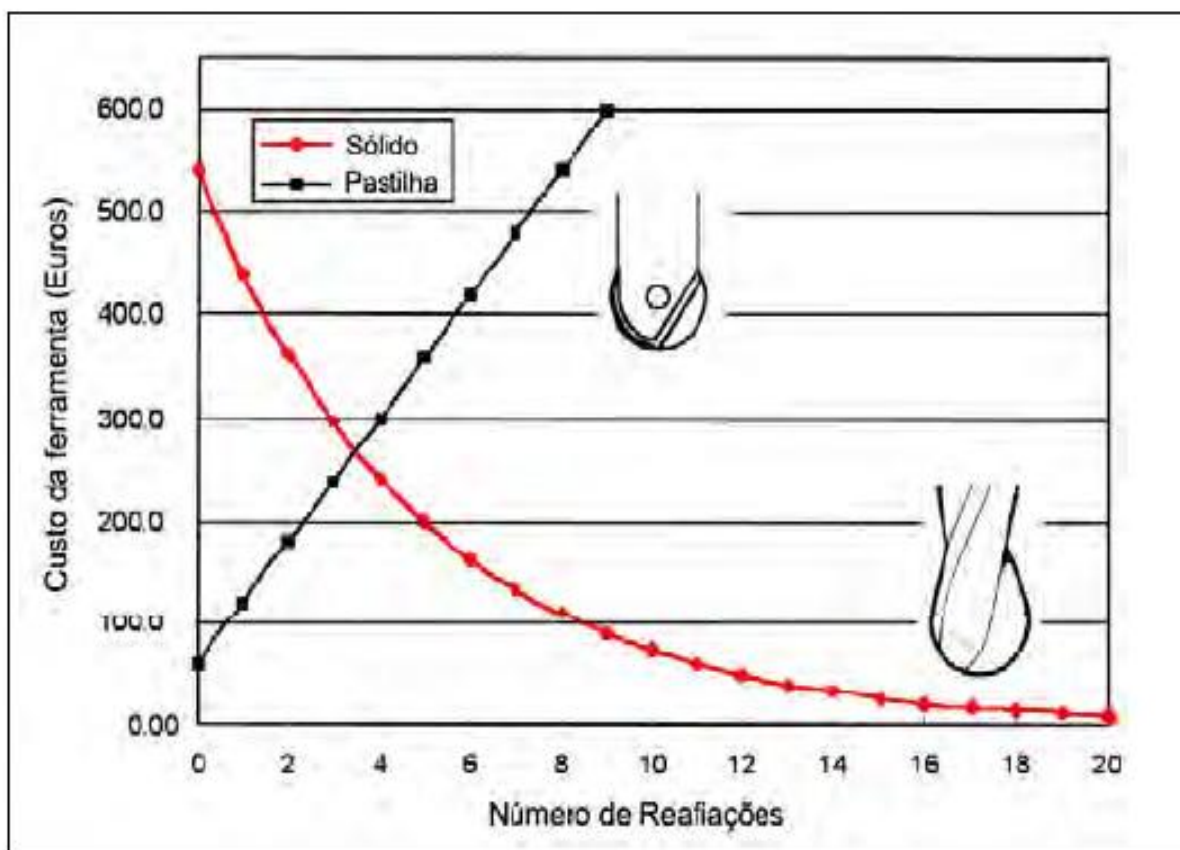


Figura 9 – Viabilidade econômica para reafiações de ferramentas integrais.

Fonte: LACALLE et al., (2002)

Normalmente, as ferramentas esféricas e toroidais de reduzidos diâmetros (menores do que 8 mm), utilizadas no acabamento de superfícies complexas com pequenos raios nos cantos, são sólidas devido à ausência de ferramentas com pastilhas intercambiáveis nestas dimensões. Com a utilização de reduzidos diâmetros e de relativos longos comprimentos em balanços, o problema passa ser a baixa rigidez. As forças de corte causam deflexão nas ferramentas, promovendo erros geométricos e redução na qualidade superficial da peça e na vida das ferramentas. A capacidade de prever as forças de corte e determinar os melhores parâmetros de usinagem nestas aplicações torna-se indispensável para a viabilidade do fresamento com ferramentas de reduzidos diâmetros, objetivando manter tolerâncias

dimensionais, de forma e posição aliadas com a produtividade (IKUA et al., 2001; LIM e MENQ, 1997).

Mas não é apenas nas operações de acabamento que os problemas da Usinagem com Alta Velocidade estão concentrados. Como, em muitos casos, a usinagem dos moldes e matrizes utiliza como forma básica blocos de material no estado endurecido, deve-se remover uma grande quantidade de material nas operações de desbaste.

Um ponto a ser destacado é se o desbaste da peça deve ser realizado com material no estado endurecido, ou, antes do tratamento térmico. Do ponto de vista de tempo de usinagem, a remoção do material no estado endurecido necessita um maior tempo quando comparada à realização da usinagem antes do tratamento térmico. Este fato está relacionado à determinação de parâmetros de usinagem mais agressivos diante da usinagem do material antes do tratamento térmico. Entretanto, ao se realizar desbaste e acabamento no estado endurecido, uma preparação da máquina é eliminada (ALTAN, LILLY e YEN, 2001). Esta opção, além de minimizar o tempo de preparação de máquina, reduz também a cadeia do processo e facilita a obtenção de reduzidas tolerâncias de forma e de posição.

2.12 SUBSTRATO NO METAL DURO.

O metal duro pertence à classe dos materiais duros, resistentes ao desgaste e refratários, no qual partículas de carbonetos duros são aglomerados com metal dúctil. Este material foi desenvolvido no final da década de 1920, na Alemanha, em resposta à demanda de substituição de dispendiosas matrizes de estiramento, projetadas em diamante natural, para filamentos de tungstênio.

O metal duro desenvolvido para esta aplicação era composto de carboneto de tungstênio aglomerado com cobalto (WC-Co). Após esta aplicação do metal duro, utilizou-se este material em ferramentas de usinagem, em uma ampla variedade de peças submetidas ao desgaste além de em componentes de máquinas e mineração (UPADHYAYA, 1998).

Tabela 2 - Propriedades dos carbonetos utilizados no metal duro.

Carboneto	Microdureza [HV ₅₀]	Ponto de Fusão [°C]	Densidade [g/cm ³]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Exp. Térmica [μm/mK]
TiC	3000	3100	4,94	451	7,7
VC	2900	2700	5,71	422	7,2
HfC	2600	3900	12,76	352	6,6
ZrC	2700	3400	6,56	348	6,7
NbC	2000	3600	7,80	338	6,7
Cr ₃ C ₂	1400	1800	6,66	373	10,3
WC	2200	2800	15,7	696	5,2
Mo ₂ C	1500	2500	9,18	533	7,8
TaC	1800	3800	14,50	285	6,3

Fonte: EXNER, (1979)

Segundo Exner (1979), considerando as propriedades do carboneto de tungstênio (WC), não é obvio o motivo pelo qual é o carboneto mais utilizado na composição do metal duro. Entre as propriedades descritas, a microdureza do carboneto é de fundamental importância para resistência ao desgaste abrasivo. Com exceção dos carbonetos de tântalo (TaC), carboneto de cromo (Cr₃C₂) e carboneto de molibdênio (Mo₂C), o carboneto de tungstênio (WC) apresenta valor de microdureza inferior aos demais.

Outro detalhe importante é que a estrutura cristalina do carboneto de tungstênio (WC) é anisotrópica, e o valor de microdureza apresentado na tabela refere-se ao maior valor. Por outro lado, o carboneto de tungstênio (WC) apresenta uma menor taxa de redução de microdureza com o aumento da temperatura quando comparado aos carbonetos de titânio (TiC), zircônio (ZrC), háfnio (HfC), vanádio (VC), nióbio (NbC) e tântalo (TaC). Outras características que tornam viável a aplicação do carboneto de tungstênio (WC) na usinagem são: o elevado módulo de elasticidade e a alta condutividade térmica.

A quantidade de aglomerante tem grande influência nas propriedades do metal duro. A tabela 3 demonstra algumas propriedades de um metal duro com carboneto de tungstênio e como aglomerante o cobalto (WC-Co).

Tabela 3 - Influência da quantidade de aglomerante nas propriedades do metal duro.

Composição [% massa]	Microdureza [HR_A]	Densidade [g/cm^3]	Resistência Cisalhamento [MPa]	Módulo de Elasticidade [GPa]	Coefficiente de Exp. Térmica [$\mu m/mK$]
97WC – 3Co	92,5 – 93,2	15,3	1590	641	4,0
94WC – 6Co	91,7 – 92,2	15,0	2000	614	4,3
90WC – 10Co	90,7 – 91,3	14,6	3100	620	5,2
84WC – 16Co	89	13,9	3380	524	5,8
75WC – 25Co	83 - 85	13,0	2250	483	6,3

Fonte: SANTHANAM, TIERNEY e HUNT, (1990)

Outro aspecto de grande importância nas propriedades do metal duro é o tamanho de grão. Redução no tamanho do grão do carboneto de tungstênio (WC) abaixo de $1\mu m$ possibilita um incremento na microdureza, na resistência ao desgaste abrasivo e na resistência à compressão e ao cisalhamento.

Ferramentas de usinagem e componentes com menor tamanho de grão também proporcionam melhoria na tenacidade com a mesma quantidade de aglomerante. Uma classificação coerente do tamanho de grão dos carbonetos é a seguinte: submicron, tamanho de grão entre $0,5$ e $1\mu m$; ultrafino, com tamanho de grão menor que $0,5\mu m$; e nanogrão, com tamanho de grão menor que $10^{-6} m$ (UPADHYAYA, 1998).

O metal duro formado por carboneto de tungstênio e cobalto (WC-Co) possibilita uma eficiente usinagem dos ferros fundidos e ligas não-ferrosas, mas quando é utilizado para usinagem de aços é fortemente submetido à difusão. Segundo Trent e Wright (2000), átomos de tungstênio e carbono do material da ferramenta são difundidos no material da peça, o qual passa sobre a superfície de saída na forma de cavaco, que conduz as partículas da ferramenta para fora da região de corte. Este fenômeno causa a formação de uma cratera na superfície de saída da ferramenta e pode ocasionar a quebra na aresta de corte.

A adição de carbonetos de titânio (TiC) e de carboneto de tântalo (TaC) ao metal duro se mostra eficiente no aumento da resistência à difusão. Entretanto, a adição destes elementos causa a fragilização do metal duro e, por este motivo, é geralmente mantida em níveis inferiores a 15% em massa. A adição do carboneto de tântalo (TaC), do carboneto de nióbio (NbC) e do carboneto complexo (Ti, Nb)C melhora a resistência ao choque térmico, função

de grande importância em aplicações envolvendo o corte interrompido (SANTHANAM, TIERNEY e HUNT, 1990).

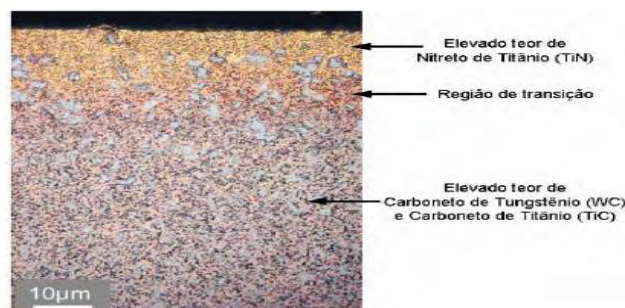


Figura 10 - Micrografia do metal duro com gradiente funcional.

Fonte: Lengauer e Dreyer, (2002)

2.13 TRATAMENTO DO SUBSTRATO PARA DEPOSIÇÃO DA COBERTURA.

O desempenho de diferentes coberturas, depositadas em substratos de metal duro e/ou cermet, pode ser otimizado com o auxílio de tratamentos mecânicos e/ou químicos do substrato antes da deposição. O tratamento do substrato tem como principal objetivo melhorar a adesão da cobertura no substrato, evitando a redução na vida da ferramenta devido à baixa coesão, ou mesmo, o deslocamento da cobertura (TÖNSHOFF e MOHLFELD, 1998).

Polini (2006) e Bouzakis et al. (2001) descrevem diferentes processos para tratamento do substrato com o objetivo de melhorar a adesão de coberturas em ferramentas de usinagem, tais como, retificação, polimento, jateamento com micropartículas ou com água sob elevadas pressões e ataques químicos com ácidos.

O processo de retificação de ferramentas de usinagem tem como objetivo principal definir a macrogeometria da ferramenta e a microgeometria da aresta de corte, além da redução da rugosidade. Entretanto, é caracterizado por induzir elevados valores de deformação plástica e pela remoção de carbonetos da superfície do material. Por estes motivos, outros processos de tratamento de superfície são, normalmente, realizados após a retificação. O jateamento com micropartículas e com água em elevada pressão são amplamente utilizados com a finalidade de remover o aglomerante da superfície do material. Como o cobalto e o níquel são dúcteis quando comparados aos carbonetos presentes nos materiais de ferramenta, a remoção superficial do aglomerante expõe os carbonetos, fato que contribui fortemente para a adesão das coberturas (BOUZAKIS et al., 2001).

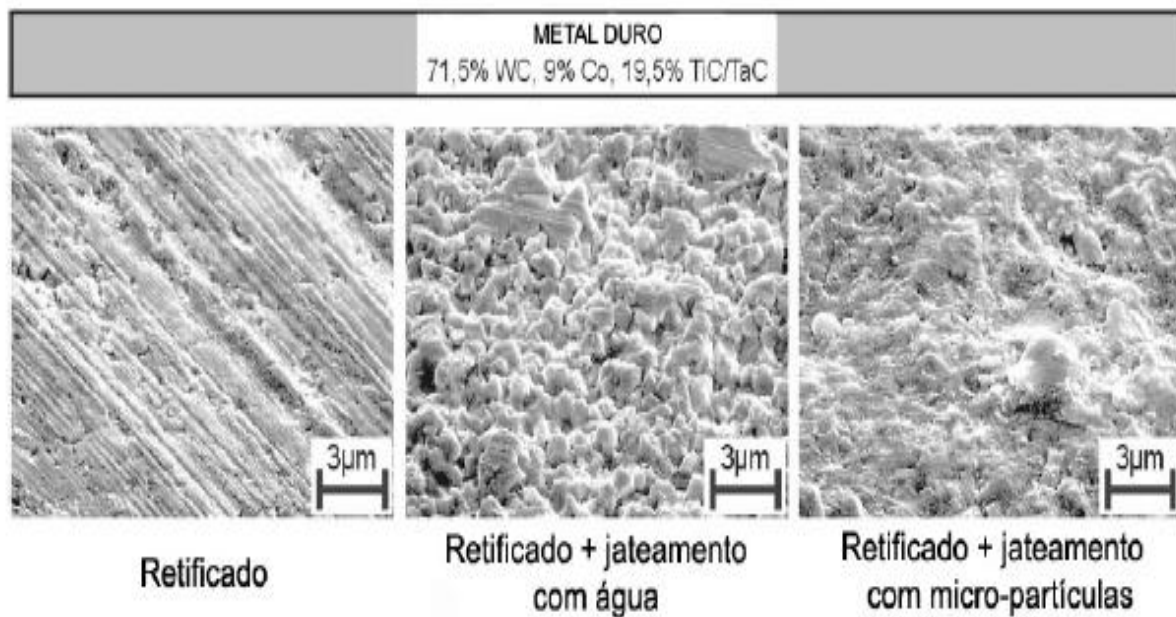


Figura 11 - Tratamentos de superfície no substrato de metal duro.
 Fonte: TÖNSHOFF, et al., (1999)

2.14 ESTRUTURA DA MÁQUINA FERRAMENTA.

O projeto de máquinas ferramentas para Usinagem com Alta Velocidade necessita de componentes leves, mas com suficiente rigidez dos componentes estruturais e das propriedades de amortecimento de vibrações.

Uma das ferramentas utilizadas para a otimização no projeto das máquinas-ferramentas é a Análise por Elementos Finitos, usada para calcular a rigidez estática e as características dinâmicas da máquina-ferramenta, como, por exemplo, a frequência natural. Este recurso possibilita que o projeto encontre as melhores formas para determinadas restrições e minimize as massas de componentes móveis da máquina-ferramenta com o objetivo de aumentar a capacidade de aceleração e de posicionamento. Outro ponto relevante para a utilização deste método é a minimização do tempo e dos custos na construção de protótipos físicos, além da realização de extensos testes para detecção de pontos de melhoria no projeto (ALTINTAS et al., 2005). A figura 12 mostra as análises estáticas e dinâmicas pelo Método de Elementos Finitos da estrutura de uma máquina-ferramenta.

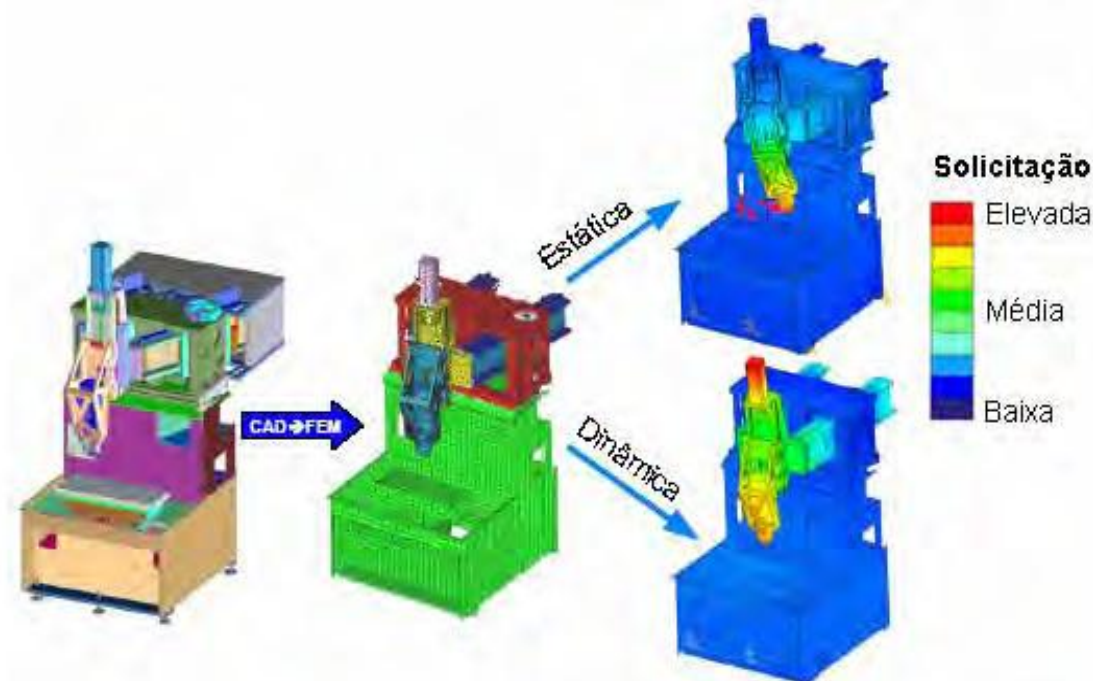


Figura 12 - Análise da estrutura de uma máquina-ferramenta.

Fonte: adaptado de ALTINTAS et al., (2005)

As deformações nas estruturas das máquinas-ferramentas devido às forças de corte e aos carregamentos estruturais, durante os ciclos de movimento, influenciam na qualidade das peças produzidas e causam vibrações. Uma forma simples para reduzir as deformações é o emprego de estruturas mais robustas. Entretanto, esta alternativa promove o aumento de massa e, conseqüentemente, a necessidade de maiores motores, rolamentos e guias. Os requisitos de alta rigidez com boas propriedades de amortecimento de vibrações podem ser satisfeitos com o emprego de compósitos poliméricos reforçados com fibras (DEWES e ASPIWALL, 1997).

Estudos também se concentram na alteração conceitual da estrutura das máquinas-ferramentas. Normalmente, máquinas-ferramentas têm uma estrutura de cinemática serial, ou seja, uma estrutura na qual os eixos da máquina-ferramenta se deslocam por planos ortogonais. Uma alternativa à estrutura de cinemática serial é a estrutura de cinemática paralela. Nesta estrutura, o eixo-árvore é fixado por acionadores lineares os quais, por sua vez, são ligados a uma plataforma. Em função do deslocamento de cada acionador linear, o eixo-árvore pode ser orientado em diferentes posições no espaço. A estrutura de cinemática paralela é de grande interesse para o Fresamento com Alta Velocidade devido ao alto potencial de aceleração e desaceleração além dos graus de liberdade (TERRIER, DUGAS e

HASCOËT, 2004). Weak e Staimer (2002) discorrem sobre as características das diferentes configurações possíveis para as máquinas-ferramentas de cinemática paralela, sistemas híbridos e exemplos de aplicações na indústria aeroespacial e automotiva, destacando o potencial futuro deste conceito de projeto.

Terrier, Dugas e Hascoët (2004) realizaram comparações de fresamento de geometrias complexas entre quatro máquinas-ferramentas com estrutura de cinemática serial e outras quatro com estrutura de cinemática paralela. Utilizando a mesma geometria de corpo-de-prova e os mesmos parâmetros de usinagem em todos os casos, levaram em conta para a comparação o tempo total de usinagem e a precisão da geometria. Os resultados mostram que algumas máquinas-ferramentas de cinemática paralela proporcionam o mesmo nível de qualidade e o mesmo tempo de usinagem das máquinas-ferramentas de cinemática serial. Entretanto, este trabalho não detalha as especificações de cada máquina-ferramenta e os parâmetros de usinagem utilizados. Ainda, é importante ressaltar que os resultados obtidos são específicos para determinada geometria e que alterações nas formas do corpo-de-prova e dos parâmetros de usinagem podem modificar os resultados das comparações.

2.15 EIXO-ÁRVORE.

O eixo-árvore é um componente mecânico de elevada importância para a Usinagem com Altas Velocidades. Ele deve girar em diferentes rotações, fixar o porta-ferramenta e, conseqüentemente, a ferramenta de usinagem. A rigidez estática e dinâmica do eixo-árvore afeta diretamente a produtividade da máquina-ferramenta e a qualidade das peças usinadas. As características em um eixo-árvore dependem do dimensionamento do eixo, do motor, do sistema de fixação do mandril, do tipo e da configuração em que os rolamentos foram montados (MAEDA, CAO e ALTINTAS, 2005).

A diversidade de aplicações dos Centros de Usinagem em diferentes materiais e processos dificulta o projeto de um eixo-árvore que possa atuar com alto desempenho em todas as situações. Como resultado desta demanda, atualmente, os fabricantes de centros de usinagem oferecem essas máquinas com uma ampla gama de opções para eixo-árvore.

A figura 13 representa um eixo-árvore utilizado em Centros de Usinagem para Alta Velocidade. Segundo Popoli (1998), os principais requisitos no projeto de um eixo-árvore para um Centro de Usinagem incluem:

- a) estilo do eixo-árvore: motor integral ou transmissão por correias;
- b) rolamentos no eixo árvore: tipo, quantidade, montagem e método de lubrificação;

- c) motor: capacidade e tamanho;
- d) sistema de retenção do mandril e modelo utilizado;
- e) sistema de fixação do eixo-árvore;

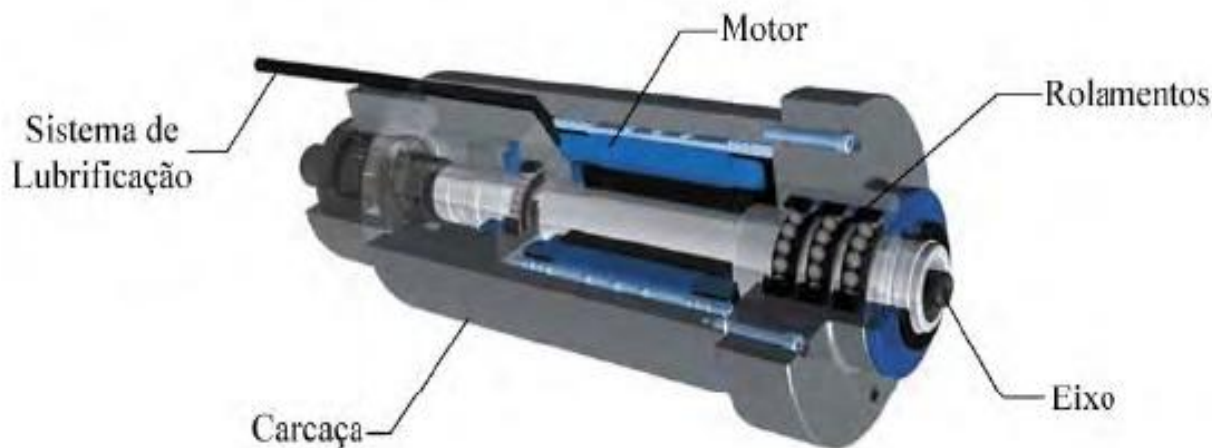


Figura 13 - Eixo-árvore para máquina-ferramenta.

Fonte: ROMI, (2005)

O acionamento do eixo-árvore com motor externo e utilização de correias tornou-se limitado em aplicações de Usinagem com Alta Velocidade. Este sistema apresenta baixo custo e ampla variedade de características, como potência e torque, devido à possibilidade de utilizar grandes motores. Por outro lado, este sistema apresenta limitação na máxima rotação, o que está relacionado aos seguintes fatores: o sistema de transmissão por correias e polias tem velocidade limite de operação, fato relacionado ao excessivo esticamento das correias em alta rotação; correias dentadas eliminariam este inconveniente, mas produzem níveis de vibração inaceitáveis; transmissões por engrenagens também possuem velocidade limite de operação, altos níveis de vibração e calor em altas rotações, inviabilizando sua aplicação (POPOLI, 1998). A utilização de motor como parte integrada ao eixo-árvore permite ao sistema funcionar em altas rotações como uma unidade sem as limitações impostas por transmissões com correias ou engrenagens.

A lubrificação dos rolamentos de eixos-árvore com a utilização de elevadas rotações também se torna um ponto crítico. Quando a quantidade é insuficiente, a lubrificação do rolamento se torna inadequada e causa problemas de elevação da temperatura no eixo-árvore. Portanto, a lubrificação reduz o coeficiente de atrito devido à formação de um filme entre as esferas (ou rolos) e a pista do rolamento, fato que, conseqüentemente, diminui a temperatura e

evita o contato de metal com metal. Assim, a correta lubrificação proporciona um aumento na vida do eixo-árvore. Com a utilização de elevadas rotações, a lubrificação dos rolamentos com a técnica da Mínima Quantidade de Fluido é o sistema mais apropriado. Em elevadas rotações, a utilização de óleo e graxa como lubrificantes tende a ser dificultada devido à força centrífuga, que incentiva a saída do lubrificante dos componentes (WU e KUNG, 2005).

2.16 INTERFACES ENTRE EIXO-ÁRVORE E A FERRAMENTA.

Os resultados do Fresamento com Alta Velocidade dependem decisivamente da interface entre o eixo-árvore e a ferramenta, devido à rigidez da ferramenta durante o corte. Nesta região, estão o mandril e seu sistema de travamento, os quais operam sob difíceis condições. Esta interface é situada diretamente no fluxo da força entre máquina-ferramenta e peça. Normalmente, o projeto desta interface deve garantir rápida troca e alta precisão da ferramenta. Além destes requisitos, no Fresamento com Alta Velocidade, há novas demandas: pequeno erro de balanceamento; alta concentricidade; alta precisão geométrica e reduzidas forças centrífugas, influenciadas por menores dimensões radiais e massa do conjunto mandril e ferramenta (SCHULZ e MORIWAKI, 1992).

O mandril pode ser dividido em duas regiões distintas: a interface de fixação das ferramentas ou porta-ferramentas e a interface de travamento do mandril na máquina-ferramenta. A figura 14 demonstra alguns tipos de interface mandril e ferramenta ou porta-ferramenta.

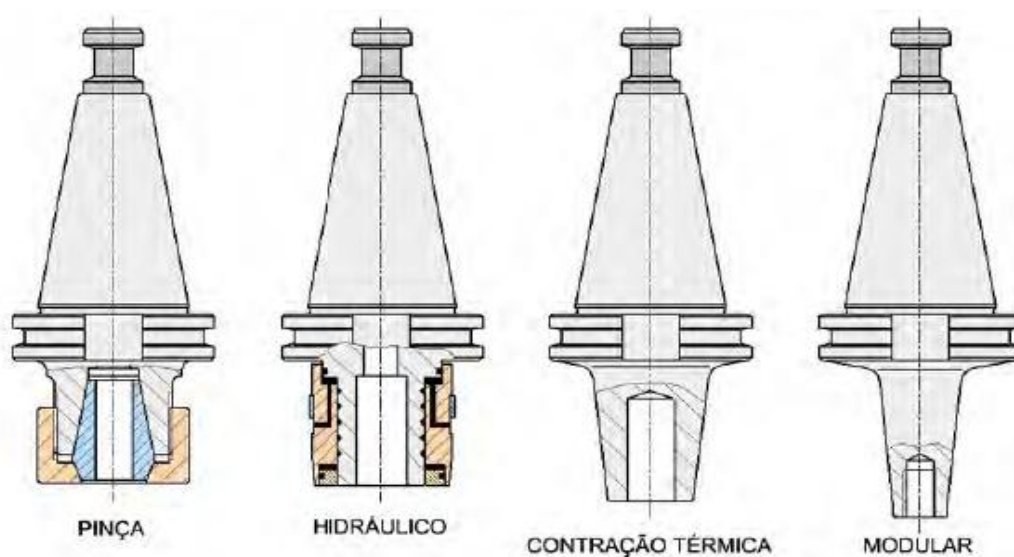


Figura 14 - Interface mandril e porta-ferramenta

A utilização de pinças para fixação de ferramentas foi lançada no mercado em uma época na qual as principais ferramentas utilizadas eram as de aço-rápido, ou seja, ferramentas que trabalhavam com baixas velocidades de corte. As utilizações dessas ferramentas não exigiam do sistema de fixação os valores de batimento radial e precisão que as atuais ferramentas requerem. Por exemplo, este sistema foi desenvolvido para fixar ferramentas com classe de tolerância da haste h7 ou superiores, ao passo que as atuais ferramentas de metal duro sólido são produzidas com tolerância h6 como padrão. Apesar de haver versatilidade na fixação de diferentes diâmetros de haste das ferramentas com apenas a troca de uma pinça, este sistema apresenta algumas desvantagens: escorregamento da haste das ferramentas no diâmetro interno da pinça; elevados valores de batimento radial para operações de Fresamento com Alta Velocidade e a inclinação da pinça devido às forças radiais de usinagem, o que causa aumento do batimento radial (SANTOS et al., 2003).

Uma segunda opção é o mandril de fixação hidráulica. Utilizando um parafuso no diâmetro externo ou pistão hidráulico, uma pressão uniforme é gerada em uma câmara e transmitida para uma luva de expansão, na qual, em seu diâmetro interno, fixa-se a ferramenta. Com este sistema de fixação, melhor batimento radial e precisão podem ser alcançados ao se comparar com a fixação por pinça. Além disso, como a ferramenta é fixada com a utilização de uma câmara hidráulica, o mandril oferece um melhor amortecimento de vibrações originadas durante o processo de usinagem. A troca da ferramenta é realizada de forma simples, soltando-se o parafuso ou diminuindo a pressão interna com o mesmo pistão hidráulico. Por outro lado, o mandril hidráulico não é recomendado para usinagens com elevadas forças radiais, devido a distorções na câmara hidráulica e, conseqüentemente, imprecisões dimensionais e redução na vida da ferramenta (BAIER, 2003b; KOCK, 2003).

O mandril de projeto modular permite montar diferentes geometrias de fresas como esférica, toroidal e de topo, soltando apenas o porta-ferramenta, o qual é fixado em sua extremidade, com uma chave fixa. Este sistema permite reduzir o investimento com ferramental, uma vez que é necessário comprar somente um mandril (SANDVIK, 2006). Entretanto, devido ao sistema de montagem rápida, os valores de batimento radial não são compatíveis com os sistemas de fixação hidráulica e contração térmica.

Na outra interface, a de travamento do mandril no eixo-árvore, com o objetivo de reduzir os efeitos das forças centrífugas em elevadas rotações, as máquinas-ferramentas apresentam diferentes formas de fixação.

Os fabricantes de máquinas-ferramentas utilizaram, por um longo período, interfaces de fixação do mandril no eixo-árvore com conicidade de 7/24. Estes mandris são conhecidos

como CAT ou BT, e apresentam uma ampla variedade de tamanhos. Com o aumento da máxima rotação disponível nas máquinas-ferramentas, tornou-se necessário aprimorar o projeto da interface deste mandril com o eixo-árvore (BAIER, 2003a).

Conforme demonstra a figura 15, com a utilização do mandril com conicidade 7/24 em elevadas rotações, o eixo-árvore expande mais do que o mandril, devido ao efeito da força centrífuga, originando um movimento axial no mandril, em consequência da força de fixação que é aplicada. Assim, esta deformação diminui a superfície de contato entre eixo-árvore e mandril, reduzindo a capacidade de transferência de torque. Além disso, a ferramenta pode trabalhar deslocada da linha de centro. Ao parar a rotação do eixo-árvore, em consequência da deformação, problemas podem ocorrer na retirada do mandril do eixo-árvore em função da existência de interferência entre as partes (SCHULZ e MORIWAKI, 1992). Por outro lado, a construção desta interface é simples, necessitando de estreitas tolerâncias somente no ângulo do cone.

Com o objetivo de evitar as inconveniências de precisão e de travamento do mandril em decorrência das altas rotações, projetou-se um mandril com duas regiões de contato. Isto permitiu ao mandril manter o contato cônico e adicionar uma nova área de contato entre uma face do mandril e uma face do eixo-árvore. A idéia de utilizar a face de contato é permitir um alto nível de rigidez estática, contato cônico e melhor controle do deslocamento axial nas ferramentas. Entretanto, manter o contato entre duas superfícies distintas de uma mesma peça (cone e flange) torna-se muito difícil devido às estreitas tolerâncias necessárias no processo de manufatura do mandril e do eixo-árvore (BAIER, 2003a).

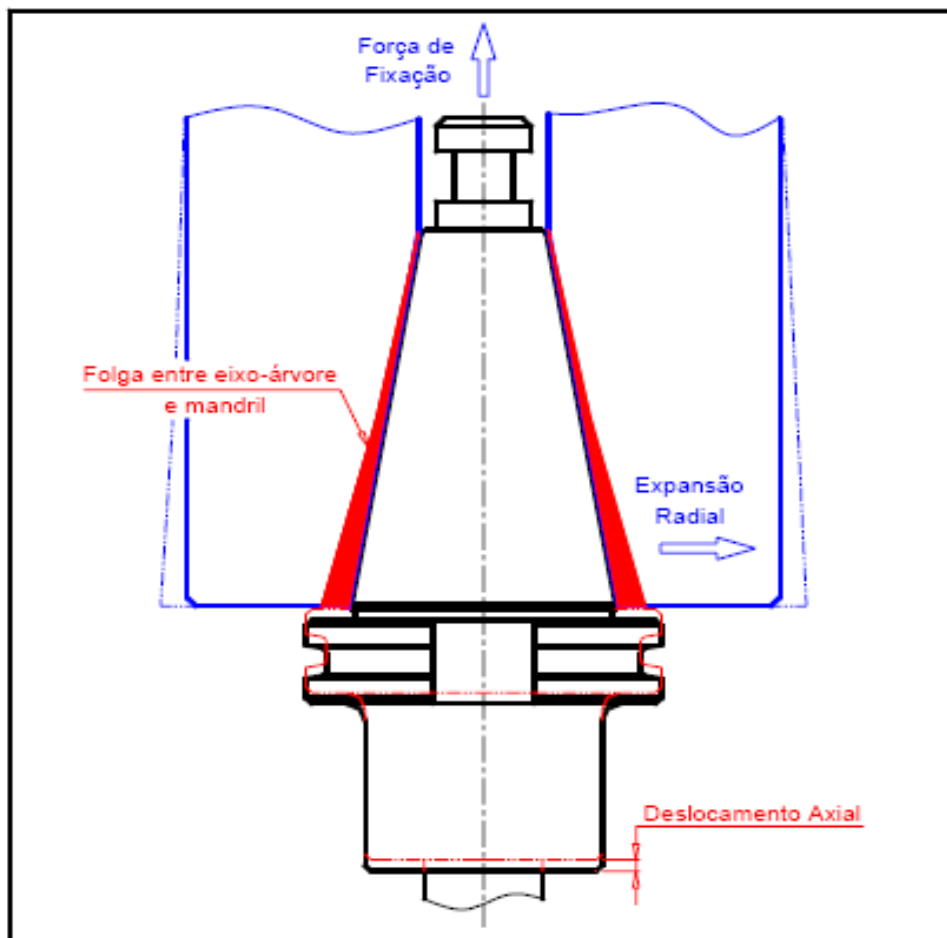


Figura 15 - Deformação no eixo-árvore influenciada pela força centrífuga

Fonte: ROMI, (2005)

2.17 TIPOS DE SISTEMAS DE FIXAÇÃO

Existem quatro tipos diferentes de sistemas de fixação para as ferramentas:

1. Mandril DIN 6388 e DIN 6499
2. Mandril Hidráulico
3. Encaixe por contração
4. Weldon e Whistle Notch (Lingüeta de arraste)



Mandril DIN 6388, DIN 6499	Mandril Hidráulico	Encaixe por contração
		
<p>Uma bucha metálica em torno da haste cilíndrica é apertada mediante uma porca.</p>	<p>Um mandril hidráulico utiliza um reservatório de óleo para equilibrar a pressão de fixação em torno da haste da ferramenta. Apertando um parafuso aumenta-se a pressão neste óleo, fazendo com que uma bucha de expansão prenda a haste da ferramenta.</p>	<p>Um mandril com encaixe por contração opera conjuntamente com um aquecedor especial. O mandril aproveita a dilatação e a contração térmica para prender a ferramenta. À temperatura ambiente, o furo no qual a ferramenta está montada é ligeiramente menor comparado com a haste da ferramenta. O aquecimento do mandril dilata este furo permitindo a inserção da ferramenta. Quando o mandril se esfria, o furo contrai-se em torno da ferramenta criando uma fixação concêntrica e rígida.</p>

Figura 16 - Tipos diferentes de Sistemas de Fixação.



Weldon, DIN 1835 B		Whistle Notch, DIN 1835 E		
				
Para mandris Weldon e Whistle Notch, um parafuso radial fica em contato com a ferramenta e a mantém no seu lugar. A ferramenta necessita ter uma área plana retificada na haste.				
Características	Pinças	Weldon Whistle Notch	Hidráulico	Ajuste por Contração
Usinagem	Fresamento (Rosqueamento) Furação Alargamento Perfuração	Fresamento (Rosqueamento) Furação Alargamento Perfuração	Fresamento Rosqueamento Furação Alargamento Perfuração	Fresamento Furação Alargamento Perfuração
Haste de Fresa de Topo	Haste comum HSS (DIN 1835A) Metal Duro (DIN 6535HA) Haste com rosca HSS (DIN 1835D)	Haste Weldon HSS (DIN 1835B) Metal Duro (DIN 6535HB) Whistle Notch HSS (DIN 1835E) Metal Duro (DIN 6535HE)	Haste comum HSS (DIN 1835A) Metal Duro (DIN 6535HA)	Haste comum HSS (DIN 1835A) Metal Duro (DIN 6535HA)
Concentricidade	Aprox. 25 microns para um porta-ferramentas e bucha de boa qualidade	Aprox. 10 microns	Aprox. 5 microns	Aprox. 4 microns
Rigidez	Boa	Muito boa	Razoável	Excelente

Figura 17 - Tipos diferentes de Sistemas de Fixação.

2.18 CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE FIXAÇÃO.

Tabela 4 - Características dos Sistemas de Fixação.

Características	Pinças	Weldon Whistle Notch	Hidráulico	Ajuste por Contração
Balaceamento	Existem diferentes tipos de pinças em relação à concentricidade	A geometria assimétrica cria desequilíbrio, porém os mandris são fabricados de forma que possam ser balanceados.	A geometria assimétrica cria desequilíbrio, porém os mandris são fabricados de forma que possam ser balanceados.	É o melhor – Sem parafusos ou outras características assimétricas, o porta-ferramentas é inerentemente bem balanceado.
Vibração	Sem vantagens	Sem vantagens	O reservatório de fluido poderá oferecer alguma capacidade para amortecer as vibrações	Sem vantagens
Facilidade de uso	Baixa – a precisão depende do operador	Boa	Melhor – a precisão é consistente, mas o mecanismo de fixação é facilmente danificado.	Elevada – operadores com pouca habilidade podem utilizá-lo eficientemente
Custo	Normal	Normal	Mais caro	Os porta-ferramentas são baratos, mas a necessidade de um aquecedor significa que há um elevado custo inicial.

2.19 BALANCEAMENTO DO SISTEMA DE PORTA-FERRAMENTAS/FRESA.

O desequilíbrio ocorre quando o centro da massa e o centro geométrico não coincidem entre si.

O valor do desequilíbrio é expresso como:

$$U = m * r$$

$$e = \frac{U}{M} = \frac{m * r}{M}$$

$$G = \frac{e * 2 * \pi * n}{60.000}$$

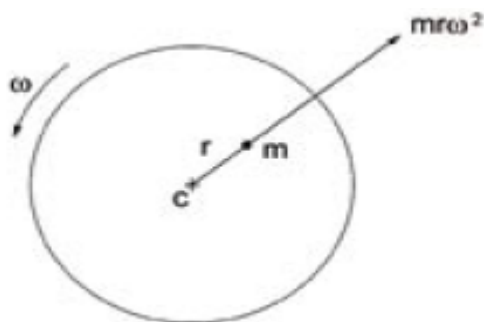


Tabela 5 - Simbologia do Sistema de Balanceamento.

Quantidade	Símbolo	Unidade
Limite de desbalanceamento específico	e	gmm/Kg
Código da Classe do Equilíbrio	G	mm/s
Massa desequilibrada	m	g
Velocidade angular constante	ω	rad/s
Massa do rotor	M	Kg
Distância da massa desequilibrada até a linha de centro	r	mm
Limite de desbalanceamento total	U	gmm
Velocidade de rotação	n	rpm

2.20 QUALIDADE DO BALANCEAMENTO COM BASE EM TABELAS PADRONIZADAS.

A classe de Qualidade G (as linhas inclinadas no diagrama abaixo) refere-se à velocidade máxima de rotação da superfície (eixo X) com relação ao desbalanceamento específico permissível e (eixo Y).

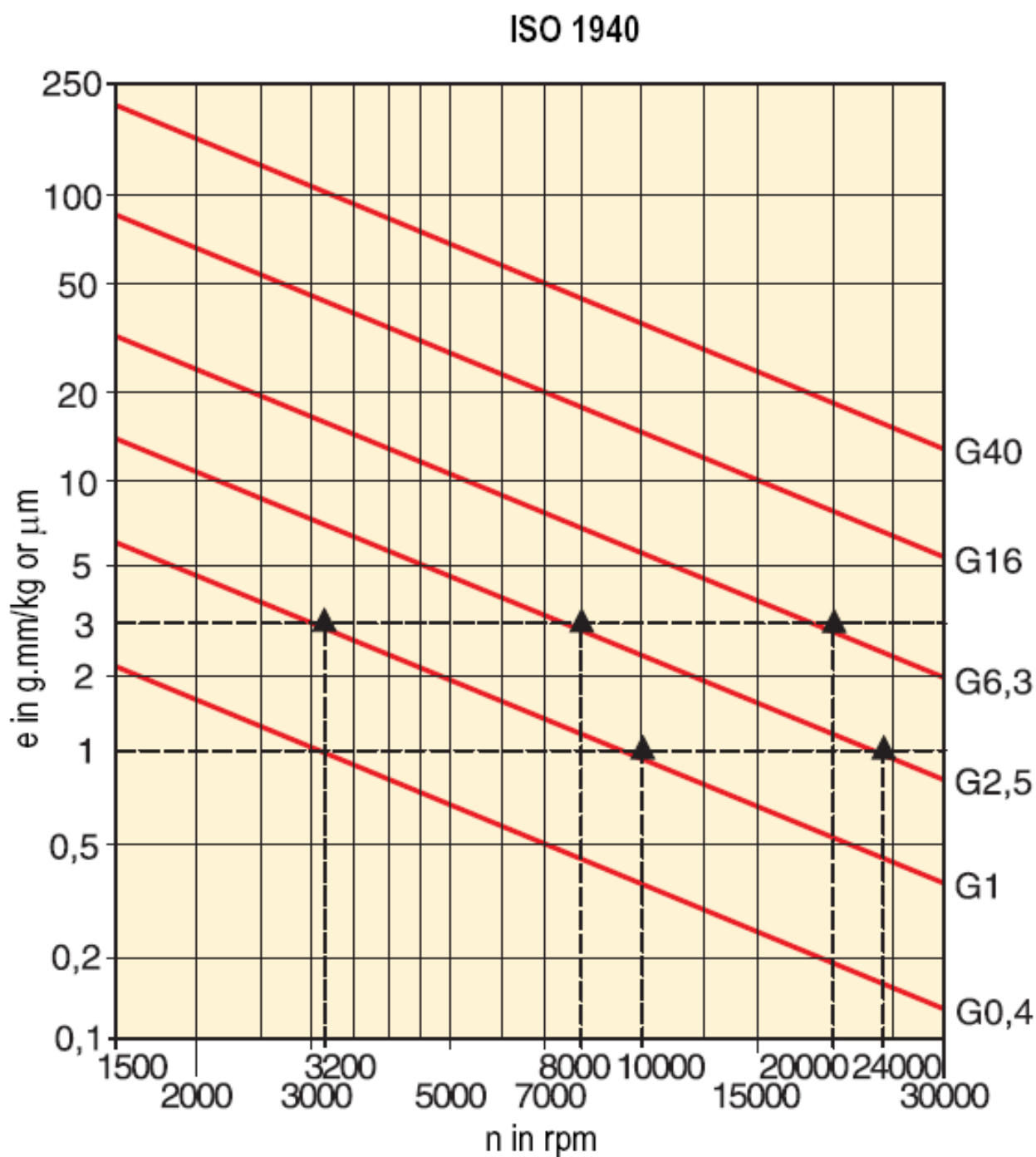


Figura 18 - Qualidade do Balanceamento.

Fonte: SECO, (2009)

Para uma classe específica quando a velocidade de rotação da fresa aumenta, o desbalanceamento permissível diminui.

As classes de qualidade de equilíbrio são diferenciadas entre si mediante um fator 2,5.

Foram desenvolvidas algumas normas com relação a isto. ISO 1940-1:2003 dá especificações para rotores num estado constante (rígido). Especifica as tolerâncias de equilíbrio, o número necessário de planos de correção, e os métodos para verificar os desequilíbrios residuais.

Também são dadas recomendações concernentes às exigências de qualidade do balanceamento para rotores num estado rígido, de acordo com o tipo de máquina e velocidade periférica máxima. Estas recomendações têm base em experiências mundiais.

A ISO 1940-1:2003 também é dedicada a facilitar as relações entre o fabricante e o usuário de máquinas rotativas, determinando critérios de aceitação para a verificação do desbalanceamento residual.

A consideração detalhada de erros associados com balanceamento e verificação de desbalanceamentos residuais é dada em ISO 1940-2.

Geralmente o balanceamento do porta-ferramentas é executado sem a ferramenta e verificado com a mesma.

É necessário saber a classe “G” em que o porta-ferramentas foi balanceado e a que velocidade (rpm). Estas duas variáveis definem o máximo deslocamento/vibração permissível do centro de massas. Quanto mais elevada a velocidade, menor deve ser o deslocamento/vibração para uma determinada classe “G”.

Alguns mandris são definidos comercialmente como “mandris balanceados em produção” para velocidades de até 10,000 rpm, sem ser realmente especificados para a classe de tolerância ISO 1940. Quando testados, muitos deles não atingem os padrões de qualidade G6,3, e muito menos a classe G2,5 mais restrita, freqüentemente especificada para os mandris.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 MÁQUINA-FERRAMENTA

Os experimentos foram realizados no Centro de Usinagem Vertical da marca ROMI , modelo Discovery560. Os principais dados da máquina-ferramenta são: motor do eixo-árvore com 7,5 Cv de potência, faixa de rotação entre 50 e 7500 rpm, magazine para 22 ferramentas, interface do sistema de fixação de ferramentas BT40 e comando numérico SIEMENS SINUMERIK 810D SHOP MILL . Os cursos dos eixos X, Y e Z são, respectivamente, de 560, 400 e 500 mm. A Figura 17 mostra a máquina-ferramenta.



Figura 19 - Centro de Usinagem Vertical ROMI DISCOVERY560.

Fonte: o Autor, (2009)

3.2 FERRAMENTA, PORTA-FERRAMENTA E MANDRIL DE FIXAÇÃO.

Os ensaios de fresamento serão realizados com Fresas de MD Integrais fornecida pela empresa “Taegutec do Brasil”, Cone Porta Pinça fornecido pelo SENAI da marca “MFS” e Cone Hidráulico fornecido pelo SENAI da marca “BIG DAISHOWA” e consistiram de um tipo distinto de operação: desbaste lateral.

Para os ensaios de desbaste, utilizaram-se fresas de topo reto de quatro cortes à direita. Esta foi montada em um porta-ferramenta de aço com 12 mm de diâmetro. Por sua vez, este porta-ferramenta era montada, com um comprimento em balanço de 40mm, em um mandril hidráulico e porta-pinça. Foi utilizado Fresas de metal duro na classe KT8600, com cobertura TiAlN submicron (UFB). A montagem das ferramentas foram feitas conforme demonstrado na figura 18.

Mandril DIN 6388, DIN 6499	Mandril Hidráulico
	
<p>Uma bucha metálica em torno da haste cilíndrica é apertada mediante uma porca.</p>	<p>Um mandril hidráulico utiliza um reservatório de óleo para equilibrar a pressão de fixação em torno da haste da ferramenta. Apertando um parafuso aumenta-se a pressão neste óleo, fazendo com que uma bucha de expansão prenda a haste da ferramenta.</p>

Figura 20 -Fixação das ferramentas utilizadas nos experimentos.

3.3 MATERIAL USINADO

Os ensaios serão realizados com corpos de prova confeccionados a partir de chapas de aço laminado ABNT D2 sem tratamento superficial para a respectiva dureza de 38 HRC e Peça de Ferro Fundido Cinzento para respectiva dureza de 182HB. Com o objetivo de conhecer mais detalhadamente as características destes materiais, ensaios de dureza e de micrografia foram realizados no Laboratório de Materiais da Faculdade de Tecnologia Mecânica da SOCIESC.

A figura 19 representa a geometria do corpo de prova utilizado nos ensaios de fresamento em Aço ABNT D2. Para proporcionar alta rigidez e, conseqüentemente, minimizar os efeitos das vibrações, a fixação do corpo de prova será realizada com 2 parafusos M16 x 80 mm nos furos das placas, diretamente na mesa da máquina.



Figura 21 - Corpo-de-prova utilizado nos ensaios com 90° e material D2

Fonte: o Autor, (2009)

Para os testes de campo realizados no ferro fundido cinzento, não foi possível apresentar o desenho da peça, pois, trata-se de uma tampa de motor elétrico no qual a empresa fabricante não autorizou sua edição, bem como, maiores detalhes dos testes além dos apresentados neste trabalho.

A análise de dureza nos corpo de prova será realizada pelo método Rockwell e Brinell.

Como a dureza do material influencia sua usinabilidade, esta avaliação permite demonstrar a ausência de grandes variações de dureza e que as variáveis de resposta não são influenciadas significativamente por esta fonte de variabilidade.

No caso do ferro fundido, as peças onde foram realizados os testes são de um mesmo lote de matéria prima, para não restar dúvidas do processo, pois, este material apresenta durezas e demais variações de propriedades quando retirados de lotes diferentes.

Para análise da micrografia, será retirada uma amostra do material, a qual será lixada, polida e atacada com Nital a 10%, por 10 segundos. Após a preparação, a amostra será analisada e fotografada em um Microscópio Óptico Carl Zeiss, modelo Neophot 32. A Figura 20 mostra a imagem da microestrutura do material AÇO ABNT D2.

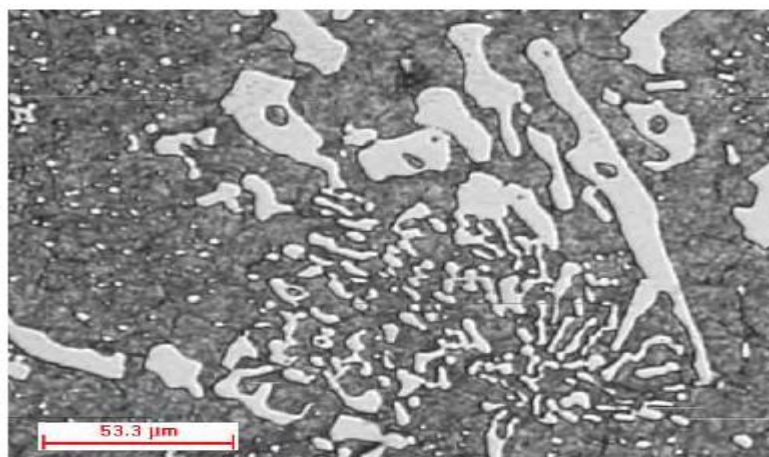


Figura 22 - Micrografia do aço ABNT D2 atacado com Nital 10%

Com a mesma ampliação nas micrografias, é possível verificar na estrutura do aço ABNT D2 a presença de carbonetos de cromo (parte clara) em uma matriz de martensita revenida (parte escura). A tabela 8 mostra, conforme dados fornecidos pelo fabricante, a composição química do aço-ferramenta ABNT D2 utilizado no ensaio. A formação dos carbonetos de cromo está principalmente relacionada ao alto teor de carbono (1,5% em massa) e cromo (12% em massa) na composição química do ABNT D2.

Tabela 6 - Composição química do aço-ferramenta utilizado no ensaio (% em massa)

Material	C	Cr	Mo	Si	V	Mn
ABNT D2	1,5	12,0	0,94	0,32	0,85	-

3.4 MONITORAMENTO DO PROCESSO.

Durante os ensaios de fresamento, três variáveis serão monitoradas: o desgaste de flanco (VBB) nas ferramentas, o perfil de rugosidade na superfície usinada e o desgaste nas facas (guias) da fresa.

O desgaste de flanco (VBB) das ferramentas utilizadas será monitorado com um Microscópio Estereoscópico da marca Leica montado em conjunto com uma câmera fotográfica, a qual estará interligada ao programa analisador de imagens Leica QWin, conforme mostrado na figura 21. Inicialmente, realizava-se a calibração do sistema de modo a correlacionar uma unidade da figura, em pixel, com uma unidade métrica, no caso milímetros. A utilização deste sistema para verificação dos valores de desgaste permite uma leitura rápida e eficaz, pois o ensaio está parado enquanto ocorre a medição do desgaste. Esta medição será realizada diversas vezes ao longo de cada ensaio.

Depois de atingido o critério de fim de vida das ferramentas (desgaste de flanco VBB = 0,20 mm) o ensaio será concluído. As arestas de corte utilizadas nos ensaios, identificadas para posterior observação em um Microscópio Eletrônico. A utilização do sistema possibilita analisar em detalhes os mecanismos de desgaste.



Figura 23 - Microscópio Utilizado nos Testes

Fonte: o Autor, (2009)

Para a verificação do perfil de rugosidade, se utilizará um Rugosímetro Portátil Mitutoyo, modelo SJ-201P, montado em um traçador de altura, o qual possibilitava a inclinação do aparelho em relação à superfície usinada, conforme demonstra a figura 22. Utilizar-se-á o programa SJ-201Excel e um computador para a aquisição do perfil de rugosidade. A rugosidade será avaliada utilizando-se o parâmetro Ra com um cut-off de 0,8 mm, em duas direções: transversal e longitudinal à direção de avanço da ferramenta. Segundo Stephenson e Agapiou (1996), o parâmetro Ra é o mais utilizado nas diferentes aplicações de usinagem e o parâmetro Rz é mais sensível à presença de grandes picos e vales fornecendo uma melhor noção dos desvios.

Para verificação do desgaste das guias nas facas da Fresa, também será utilizado um Microscópio Estereoscópio da marca Leica montado em conjunto com uma câmera fotográfica, a qual estava interligada ao programa analisador de imagens Leica QWin. O critério avaliado será o lascamento ou quebra das guias da fresa, a qual influenciava diretamente na rugosidade da peça.



Figura 24 - Verificação da rugosidade no sentido longitudinal

Fonte: o Autor, (2009)

Para o monitoramento do processo de usinagem de campo (empresa “X”), durante os ensaios de fresamento, também as três variáveis serão monitoradas: o desgaste de flanco (VBB) nas ferramentas, o perfil de rugosidade na superfície usinada e o desgaste nas facas (guias) da fresa.

3.5 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Um experimento, consiste em diversos passes de fresamento em duas superfícies com 215 mm de comprimento e em seu contorno. Inclínadas em relação à ferramenta de usinagem, onde será utilizado paradas em intervalos regulares de 5min; com o objetivo de registrar os valores de desgaste de flanco (VBB), perfil de rugosidade e desgaste das guias até que o critério de fim de vida da ferramenta (VBB = 0,20 mm) seja atingido.

Algumas restrições na elaboração dos ensaios foram necessárias para viabilizar os experimentos na máquina-ferramenta descrita. A primeira refere-se ao diâmetro das ferramentas e à inclinação das paredes: para atingir as velocidades efetivas de corte, típicas do processo de Fresamento com Alta Velocidade em aço ABNT D2, o menor diâmetro de ferramenta utilizado nos ensaios foi de 12,0mm e inclinação da parede de 90°. Este fato deve-se ao limite de rotação do eixo-árvore em 7500 rpm.

A segunda restrição está relacionada com a aceleração dos eixos na máquina-ferramenta: as velocidades de avanço utilizadas no trabalho são superiores à velocidade de avanço na qual a máquina-ferramenta pode fazer interpolações complexas. A limitação da máxima velocidade de avanço é função de diversos fatores, entre eles, o tempo de processamento de bloco do CNC, a aceleração dos fusos de esferas nos eixos e a dinâmica da máquina-ferramenta. Para manter a velocidade de avanço durante os ensaios e, em consequência, a taxa de volume de material removido, será evitada interpolações complexas utilizando uma geometria plana nos experimentos. Ainda, na estratégia de usinagem utilizada, o comprimento de avanço será incrementado, na entrada e na saída da ferramenta do corpo-de-prova, em 30mm. O objetivo deste procedimento é que, ao atingir o corpo-de-prova, a aceleração da máquina-ferramenta não tivesse influência na velocidade de avanço efetiva.

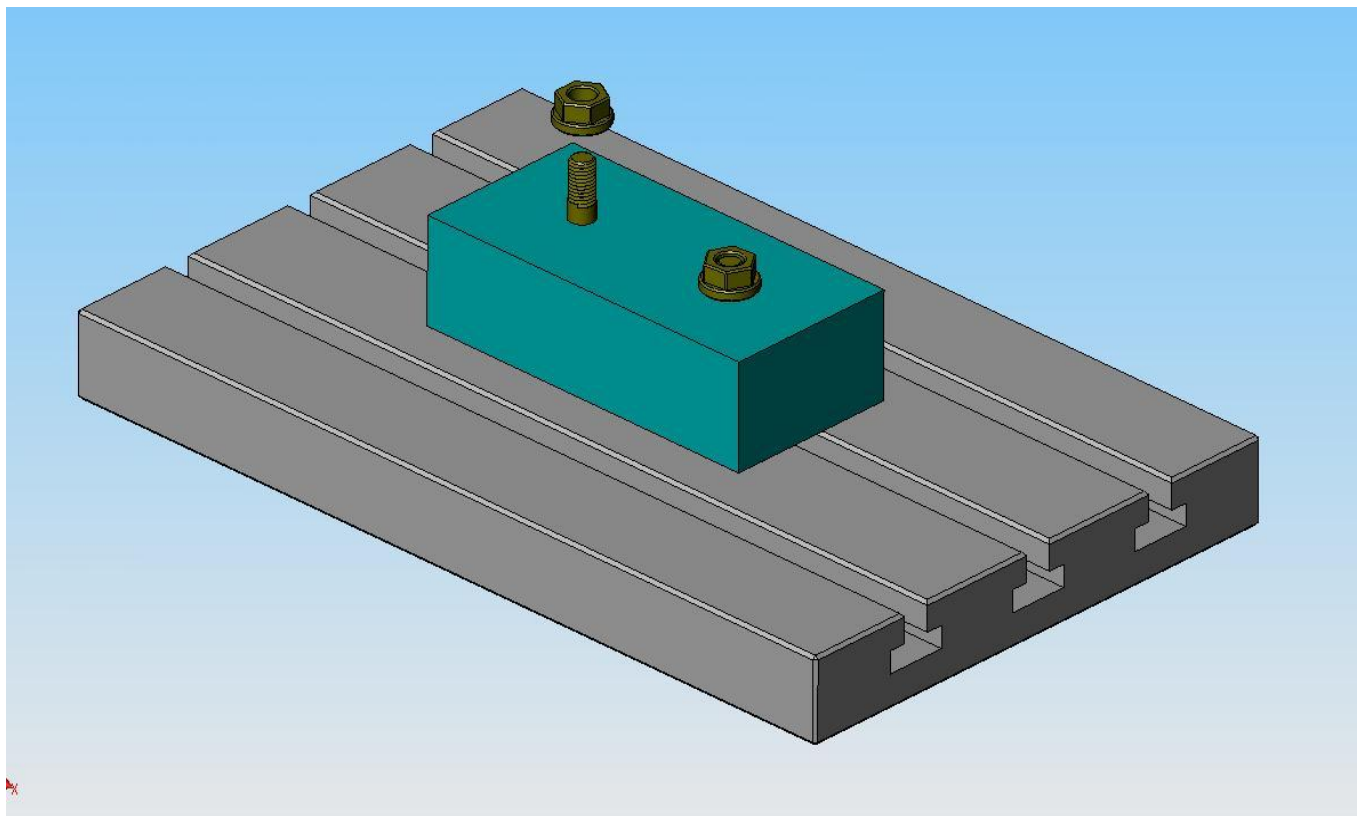


Figura 25 - Fixação do Corpo de Prova

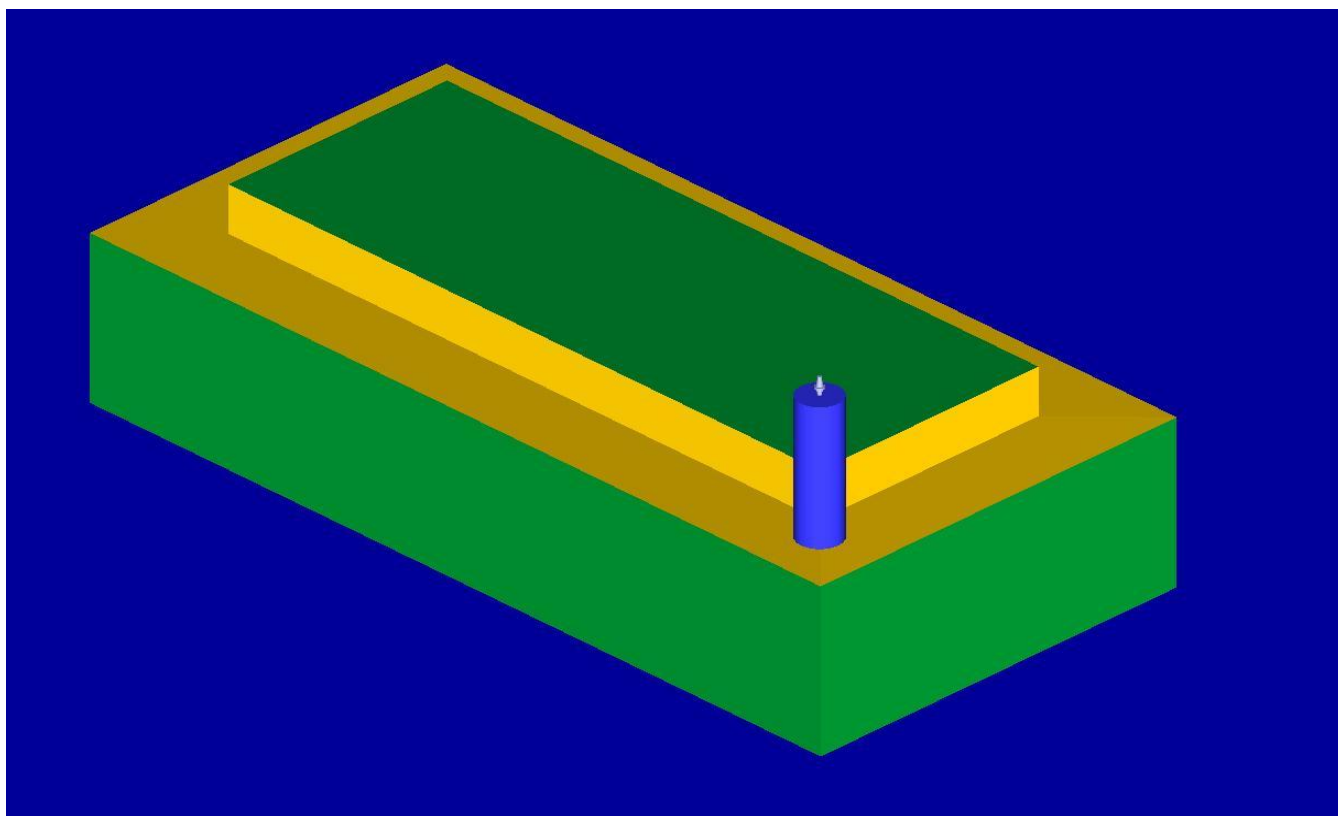


Figura 26 - Sentido de Corte Concordante

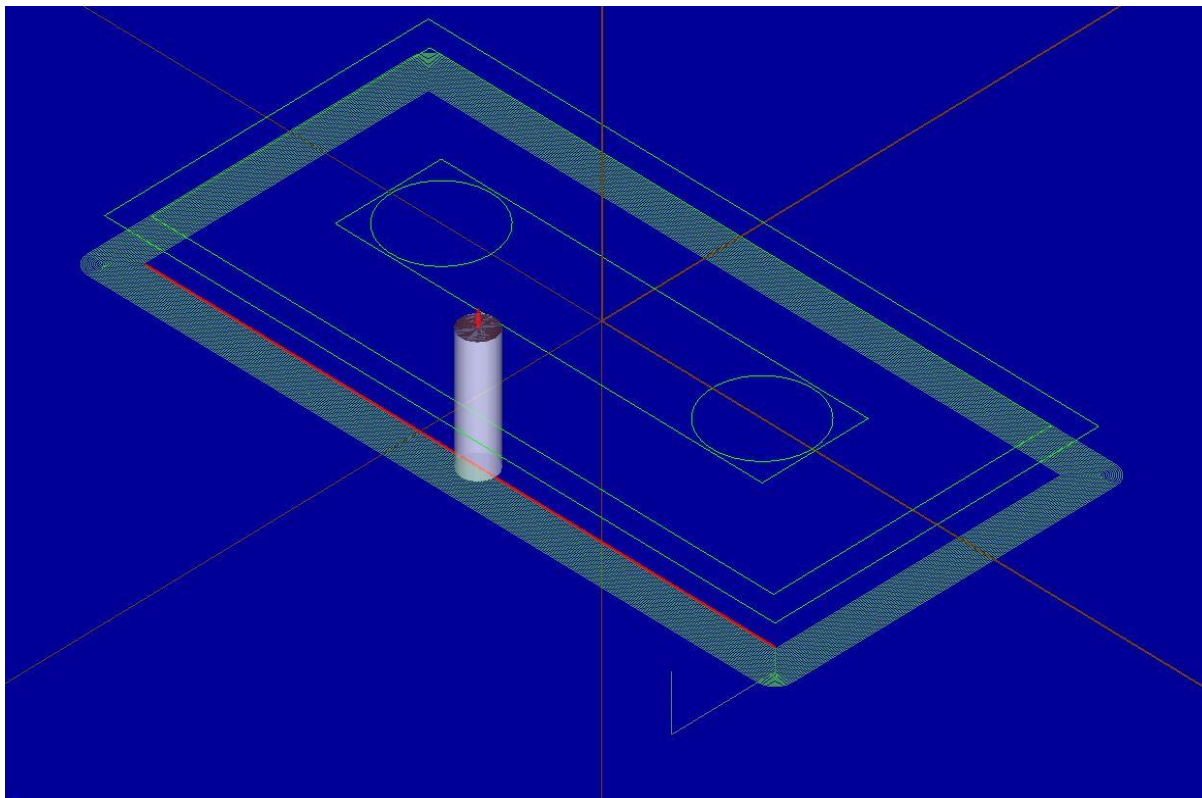


Figura 27 - Simulação da Usinagem gerado no Mastercam

Antes do início do ensaio, nas operações de desbaste, será realizada uma operação de usinagem com uma ferramenta com insertos (cabecote) objetivando-se criar um perfil de rugosidade típico de uma operação de desbaste pesado, para remoção da casca do material.

Após a criação desta superfície, iniciava-se o ensaio e após a usinagem de toda superfície e laterais no desbaste, uma nova operação de criar um perfil era realizada. O objetivo deste procedimento é aproximar os resultados dos ensaios com situações reais de aplicação do processo.

3.6 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Nesta pesquisa, os experimentos serão realizados de forma aleatória e com 2 réplicas. O planejamento experimental está dividido em operação de desbaste com fresas de topo reto utilizando na fase1 o mandril Porta-Pinça e na fase2 o mandril Hidráulico.

Na fase 1 e 2 do planejamento experimental, o principal objetivo é avaliar o comportamento de dois diferentes tipos de fixação de ferramentas. Em condições de fresamento em desbaste, na vida da ferramenta, nos fenômenos de desgaste e na rugosidade da superfície usinada. Se utilizará o aço ABNT D2, 38 HRC, como material de corpo-de-prova. O diâmetro da ferramenta nestes ensaios foi de 12mm.

Os parâmetros de usinagem utilizados nos experimentos foram definidos tendo como referência as recomendações do catálogo do fabricante. Com este objetivo, se utilizou substratos de metal duro, com a presença de cobertura KT8600 de TiAlN. A tabela 9 mostra o Planejamento Fatorial utilizado nos experimentos da fase 1 e 2.

Tabela 7 - Condições de usinagem utilizadas na fase 1 e 2 dos experimentos.

vc [m/min]	fz [mm/dente]	Incremento radial de usinagem [mm]	Incremento axial de usinagem [mm]	Inclinação da parede [graus]	Material da ferramenta	Material do porta- ferramenta
200	0,10	0,5	15	90	Metal Duro KT8600	Aço D2

Fonte: o Autor, (2009)

Na fase 1 e 2 do planejamento experimental, o principal objetivo será avaliar em condições de fresamento em desbaste, a vida da ferramenta, os fenômenos de desgaste e a rugosidade da superfície usinada. A influência da variação no sistema de fixação da ferramenta (cone Porta-Pinça) e (cone Hidráulico) mantendo a espessura média do cavaco constante além da inclinação da parede na usinagem do material. Os experimentos serão realizados utilizando a classe de material de ferramenta que obteve os melhores resultados nas empresas onde o fornecedor das fresas realizou diversos testes. O incremento radial de usinagem foi ajustado para que, com a variação do avanço por dente e a inclinação da parede, a espessura média do cavaco se mantivesse constante em todos os ensaios. Os demais parâmetros de usinagem, especificação do material usinado e tipo de operação são os mesmos dos ensaios na fase 1 e 2.

Com a realização das duas fases descritas acima, será concluído os ensaios de laboratório de fresamento em operação de desbaste com fresas de topo reto no aço ABNT D2.

Os ensaios de fresamento em desbaste no ferro fundido com fresas de topo reto iniciam-se na fase 3. Nesta fase, o principal objetivo também é avaliar a influência dos sistemas de fixação da ferramenta, e do material do porta-ferramenta na vida da ferramenta, nos fenômenos de desgaste e na rugosidade da superfície usinada.

Com a determinação da melhor classe de fresa de metal duro e porta-ferramenta para o fresamento em desbaste do Ferro Fundido e inclinação da parede de 90°, o próximo passo na realização dos ensaios era a comparação dos diferentes sistemas de fixação escolhidos. Entretanto, para comparação de desgastes e rugosidades, alterações no incremento axial de usinagem serão realizadas. Serão utilizados para esta comparação a classe de fresa de metal duro e portas-ferramentas que proporcionaram a maior vida de ferramenta na fase 3.

A especificação do material a ser usinado, bem como a inclinação da parede e o tipo de operação serão conforme já mencionado anteriormente.

As ferramentas utilizadas nesta fase serão de metal duro da classe KT8600 com porta-ferramenta de aço e fresas integrais de metal duro, todas com cobertura TiAlN. A classe do metal duro é a recomendada para a usinagem em desbaste de ferro fundido cinzento com dureza entre 43 e 63 HRC (TAEGUTEC, 2009).

O diâmetro utilizado nos ensaios foi de 12mm. O Quadro 1 abaixo mostra o Planejamento Fatorial utilizado nos experimentos da fase 3, porém no campo “custo da fresa” no relatório econômico, foi considerado o “custo do sistema de fixação”. Este relatório foi fornecido pela empresa KENNAMETAL do Brasil e é utilizada para todos os testes de campo que a empresa pratica nos seus clientes, visando uma aprovação de custo/benefício.

Neste relatório é possível visualizar todos os parâmetros de corte utilizados no teste, bem como a vida útil da ferramenta, seu desgaste e também o relatório econômico levando-se em consideração o lote a ser fabricado.

4 RESULTADOS E DISCUSÕES.

Esta sessão apresenta o comparativo entre os sistemas de fixação Porta-Pinça e Mandril Hidráulico.

Analisando as rugosidades superficiais obtidas no corpo de prova na figura 26, pode-se observar que as rugosidades obtidas com o Sistema do Cone Porta-Pinça ficaram entre $0,98\mu\text{m}$ e $1,70\mu\text{m}$ Ra com um aumento ascendente. Este fato é proveniente do desgaste da ferramenta e as micro-lascas nas arestas de corte, conforme demonstrado na figura 28. Devido às micro-lascas e quebras, é pouco provável conseguir fazer a reafiação da ferramenta.

Analisando ainda a figura 26 pode-se observar que as rugosidades obtidas com o Sistema do Cone Hidráulico, ficaram entre $0,64\mu\text{m}$ e $0,79\mu\text{m}$ Ra, sendo aproximadamente duas vezes superior ao sistema do Cone Porta-Pinça e proporcionando o reaproveitamento da ferramenta com reafiações.

Portanto, em relação ao acabamento superficial da peça, nota-se que os valores de Ra que obtiveram um melhor desempenho na usinagem do Aço D2, foi com o Sistema do Cone Hidráulico.

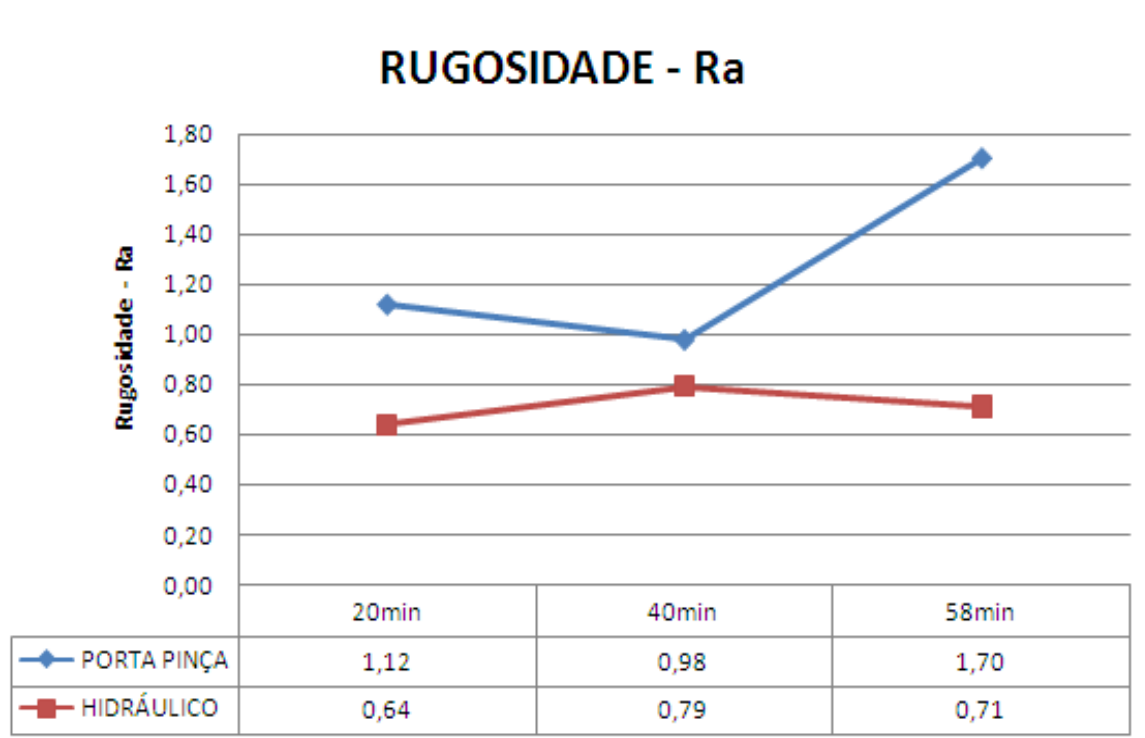


Figura 28 – Rugosidade Comparativa - Cone Porta-Pinça x Cone Hidráulico

Fonte: (O Autor,2009)

Outro fator crucial para o desempenho da ferramenta e que causa um impacto direto na vida útil e no tipo de desgaste é o batimento de montagem da ferramenta no Sistema de fixação. Analisando a figura 27, pode-se observar que a diferença entre os sistemas é grande.

O sistema de fixação do Cone Porta-Pinça apresentou um batimento entre $0,028\mu\text{m}$ e $0,037\mu\text{m}$, que no caso, é o batimento exposto pelos diversos fabricantes de ferramentas em seus catálogos técnicos. Já o sistema de fixação do Cone Hidráulico, apresentou um batimento entre $0,003\mu\text{m}$ e $0,007\mu\text{m}$, três vezes mais preciso e comprovando sua eficiência na ponta da ferramenta no que diz respeito a vida útil.

Portanto, o batimento que obteve o melhor desempenho na usinagem do Aço D2 em relação a vida útil da ferramenta e acabamento superficial, foi o Sistema do Cone Hidráulico, demonstrada na figura 29.

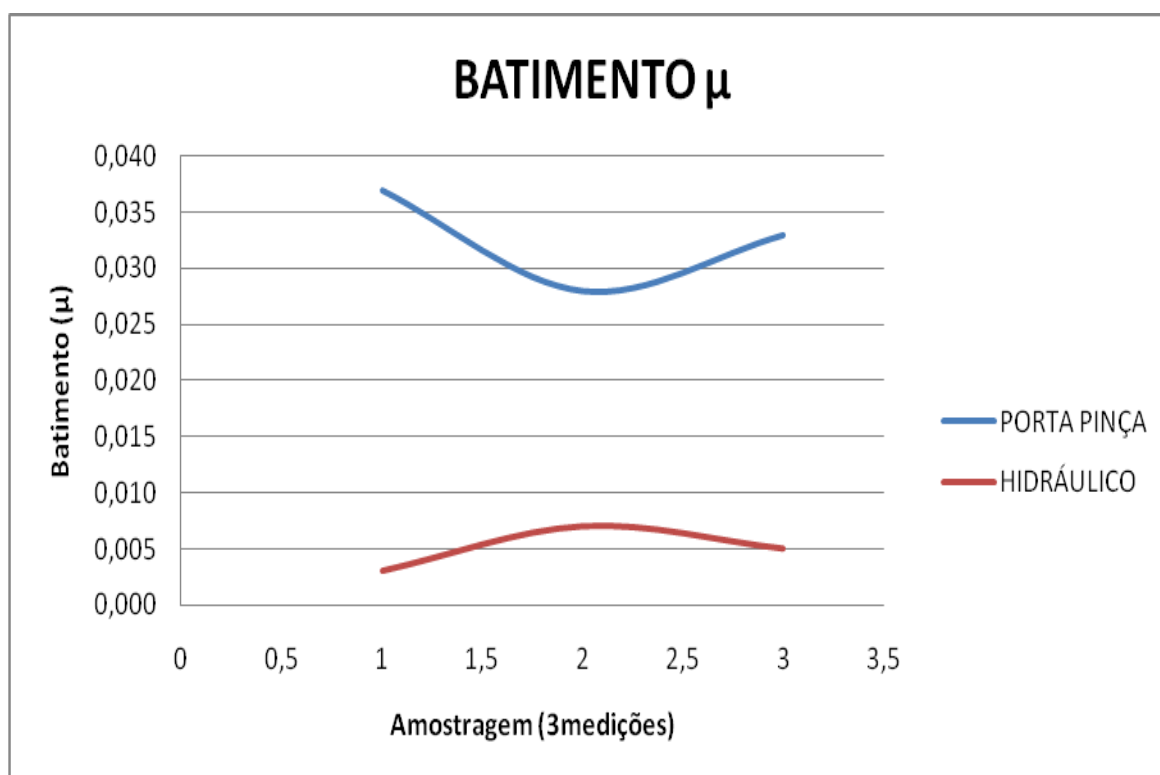


Figura 29 – Comparativo de Batimento - Cone Porta-Pinça x Cone Hidráulico

Fonte: (O Autor,2009)



Figura 30 – Aresta de Corte com Lascamento e Micro-lascas (Sistema Porta-Pinça)

Fonte: O Autor, (2009)

Fica claro que o Sistema de fixação da ferramenta influenciou diretamente na vida útil da mesma, conforme demonstrado na figura 29. Comprova-se também que, o sistema de fixação de ferramenta adequado para ferramentas de metal duro, neste caso, fresa de topo, o sistema do Cone Hidráulico é o mais recomendável, tanto para produção em Ferro Fundido como em usinagem de Aços onde se necessita de alta qualidade superficial e desempenho da ferramenta.

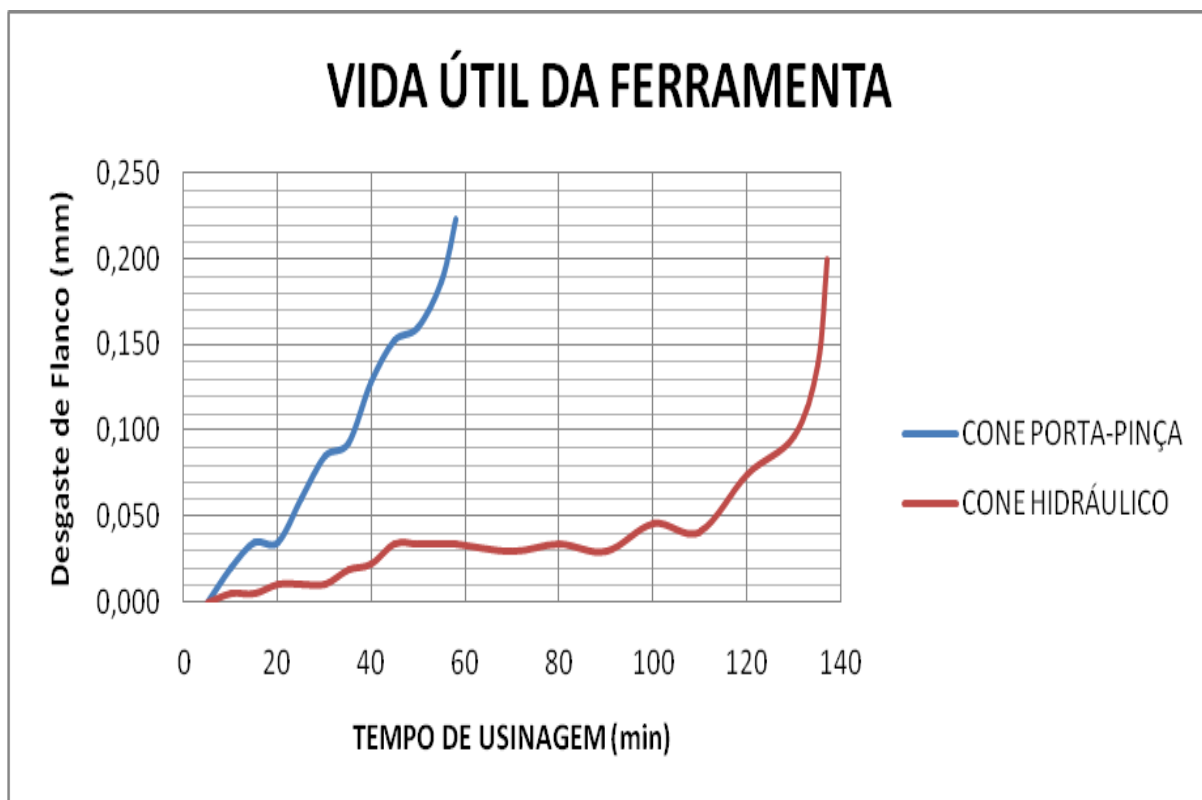


Figura 31 – Vida Útil da Ferramenta (Porta-Pinça x Hidráulico)

Fonte: O Autor, (2009)

Como o custo/benefício de toda usinagem está relacionado com a vida útil da ferramenta, o tempo de usinagem, a qualidade da peça entre outros, pode-se afirmar que com a utilização do Cone Hidráulico, pode-se atingir uma redução aproximada de 60% do custo de usinagem com tempo e ferramenta.

No Quadro 1 são demonstrados alguns parâmetros de comparação entre o sistema de fixação do Cone Porta-Pinça e Cone Hidráulico.

PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO	PORTA-PINÇA	MANDRIL HIDRÁULICO
<i>Batimento Radial</i>	0,015 à 0,020mm	0,003 à 0,005mm
<i>Aplicação</i>	Regular para Furação, Alargamento e Fresamento em geral (ideal para máquinas convencionais)	Ótimo para Furação, Alargamento e Fresamento (ideal para máquinas CNC)
<i>Balanceamento</i>	Balanced by design (Não recomenda-se utilizar mais que 8000 min-1)	G 6,3 / 15.000 min-1
<i>Propriedade de Amortecimento</i>	Pobre	Bom, dependendo da frequência
<i>Resistência Radial</i>	Baixa	Alta
<i>Ajuste axial</i>	É interna, exige desmontar o conjunto.	É externa, simples e rápida
<i>Tempo de Troca</i>	Rápida	Rápida
<i>Dependência para troca</i>	Troca somente através de dispositivo de fixação do cone.	Qualquer local, não exige dispositivo
<i>Comodidade, Praticidade</i>	Grande, apesar de necessitar de dispositivo para troca de ferramenta.	Muito grande, não necessita de padrão, nem paradas para troca.
<i>Segurança</i>	Fixação regular.	Fixação segura.
<i>Manuseio</i>	Necessita de chave e dispositivo para troca da ferramenta.	Simple, não exige cuidados especiais apenas uma chave ALLEN.
<i>Capacidade para Alta Rotação</i>		Até 60.000 min-1
<i>Custo do Sistema</i>	Necessidade de investimento com dispositivo de fixação do cone ou morsa.	Não tem custo com dispositivo.
<i>Design / Formato</i>	Design com diâmetros externos muito grande devido a porca.	Design com diâmetros externos menores, facilitando a usinagem inclusive de cavidades.
<i>Material da Haste da Ferramenta</i>	HSS e Metal Duro.	HSS e Metal Duro.
<i>Tempo de Uso (vida do mandril)</i>	Até espanar a rosca de aperto da porca.	Sem limite de ciclos.
<i>Dependência</i>	Média, pois necessita de dispositivo de fixação do cone para soltura da ferramenta.	Nenhuma, pois não necessita de nenhum dispositivo.

Quadro 1 - Comparativo dos Sistemas de Fixação Porta-Pinça x Hidráulico.

Fonte: O Autor, (2005)

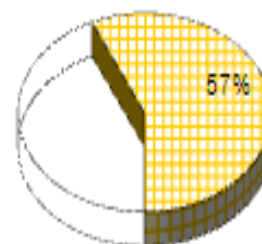
4.1.1 Relatório Comparativo de Teste de Campo.

	ATUAL	PROPOSTO
Fabricante:	TaoquTec	TaoquTec
Fixação da Ferramenta:	PORTAPIŃAER	MANDRIL HIDRÁULICO
Código da Fresa:	FRESA MD 12,0mm	FRESA MD 12,0mm
Classe:	KT8600	KT8600
Diâmetro da Fresa:	12 mm	12 mm
Ball Nose (D_{2n}):	12,00 mm	12,00 mm
Ângulo de hélice:	45 graus	45 graus
Quantidade de facas:	4	4
Tipo de corte:	Contínua	Contínua
Refrigeração:	Não	Não
Pressão da Refrigeração:	.	.
Velocidade de corte:	300 m/min	300 m/min
Rotações:	7958 RPM	7958 RPM
Ball Nose ($V_c D_{2n}$):	300 m/min	300 m/min
Avanço:	0,120 mm/z	0,120 mm/z
Avanço:	3820 mm/min	3820 mm/min
Profundidade de corte axial:	6,00 a_p mm	6,00 a_p mm
Profundidade de corte radial:	0,50 a_e mm	0,50 a_e mm
Comprimento de corte:	916,00 mm	916,00 mm
Número de passadas:	4,00	4,00
Taxa de remoção de material:	11,46 cm^3/min	11,46 cm^3/min
Tempo ativo de corte:	0,959 min	0,959 min
Peças por afiação:	79,00 peças	207,00 peças
Vida Útil por afiação [min]:	75,78 min	198,56 min
Vida Útil por afiação [metros]:	289,46 m	758,45 m
Rendimento por afiação [cm^3]:	868,37 cm^3	2275,34 cm^3
Tipo de desgaste:	Larcanalateral	Micra-larcanatapa
Critério de troca:	Dozqarto	Dozqarto

Quadro 2 - Relatório Técnico de usinagem utilizado na fase 3 dos experimentos.

Fonte: O Autor, (2009)

Peça N°:	0
Denominação:	TAMPA DE MOTOR ELÉTRICO
Operação:	FRESAR EM DESBASTE
Operação numero:	3,2
Lote para análise (peças mês):	3000
Máquina:	CENTRO USINAGEM MORI SEIKI SV-40
Máquina numero:	1
Centro de custo:	1



Moeda:	R\$
--------	-----

	ATUAL	PROPOSTO
Fabricante:	TaeguTec	TaeguTec
Código da Fresa:	FRESA MD 12,0mm	FRESA MD 12,0mm
Tempo de troca unitário:	10,00 <i>minutos</i>	5,00 <i>minutos</i>

Peças por afiação:	79,00 <i>peças</i>	207,00 <i>peças</i>
Qtd. de trocas por lote:	37,97 <i>trocias</i>	14,49 <i>trocias</i>
Quantidade de afiações por lote:	37,97 <i>arestas</i>	14,49 <i>arestas</i>
Quantidade de afiações possíveis:	0,00 <i>arestas</i>	6,00 <i>arestas</i>
Tempo de troca por lote:	379,75 <i>minutos</i>	72,46 <i>minutos</i>
Tempo ativo de corte:	0,96 <i>minutos</i>	0,96 <i>minutos</i>
Vida Útil 1:	75,78 <i>minutos</i>	198,56 <i>minutos</i>
Vida Útil 2:	868,37 <i>cm³/min</i>	2275,34 <i>cm³/min</i>

Custo da Fresa:	350,00 <i>R\$</i>	1350,00 <i>R\$</i>
Custo com reafiação "unitário":	35,00 <i>R\$</i>	35,00 <i>R\$</i>
Custo com reafiação por lote:	<i>inexistente R\$</i>	422,71 <i>R\$</i>
Custo ferramenta por lote:	13291,14 <i>R\$</i>	3683,57 <i>R\$</i>
Custo máquina hora:	80,00 <i>R\$</i>	80,00 <i>R\$</i>
Custo máquina minuto:	1,33 <i>R\$</i>	1,33 <i>R\$</i>
Custo com troca por lote:	506,33 <i>R\$</i>	96,62 <i>R\$</i>
Tempo maquina por lote:	2877,61 <i>minutos</i>	2877,61 <i>minutos</i>
Custo com maquina por lote:	3836,82 <i>R\$</i>	3836,82 <i>R\$</i>

Ganho em peças por aresta:	162,03 %
Ganho em tempo de troca:	80,92 %
Ganho em tempo de usinagem:	0,00 %
Ganho em custo com ferramenta:	72,29 %
Custo total do lote:	17634,29 <i>R\$</i>
Proposta de ganho total por lote:	56,81 %

Quadro 3 - Relatório Econômico de usinagem utilizado na fase 3 dos experimentos.

Fonte: O Autor, (2009)

CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados e das discussões desenvolvidas, pôde-se concluir com os Sistemas de Fixações com alta velocidade de corte do Material Aço D2 e do Material Ferro Fundido Cinzento, que:

- As características térmicas, mecânicas e metalúrgicas das ligas dificultam demasiadamente a usinagem, proporcionando elevado nível de desgaste.
- De uma maneira geral, o tipo de desgaste dominante foi o de micro trincas e lascamento, os mecanismos foram abrasão, attrition (aderência com arrastamento) e provável difusão na maioria das ferramentas utilizadas. O desgaste de flanco foi mais prevalente ao longo da aresta de corte com uma provável combinação dos mecanismos de desgaste do tipo abrasão e adesão, decorrentes do aquecimento durante a usinagem.
- Apesar das ferramentas integrais de Metal Duro serem conhecida por sua boa estabilidade, encontra-se fortes indícios de que os mecanismos de fixação das mesmas influenciam diretamente na vida útil.
- Pode-se observar que o batimento entre cone e ferramenta é um dos principais agentes causadores de desgaste e lascamento das arestas (facas) da fresa, onde se obteve um batimento entre $0,028\mu\text{m}$ e $0,037\mu\text{m}$ no Cone Porta-Pinça e um batimento entre $0,003\mu\text{m}$ e $0,007\mu\text{m}$ no Cone Hidráulico, três vezes mais preciso, com a redução do batimento, reduz-se automaticamente o desgaste e conseqüentemente aumenta a vida da ferramenta.
- A situação onde a ferramenta apresentou um melhor desempenho no quesito qualidade superficial da peça, também foi com a utilização do Cone Hidráulico, pois eliminou significativamente a vibração durante a usinagem e reduziu a rugosidade.
- O melhor custo/benefício é claramente demonstrado conforme relatórios e tabelas em anexo, e fica evidente que o sistema Cone Hidráulico é mais eficiente. Porém se deve ressaltar que, quanto maior o lote a ser usinado, maior será o ganho com o sistema.

- É perceptível que, quanto maior o lote a ser usinado, maior será o custo/benefício do sistema Hidráulico, levando sempre em consideração o custo da hora/máquina e o custo final da peça usinada!

- Pode-se afirmar que, com a utilização do Cone Hidráulico, pode-se atingir uma redução aproximada de 60% do custo de usinagem com tempo efetivo de corte e desgaste da ferramenta.

REFERÊNCIAS

AGAPIOU, J.; RIVIN, E.; XIE, C. **Toolholder / spindle interfaces for CNC machine tools.** Annals of the CIRP, v. 44, n. 1, p. 383-387, 1995.

ALTAN, T.; LILLY, B.; YEN, Y. C. **Manufacturing of dies and molds.** Annals of the CIRP, v. 50, n. 2, p. 405-423, 2001.

ANDRÉN, H. O. **Microstructures of cemented carbides.** Materials and Design, v. 22, n. 6, p. 491-498, 2001.

BAIER, S. Spindles and their relationship to high-speed toolholders – Part I. **Mold Making Technology.** Ago, 2003. Disponível em: <<http://moldmakingtechnology.com/articles/080303.html>>. Acesso em: 30 Abr. 2008.

BAIER, S. Spindles and their relationship to high-speed toolholders– Part II. **Mold Making Technology.** Set, 2003. Disponível em: <<http://moldmakingtechnology.com/articles/090302.html>>. Acesso em: 30 ABR. 2008.

BORK, Carlos Alberto Schuch. **Otimização de Variáveis de Processos para Furação do Aço Inoxidável Austenítico DIN 1.4541.** UFSC: Florianópolis, 1995.

BROWN, James. **Advanced Machining Technology Handbook.** I. Title. EUA, 1998.

CAPLA, Renato Lemes. **Estudo da influência do sobremetal excedente de desbaste na operação de acabamento aplicando usinagem com altas velocidades.** 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

CHAN et al. **A high-efficiency rough milling strategy for mould core machining.** Proceedings of Institution of Mechanical: part B - Engineers Journal of Engineering Manufacture, v. 217, n. 3, p. 335-348, 2003.

DINIZ, Anselmo Eduardo. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** 2.ed. São Paulo: Artliber, 2000.

DORMER DO BRASIL. **Catálogo Principal.** São Paulo: Dormer, 2006.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** vol.1. São Paulo: Egdard Blucher, 1970.

GERE, J. M. **Mecânica dos Materiais.** São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learning, 2003.

HANNA, I. M.; AGAPIOU, J. S.; STEPHENSON, D. A. **Modeling the HSK toolholder-spindle interface.** Transactions of ASME, v. 124, n. 1, p. 734-744, 2002.

HIOKI, Daniel. **Influência dos parâmetros de corte do Fresamento HSM sobre o desempenho tribológico do aço AISI H13 endurecido.** 2006. 232 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

JINDAL et al. **Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning.** International Journal of Refractory Metals & Hard Materials, v. 17, n. 1/3, p. 163-170, 1999.

KENNAMETAL INC. **Catálogo Principal.** São Paulo: Kennametal, 2005.

KLOCKE, F.; KRIEG, T. **Coated tools for metal cutting – features and applications.** Annals of the CIRP, v. 48, n. 2, p. 515-525, 1999.

KOCK, M. Toolholders: An important connection between spindle and cutting tool. **Mold Making Technology.** Set, 2003 Disponível em <<http://moldmakingtechnology.com/articles/090301.html>>. Acesso em: 04 Mai. 2008.

MACHADO, A. R.; SILVA, M. S. **Teoria da usinagem dos metais.** 8.ed. Uberlândia: Editora Intergraf, 2004.

OLIVEIRA, Adilson José de. **Análise do Desgaste de Ferramentas no Fresamento com Altas Velocidades de Aços Endurecidos.** 2007. 232 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2007.

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

POLLI, Milton Luiz. **Análise da estabilidade dinâmica do processo de fresamento a altas velocidades de corte.** 2005. 214 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

POPOLI, W. High speed spindle design and construction. **Modern Machine Shop.** Ago, 1998. Disponível em: <<http://www.mmsonline.com/articles/hsm9802.html>>. Acesso em: 04 Mai. 2008.

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

SANCHES BLANES. **CD Total Tooling – Port.205 .** São Paulo: Sanches Blanes, 2005.

SANDVIK COROMANT. **Catálogo Principal.** São Paulo: Sandvik, 2006.

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.

SCHULZ, H. **High speed milling of dies and moulds – cutting conditions and technology.** Annals of the CIRP, v. 44, n. 1, p. 35-38, 1995.

SCHULZ, H.; ABELE, E.; SAHM, A. High Speed Machining – **Fundamentals and Industrial Application.** In: Seminário Internacional de Alta Tecnologia , 6., 2001, Piracicaba, p. 25-44.

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

SHAFFER, W. R. Cutting tool edge preparation. Society of Manufacturing Engineerings, n. MR99-235, p. 1-8, 1999. Disponível em: <http://www.conicity.com/paper.htm>. Acesso em: 12 fev. 2008.

SILVA, Suelene da. **Recobrimento de ferramentas de corte com filmes de diamante**. 1997. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, Adriano Fagali. **Contribuições ao fresamento de geometrias complexas aplicando a tecnologia de usinagem com altas velocidades**. 2004. 171 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.

STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. **Metal Cutting Theory and Practice**. 1 ed. New York: Editora Marcel Dekker, 1996. 898p.

SUDARSHAN, T. S. **Surface modification technologies: an engineer's guide**. 1 ed. New York: Editora Marcel Dekker, 1989. 619p.

TAEGUTEC. **Catálogo Principal**. São Paulo: Taegutec, 2008.

TOH, C. K. **Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel**. **Journal of Sound and Vibration**, v. 278, n. 1/2, p. 101-115, 2004a.

TÖNSHOFF, H. K.; BLAWIT, C. Influence of surface integrity on performance of coated cutting tools. **Thin Solid Films**. v. 308/309, p. 345-350, 1997.

TRENT, E. M.; WRIGHT, P. K. **Metal cutting**, 4. ed. Woburn: Editora Butterworth-Heinemann, 2000. 446p.200

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product Design and Development**. 3 ed. New York: Editora McGraw-Hill, 2004. 366p.

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

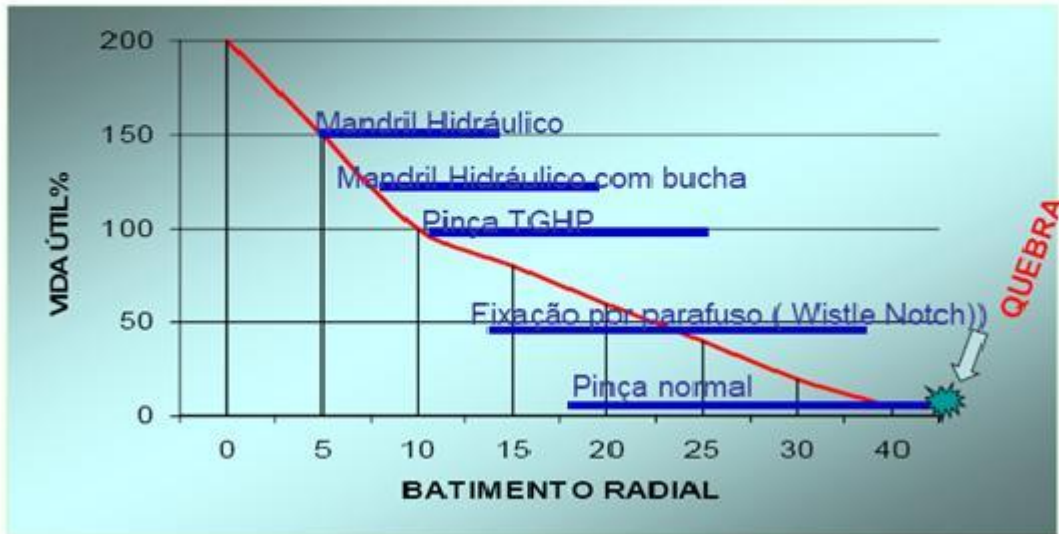
UPADHYAYA, A.; Sarathy, D.; WAGNER, G. Advances in alloy design aspects of cemented carbides. **Materials and Design**, v. 22, n. 6, p. 511-517, 2001.

VIEIRA, J. M.; Machado, A. R.; EZUGWU, E. O. Performance of cutting fluids during face milling of steels. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 116, n. 2/3, p. 244-251, 2001.

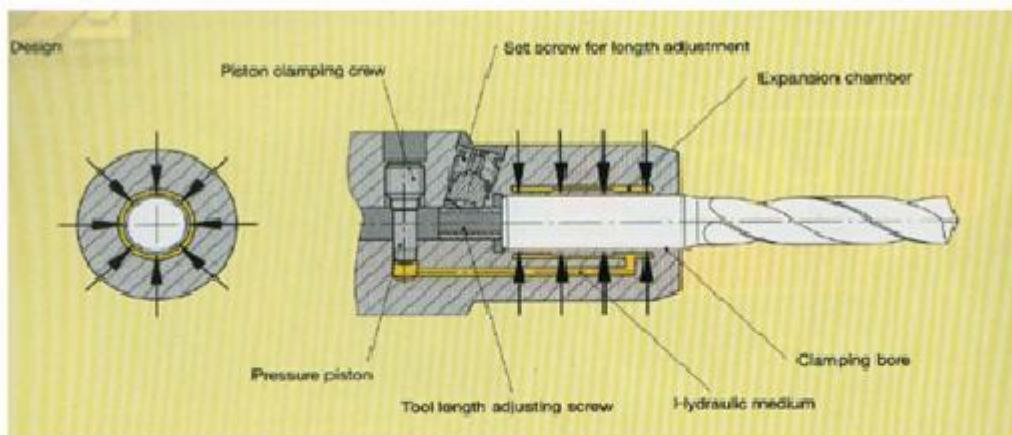
ANEXO A



Vida Útil (%) x Batimento



AÇÃO HIDRÁULICA



3. TENDO Hydro – mandril hidráulico

SCHUNK



precisão de batimento e
repetibilidade < 0,003 mm
L = 2,5 x D (max. 50 mm)

Amortecimento de vibrações

- **Redução de micro lascas na superfície de corte das ferramentas**
- **Aumento do tempo de vida da ferramenta proporcionando economias**
- **Angulo de corte uniforme**
- **Melhora na qualidade da superfície de usinagem.**

ANEXO B

SCHUNK 

3. TENDO Hydro – mandril hidráulico



Usinagem completa em um Centro de usinagem GROB altamente dinâmico, de 5-eixos.

Fixação:
TENDO HSK A - 63 Ø 32 com 2-ferramentas escalonadas, para furar e escarear.

Operação:
usinagem completa de uma bomba de injeção à diesel.

Vantagem: grande torque de fixação, baixa tolerância de batimento < 0,003 mm, bom amortecimento de vibrações na ferramenta.

Tecnologia R. Berger Data: 22.11.2005 BIme 24 CO/Info_L/Tooling_port

SCHUNK 

3. TENDO Hydro – mandril hidráulico



HSC – fresamento de matriz endurecida em máquina Huron KX-10

Fixação:
Mandril hidráulico HSK A-63 Ø 12

Operação: Acabamento

Ferramenta: metal duro corte duplo

Vantagem: Grande poder de fixação e batimento menor que < 0,003 mm amortecimento de vibrações.

Tecnologia R. Berger Data: 22.11.2005 BIme 26 CO/Info_L/Tooling_port

3. TENDO Hydro – mandril hidráulico

SCHUNK

TENDO com ajuste de comprimento radial em fuso duplo ajuste de comprimento com precisão μ .



TENDO, corte com PKD – sem lascamentos – longa vida útil

Tradução R. Berger Data: 22.11.2005

Slide 27

CO/Total_Tooling_port

3. TENDO Hydro – mandril hidráulico

SCHUNK



TENDO na usinagem de moldes
 - Boa repetibilidade de batimento e precisão de repetibilidade na troca de ferramentas
 - Bom amortecimento de vibrações mesmo usando materiais de alta dureza



Tradução R. Berger Data: 22.11.2005

Slide 28

CO/Total_Tooling_port

3. TENDO Hydro – mandril hidráulico

SCHUNK



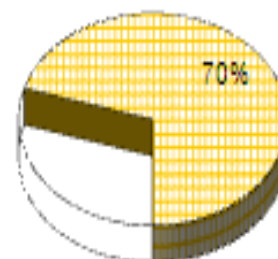
- TENDO na usinagem de ferramentas**
- Repetibilidade de batimento e precisão na troca de ferramentas
 - Boa absorção de vibração
 - Manuseio simples

ANEXO C

	ATUAL	PROPOSTO
Fabricante:	TaoquTec	TaoquTec
Fixação da Ferramenta:	PORTAPINÇAER	MANDRIL HIDRÁULICO
Código da Fresa:	FRESA MD 12,0mm	FRESA MD 12,0mm
Classe:	P10A	P10A
Diâmetro da Fresa:	12 mm	12 mm
Ball Nose (D _{ball}):	#NÚM! mm	#NÚM! mm
Ângulo de hélice:	45 graus	45 graus
Quantidade de facas:	4	4
Tipo de corte:	Contínua	Contínua
Refrigeração:	Não	Não
Pressão da Refrigeração:	.	.
Velocidade de corte:	200 m/min	200 m/min
Rotações:	5305 RPM	5305 RPM
Ball Nose (Vc D _{ball}):	#NÚM! m/min	#NÚM! m/min
Avanço:	0,100 mm/z	0,100 mm/z
Avanço:	2122 mm/min	2122 mm/min
Profundidade de corte axial:	15,00 a, mm	15,00 a, mm
Profundidade de corte radial:	0,50 a, mm	0,50 a, mm
Comprimento de corte:	960,00 mm	960,00 mm
Número de passadas:	30,00	30,00
Taxa de remoção de material:	15,92 cm ³ /min	15,92 cm ³ /min
Tempo ativo de corte:	13,571 min	13,571 min
Peças por afiação:	4,30 peças	10,10 peças
Vida Útil por afiação [min]:	58,36 min	137,07 min
Vida Útil por afiação [metros]:	123,84 m	290,88 m
Rendimento por afiação [cm ³]:	928,80 cm ³	2181,60 cm ³
Tipo de desgaste:	Lacunar lateral	Acarta partição
Critério de troca:	Dorqarto	Dorqarto
GANHO em Rendimento:		135% peças
GANHO em Vida Útil 1:		135% min
GANHO em Vida Útil 2:		135% cm ³
GANHO Tempo de usinagem:		0% min

Relatório Técnico de usinagem do Aço D2 (Experimentos de Laboratório).

Denominação:	PLACA
Operação:	FRESAR EM DESBASTE
Operação número:	3,2
Lote para análise (peças mês):	11
Máquina:	CENTRO USINAGEM MORI SEIKI SV-40
Máquina número:	1
Centro de custo:	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX



Moeda:	Real
--------	------

	ATUAL	PROPOSTO
Fabricante:	TaeguTec	TaeguTec
Código da Fresa:	FRESA MD 12,0mm	FRESA MD 12,0mm
Tempo de troca unitário:	10,00 minutos	5,00 minutos

Peças por afiação:	4,30 peças	10,10 peças
Qtd. de trocas por lote:	2,56 trocas	1,09 trocas
Quantidade de afiações por lote:	2,56 arestas	1,09 arestas
Quantidade de afiações possíveis:	0,00 arestas	5,00 arestas
Tempo de troca por lote:	25,58 minutos	5,45 minutos
Tempo ativo de corte:	13,57 minutos	13,57 minutos
Vida Útil 1:	58,36 minutos	137,07 minutos
Vida Útil 2:	928,80 cm ³ /min	2181,60 cm ³ /min

Custo da Fresa:	750,00 R\$	1850,00 R\$
Custo com reafiação "unitário":	35,00 R\$	35,00 R\$
Custo com reafiação por lote:	inexistente R\$	30,50 R\$
Custo ferramenta por lote:	1918,60 R\$	433,47 R\$
Custo máquina hora:	80,00 R\$	80,00 R\$
Custo máquina minuto:	1,33 R\$	1,33 R\$
Custo com troca por lote:	34,11 R\$	7,26 R\$
Tempo máquina por lote:	149,28 minutos	149,28 minutos
Custo com máquina por lote:	199,05 R\$	199,05 R\$

Ganho em peças por aresta:	134,88 %
Ganho em tempo de troca:	78,71 %
Ganho em tempo de usinagem:	0,00 %
Ganho em custo com ferramenta:	77,41 %
Custo total do lote:	2151,76 R\$
Proposta de ganho total por lote:	70,27 %

Relatório Econômico de usinagem do Aço D2 (Experimentos de Laboratório).