

N. CLASS. M 621.9
CUTTER C 615 F
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
MATHEUS VILELA CLAUDIANO

FERRAMENTA DE CORTE: Fresa de topo

Varginha

2015

MATHEUS VILELA CLAUDIANO

FERRAMENTA DE CORTE: Fresa de topo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para banca do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel em Engenharia Mecânica sob orientação do Prof. Especialista Fabiano Faria.

Varginha

2015

MATHEUS VILELA CLAUDIANO

FERRAMENTA DE CORTE: FRESA DE TOPO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao UNIS-MG pelo graduando Matheus Vilela Claudiano como requisito à obtenção de grau analisado pela banca examinadora.

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

Obs.:

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, por ter me guiado, pela sabedoria e persistência para chegar até aqui. Dedico também a minha família e namorada, que sempre me apoiaram nesta caminhada. Aos professores pelo conhecimento transmitido e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estes cinco anos de aprendizado e experiência adquirida ao lado dos professores do Centro Universitário do Sul de Minas, aos meus amigos de classe por toda a amizade criada neste período.

“Se vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

A tecnologia vem crescendo constantemente. Na indústria mecânica se vê cada vez mais esse crescimento, nos desenvolvimentos dos processos de fabricação, nas máquinas operatrizes modernas e a evolução contínua das ferramentas de corte. As ferramentas de corte são utilizadas para remoção de material na superfície da peça, esse processo é conhecido como usinagem, e por meio desse processo são fabricados diversos componentes mecânicos. Para o acompanhamento da tecnologia, fizeram-se necessários estudos voltados a uma melhor escolha das ferramentas de corte e de seus parâmetros de usinagem, devido ao aumento da demanda e da redução de custos com garantia de qualidade nos produtos. O aço AISI H13 é um aço ferramenta para trabalho a quente com uma excelente combinação entre dureza e resistência à fratura, com a manutenção destas propriedades em temperaturas até 600°C, resistência aos choques térmicos e às trincas por fadiga térmica. Este aço possui, ainda, níveis de usinabilidade, polibilidade e resposta à texturização, importante para o segmento de confecção de moldes para injeção de plásticos. Este trabalho mostrará a execução de duas fresas com diâmetros de 11 mm, uma delas feita de aço rápido e a outra de metal duro com revestimento de TiN (Nitreto de Titânio), para averiguar qual delas é mais viável para o fresamento do aço AISI H13, utilizando óleo refrigerante para um melhor acabamento superficial da peça. Para conclusão dos resultados, foi usinado um tarugo do aço AISI H13 em um centro de usinagem WOTAN M2, para a fabricação da matriz de um molde para injeção de rodas de carro. Com a finalização dos testes foi possível afirmar que a fresa de metal duro com revestimento de TiN é mais viável para usinagem nesse tipo de material, mesmo com um custo mais alto que a fresa de aço rápido.

Palavras-chave: Ferramentas de corte. Usinagem. Fresamento. Óleo refrigerante. Desgaste da ferramenta.

ABSTRACT

The technology has been growing constantly in the mechanical industry is increasingly seen that growth, the development of manufacturing processes, in modern machine tools and continuous development of cutting tools. The cutting tools are used for material removal in the work piece surface, this process is known as machining, and are manufactured through that process various mechanical components. Studies aimed at a more appropriate choice of cutting tools and their machining parameters were necessary for monitoring the technology, due to increased demand and lower prices for quality assurance in the products. The AISI H13 is a tool steel for hot working with an excellent combination of hardness and fracture toughness while maintaining these properties at temperatures up to 600 ° C, resistance to thermal shock and thermal fatigue cracking, the steel also has levels machinability, polish ability and response to major texturing for the segment of manufacture of molds for plastic injection. This work shows the execution of two cutters with 11 mm diameters, one of them made of high speed steel and carbide with another TiN coating on steel AISI H13 milling using refrigerant oil for better work piece surface finish. In conclusion of the results was a machined steel dowel AISI H13 WOTAN M2, for the manufacture of the matrix of a mold for car wheels injection. At the end of the test was possible to state that the tungsten carbide cutter with TiN coating is more feasible for machining this type of material, even with a higher cost that the fast steel mill.

Keywords: *Cutting tools. Machining. Milling. Coolant oil. Tool wear.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática das geometrias básicas do processo de fresamento..	16
Figura 2 - Métodos de fresamento.....	18
Figura 3 - Elementos dimensionais e ângulos principais de uma fresa.....	19
Figura 4 - Microestrutura do metal duro.....	24
Figura 5 – MicrodurezaVickers dos principais revestimentos de ferramenta de corte.....	25
Figura 6 – Tipos de desgastes em ferramentas de usinagem.....	26
Figura 7 – Desgaste de cratera na superfície de saída de uma ferramenta.....	28
Figura 8 – Desgaste de entalhe na superfície de saída de uma ferramenta.....	28
Figura 9 – Desgaste do gume na superfície de saída de uma ferramenta.....	29
Figura 10 - Comportamento do desgaste de uma ferramenta ao longo de sua vida T.....	29
Figura 11 – Sentidos práticos da aplicação do fluido de corte.....	33
Figura 12 - Máquina de erosão a fio modelo FanucRobocut.....	35
Figura 13 – Torno convencional modelo INSA 30 marca NARDINI.....	36
Figura 14 - Centro de usinagem WotanM2.....	37
Figura 15 - Tipos de Fresas.....	38
Figura 16 – Ferramenta-porta-ferramentas.....	39
Figura 17 – Pinça de 11mm para fixação da fresa.....	39
Figura 18 – Componentes usados para fixação da ferramenta.....	40
Figura 19 – tarugo do aço AISI H13 em bruto antes do corte para usinagem do molde.....	41
Figura 20 – Molde para injeção de rodas de alumínio concluído.....	41
Figura 21 – Desgaste no gume das fresas.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI–*American Iron and Steel Institute*
ap–Profundidade de corte
ae–Profundidade radial de usinagem
b–Largura de Usinagem
CVD–Deposição química de vapor
D–Diâmetro da fresa
EP–Extrema pressão
Fc–Força de corte
f - Avanço
fm–avanço da fresa
fz–Avanço de corte por dente
HRz–Dureza *Rockwell C*
ISO–*International Organization for Standardization*
IV- Índice de viscosidade
KF – Distancia da aresta a borda da cratera
KB – Largura da cratera
KT – Profundidade da cratera
I – Comprimento de amostragem
In – Comprimento de avaliação
M – Classe de material da ferramenta de corte
MQF – Mínima Quantidade de Fluido
Nl – Rotação da fresa
n – Numero de medidas
PVD – Deposição física de vapor
Ra – Rugosidade média aritmética dos desvios da superfície
Rq – Rugosidade média quadrática
Rt – Altura máxima de rugosidade
Rz – Média dos cinco maiores picos e maiores vales de um perfil
t – Tempo
TiN – Nitreto de Titânio
VB – Desgaste do flanco médio (mm)

$VB_{\text{máx}}$ – Desgaste do flanco máximo (mm)

V_c – Velocidade de corte

Y_1 – Comprimento de cada pico e vale

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 FRESAMENTO COMO UM PROCESSO DE USINAGEM.....	15
2.1 Fresa.....	18
2.2 Fresas de topo.....	18
2.2.1 Fresa de topo de haste cilíndrica.....	19
2.3 Materiais da Ferramenta de corte.....	20
2.3.1 Revestimentos para ferramentas.....	23
2.4 Desgastes da ferramenta de corte.....	26
2.4.1 Tipos de desgaste.....	27
2.5 Mecanismos de desgaste.....	30
2.6 Fluidos de corte.....	31
2.6.1 Classificação do fluido de corte.....	32
2.6.2 Aplicação do fluido de corte.....	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	35
4 CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

O aço é uma liga metálica formada por ferro e carbono, com percentuais de carbono variando entre 0,008 e 2,11%. Distingue-se do ferro fundido, que também é uma liga de ferro e carbono, mas com teor de carbono entre 2,11% e 6,67%. A classificação mais comum é de acordo com a composição química. Dentre os sistemas de classificação química, o SAE é o mais utilizado e adota a notação ABXX em que AB se refere ao elemento de liga, adicionados intencionalmente, e XX ao percentual em peso de carbono multiplicado por cem.

A mais importante liga metálica atualmente é o aço, sendo utilizado de forma intensa em numerosas aplicações tais como máquinas e ferramentas. Apresenta uma interessante combinação de propriedades mecânicas que podem ser modificadas dentro de uma ampla faixa, variando-se os componentes da liga e as suas quantidades mediante a aplicação de tratamentos.

O aço escolhido para testes é o AISI H13, aço ferramenta para trabalho a quente e moldes para injeção de plástico dentre outros materiais, caracterizado por alta resistência a trincas por fadiga térmica; excelentes propriedades mecânicas; boa tenacidade, polibilidade e usinabilidade; boa estabilidade dimensional durante o tratamento térmico; pouco sensível a choques térmicos, quando resfriado por água; boa resistência ao desgaste (SERRAMETAL, 1985).

Segundo Ferraresi(1977), a usinagem é um processo de fabricação que tem como objetivo conferir forma, dimensões e acabamento em um material bruto por meio da ação de uma ferramenta pela remoção controlada do cavaco.

Existem vários processos de usinagem, o abordado no trabalho será o de fresamento. Este processo é extremamente versátil e gera alta taxa de remoção de material, sendo utilizado em larga escala nas indústrias.

Fresa é uma ferramenta que possui arestas cortantes. A cada rotação dessas arestas é removida uma quantidade de material na forma de cavacos. Ferramenta e peça se movimentam em mais de uma direção ao mesmo tempo, podendo ser obtidas superfícies com orientações diferentes. São considerados dois movimentos no fresamento: avanço da peça e rotação da ferramenta.

Existem alguns parâmetros a serem observados, como o movimento de corte que é o movimento entre a peça e a ferramenta, sem cujo movimento de avanço, origina somente uma única remoção de cavaco, durante uma volta ou um curso. O movimento de avanço, por sua vez, seria o movimento entre a peça e a ferramenta, que, justamente com o movimento de corte, origina um levantamento repetido ou contínuo de cavaco, durante várias revoluções ou cursos.

O movimento efetivo de corte é o resultado dos movimentos de corte e avanço, realizados ao mesmo tempo. Por fim a profundidade de corte é o movimento entre a peça e a ferramenta, cuja espessura da camada de material a ser retirada é determinada de antemão.

O fluido usado foi o ALL PS300 e tem como característica introduzir uma melhoria no processo de usinagem dos metais. A melhoria pode ser funcional ou econômica. No caráter funcional são aquelas que facilitam o processo de usinagem, conferindo a este um desempenho melhor, como por exemplo: redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco; expulsão do cavaco da região de corte; refrigeração da ferramenta; refrigeração da peça em usinagem; melhor acabamento superficial da peça em usinagem; refrigeração da máquina ferramenta. E no fator economia são aquelas que induzem a um processo de usinagem mais econômico, como por exemplo: redução do consumo de energia de corte; redução do custo da ferramenta na operação; impedimento de corrosão da peça em usinagem (FERRARESI, 1970).

O desenvolvimento do presente trabalho visa estudar como se comportam duas ferramentas de corte de mesmo diâmetro 11 mm, uma delas feita de aço rápido e a outra de metal duro com revestimento de TiN, afim de mostrar que a ultima é mais viável para usinagem do material em questão. Ambas irão usinar o aço AISI H13 com um tempo estipulado de 40 minutos. Usando parâmetros de usinagem estipulados pelo fabricante, como avanço e velocidade de corte.

2 FRESAMENTO COMO UM PROCESSO DE USINAGEM

A usinagem é caracterizada pela submissão de um material bruto à ação de uma máquina e/ou ferramenta para ser trabalhado. É um processo utilizado na fabricação de diversos componentes, visando atender à crescente demanda dos mais variados setores da indústria. Por formas específicas para tanto, faz-se necessário produzir peças cada vez mais complexas, com tolerância dimensional e tolerância geométrica bem definidas, bom acabamento superficial, baixo custo e, além disso, atentar para as questões ambientais.

Esse processo envolve fenômenos como deformação plástica, impacto, fratura, desgaste, pontos de contato intermitentes, contínuos e formação de cavacos. Geração de calor e elevada temperatura de corte são características fundamentais, que podem ser medidas indiretamente por meio de sensores.

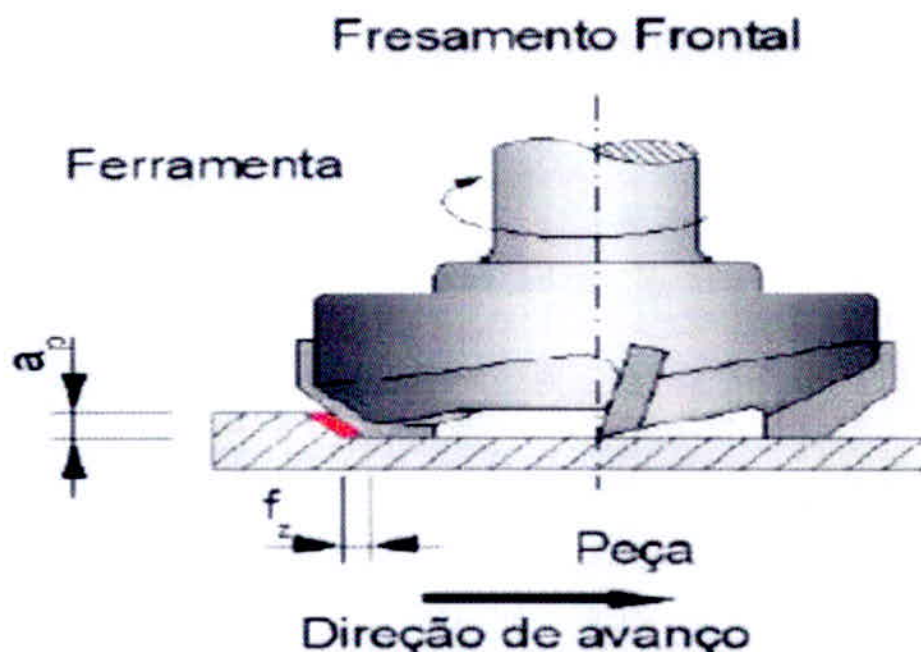
Atualmente, observam-se melhorias nesse processo, tais como precisão de movimentos obtidos e diminuição de vibrações mecânicas com o aumento da rigidez, em função da evolução da máquina ferramenta. Tal evolução tecnológica encontra sua expressão máxima na usinagem a elevadas velocidades de corte, com melhoramento em acabamento superficial ocorrido em máquinas com os recursos de comando numérico.

No campo da usinagem, o aspecto a ser ressaltado neste trabalho é o fresamento - movimento de corte realizado por meio de uma ferramenta chamada fresa. A fresa é provida de arestas cortantes dispostas simetricamente em torno de um eixo. O corte se dá pela rotação da fresa ao redor de seu próprio eixo e pelo movimento de avanço feito pela peça que está fixada na mesa da máquina, o qual obriga a peça a passar sob a ferramenta em rotação, que lhe dá forma e dimensão desejadas (DINIZ et. al., 2000).

O fresamento é usado para produção de formas curvadas e/ou cavidades, dependendo da posição do eixo-árvore da máquina. Assim, podem ser utilizados planos de trabalho horizontal ou vertical.

A Figura 1 mostra a geometria básica do processo de fresamento, onde se observam as variáveis do processo como: profundidade de corte a_p , direção de avanço, velocidade de corte e rotação (INTRODUÇÃO..., 2010).

Figura 1 - Representação esquemática das geometrias básicas do processo de fresamento, como profundidade de corte (a_p) avanço (f_z)



Fonte: (INTRODUÇÃO...,2010).

Os principais métodos de fresamento são tangencial, frontal e de topo. Quando o plano de trabalho é perpendicular à superfície usinada (ou seja, vertical) tem-se o fresamento tangencial. O eixo da fresa fica, portanto, paralelo à peça. O objetivo desse tipo de fresamento é a produção de rasgos profundos e superfícies complexas, além das superfícies planas (SOUTO, 2007).

O frontal é utilizado para produção de superfícies planas. O plano de trabalho é horizontal, contendo as direções de corte e o avanço paralelos à superfície a ser usinada.

Existem certas vantagens do fresamento frontal em relação ao tangencial. São elas: melhor relação de remoção de material por potência consumida, força de corte melhor distribuída, maior rigidez da fresa, maior eficiência de corte e menor tempo requerido para mudança de ferramenta.

Por fim, o fresamento de topo caracteriza-se pela combinação entre o fresamento frontal e o tangencial. O corte ocorre nos dois planos de trabalho, paralelo e perpendicular, em relação ao eixo de rotação da fresa. A relação entre o diâmetro da fresa e o seu comprimento é pequena nesse fresamento, o que afeta a rigidez do sistema de fixação. Isso pode acarretar danos à máquina ferramenta e à peça usinada, exigindo controle dos parâmetros de corte tais como avanço, velocidade e profundidade de corte.

No processo em questão, a fresa e suas características merecem destaque. Algumas dessas características são: o número de arestas, o ângulo de hélice, o material e tipo de cobertura. As fresas mais comuns são de canto vivo, esféricas e de ranhura. O número de dentes da fresa também é importante, pois influencia a taxa de remoção do metal.

Parâmetros de usinagem como velocidade de corte e avanço, juntamente com geometria da ferramenta e principalmente condições da máquina como alinhamento e fixação da ferramenta, influenciam no acabamento superficial e nas tolerâncias por meio do fresamento de topo (SILVA, 2010 apud TODD ; ALLEN ; Alting, 1994).

A porção de material da peça retirada pela ferramenta tem se o nome de cavaco. Sempre apresenta forma geométrica irregular (FERRARESI, 1977). A quantidade de cavaco produzida no fresamento é um dos critérios utilizados para se medir a usinabilidade de um material. Essa quantificação também pode ser feita por meio do número de componentes produzidos por hora, do custo de usinagem do componente ou da qualidade final da superfície trabalhada (TRENT et al, 2000).

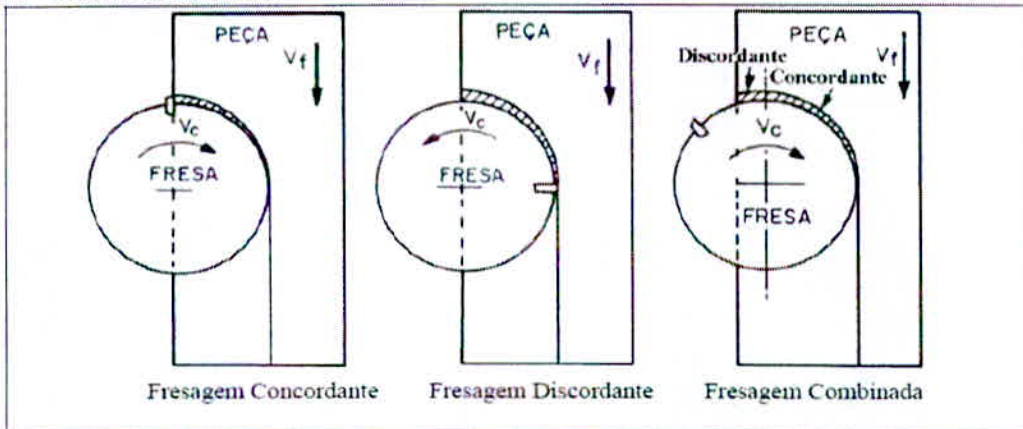
O fresamento é um processo extremamente complexo e tem diversas variáveis envolvidas, podendo afetar diretamente o seu resultado. Como exemplo, podemos citar a geometria e o tipo da ferramenta, o material e estrutura da peça, a rigidez da máquina, os parâmetros de corte e os tipos de fresamento. A relação entre todas essas variáveis nem sempre fica bastante clara, mas precisa ser analisada a fim de determinar as melhores condições de corte que, por sua vez, trarão os melhores resultados.

De acordo com Stemmer (1995), as direções de corte e de avanço, diferenciam-se o fresamento em concordante e discordante.

No fresamento concordante os movimentos de corte da ferramenta e de avanço da peça têm o mesmo sentido, iniciando-se o corte com a espessura máxima do cavaco. Neste método a força de usinagem é direcionada para a peça, forçando-a contra a mesa.

No fresamento discordante os movimentos de corte e de avanço têm sentidos opostos, iniciando-se o corte com a espessura mínima do cavaco. Neste método, a força de usinagem tende a levantar a peça, fazendo com que as peças finas percam seu apoio na mesa ou vibrem. No caso de o eixo da fresa interceptar o material da peça, tem-se simultaneamente, fresamento concordante e discordante, ou seja, fresamento combinado. A figura 2 representa estes métodos.

Figura 2 - Métodos de fresamento



Fonte: (STEMMER et al, 1995).

2.1 Fresa

As fresas são ferramentas rotativas de usinagem, providas usualmente de múltiplos gumes (excepcionalmente um só), dispostos simetricamente ao redor do seu eixo axial, com objetivo de remover intermitente material da peça. A palavra fresa vem do termo francês “fraise” que significa morango. Correspondia inicialmente a uma ferramenta manual primitiva, em forma de uma bola, na qual, antes da têmpera se levantavam, com uma talhadeira, numerosas rebarbas. Esta ferramenta, pelo seu aspecto e forma geral, lembrava a fruta que lhe deu o nome (STEMMER et al, 1995).

As fresas são classificadas segundo dois critérios: quanto à forma geométrica e quanto à construção. Quanto à forma geométrica podemos classificar as fresas em:

- a) Fresas cilíndricas
- b) Fresas de disco
- c) Fresas angulares
- d) Fresas detalonadas ou de forma
- e) Fresas de haste ou de topo

Por serem utilizadas nesse trabalho, trataremos somente das fresas de topo, mais especificamente das fresas de topo de haste cilíndrica.

2.2 Fresas de topo

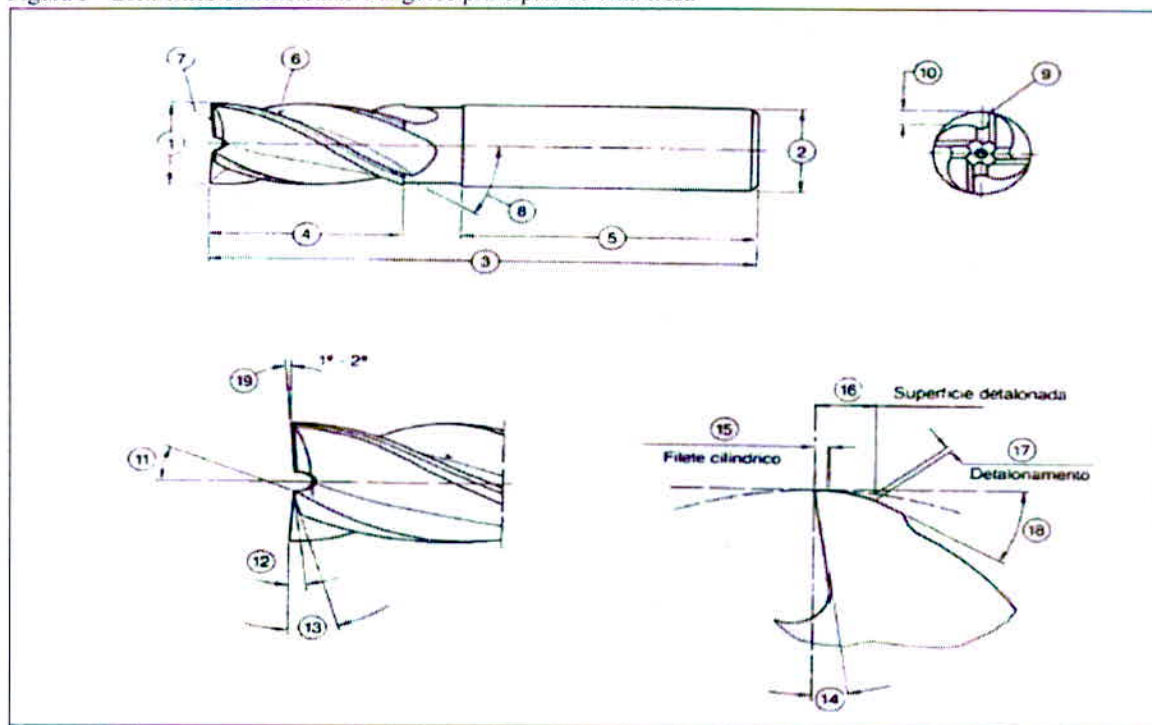
As fresas de topo são usadas para facear, ranhurar, fazer rebaixos, matrizes, gravações, rasgos de todos os tipos e tamanhos, fresar contornos, etc. Este tipo de fresa corta tanto na

periferia como na parte frontal, podendo ser de corte à direita ou à esquerda, com ranhuras retas, em hélice direita ou hélice esquerda. Se o corte se efetuar simultaneamente na periferia e na parte frontal, a direção de corte e da hélice deve ser correspondente (usualmente corte à direita e hélice à direita), pois dessa forma, os cavacos são puxados para cima, gerando-se, porém uma força axial que tende a tirar a ferramenta de seu suporte (cone ou mandril).

2.2.1 Fresa de topo de haste cilíndrica

Conforme a norma DIN 844, estas fresas apresentam de 2 a 10 gumes, dependendo do diâmetro. Os elementos dimensionais e os ângulos principais estão indicados na figura 3

Figura 3 - Elementos dimensionais e ângulos principais de uma fresa



Fonte: (STEMMER et al, 1995).

Onde: 1. d_1 – diâmetro dos gumes/ 2. d_2 – diâmetro da haste/ 3. l_1 – comprimento total/ 4. l_2 – comprimento dos gumes/ 5. l_3 – comprimento da haste/ 6. gume principal – periférico/ 7. gume secundário – de topo/ 8. λ – ângulo de hélice do gume principal/ 9. Dente/ 10. altura do dente/ 11. γ'_{p2} – ângulo de saída passivo do gume secundário/ 12. α_{p1} – 1° ângulo de incidência passivo do gume secundário/ 13. α_{p2} – 2° ângulo de incidência passivo do gume secundário/ 14. γ° – ângulo de saída ortogonal do gume principal/ 15. ba_1 – largura do 1° flanco cilíndrico – $\alpha_{01} = 0^\circ$ / 16. ba_2 – largura do 2° flanco detalonado/ 17. valor do detalonamento/ 18. α_{03} – 3° ângulo de incidência ortogonal do gume principal/ 19. $k'r$ – ângulo de direção do gume secundário/ 20. z – número de gume.

Quanto à construção podemos dividir as fresas em:

- Fresam indexadas ou intercambiáveis, que são constituídas de um corpo de aço no qual são montadas os insertos do material atuante no corte. Este sistema permite utilizar os mais

variados tipos de insertos intercambiáveis, nos mais diferentes tamanhos e geometrias. Há possibilidades de ajuste de posição no gume e fácil troca dos gumes danificados;

- b) Fresas soldadas, que são constituídas de um corpo de aço, em cujos dentes são brasadas “pastilhas” do material de corte, podendo estas ser de aço rápido, metal duro, cerâmica, entre outros. Estas fresas têm como vantagem, em relação as fresas inteiriças, o reaproveitamento de seu corpo após o desgaste dos dentes cortantes;
- c) Fresas inteiriças, são feitas de uma peça apenas, geralmente de aço rápido ou metal duro. Neste trabalho foi utilizado fresa inteiriça, especificamente duas fresa de topo de haste cilíndrica, uma de aço rápido e outra de metal duro.

2.3 Materiais da Ferramenta de corte

A definição do material a ser empregado em uma ferramenta envolve uma série de fatores: material a ser usinado, sua dureza, tipo de cavaco, forma e dimensão da ferramenta de usinagem; o tipo de processo de usinagem, ou seja, corte interrompido, corte contínuo, acabamento ou desbaste, condições da máquina em termos de rigidez e, por fim, sistema de refrigeração das ferramentas também são fatores a serem considerados.

Na usinagem, os materiais mais usados como ferramentas são o aço rápido e o metal duro. As ferramentas de aço rápido são na verdade aços liga cujos elementos de liga principais são W, Mo, Cr, V, Co e Nb fazendo com que estes aços obtenham maior resistência ao desgaste, maior tenacidade e dureza a quente. O principal uso do aço rápido continua a ser na fabricação de varias ferramentas de corte como serras, fresas, brocas, bits de usinagem. A grande utilização deste material se dá por apresentar um custo relativo baixo. Aliando estas características a um revestimento, obtém-se uma grande aplicabilidade deste material nas indústrias (DINIZ; MARCONDES; COPPINI; et al, 2000).

Existem duas classes de aço rápido segundo a norma AISI e SAE. Aços rápidos ao molibdênio, ou grupo “M”, e ao tungstênio, ou grupo “T”. Estes grupos, por sua vez, são divididos em dois subgrupos contendo cobalto. Tem-se dessa forma, os tipos ao W e os tipos ao W – Co, indicados nessa classificação com a letra “T”, e os tipos ao Mo e ao Mo – Co, ambos indicados na classificação AISI e SAE com a letra “M”. A tabela a seguir apresenta a composição e características do aço rápido. (CHIAVERINI, Vicente, 1981)

Quadro 1 – Composição e características dos aços rápidos

Tipo de Aço	Classificação SAE	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co	Tenacidade*	Resistência ao Desgaste*	Dureza a Quente*		
		%												
ao W	T1	0,70				1,00	18,00			Baixa	Muito Boa	Muito Boa		
	T2	0,85				2,00	18,00							
	T3	1,00				3,00	18,00	—	—					
	T7	0,80				2,00	14,00							
	T9	1,20				4,00	18,00							
ao W-Co	T4	0,75				1,00	18,00		5,00			Baixa	Muito Boa	Excelente
	T5	0,80				2,00	18,00		8,00					
	T6	0,80				1,50	20,00	—	12,00					
	T8	0,80				2,00	14,00		5,00					
ao Mo	M1	0,80	0,30	0,25	4,00	1,00	1,50	8,00						Baixa
	M2	0,85				2,00	6,00	5,00	—					
	M3	1,00				2,75	6,00	5,00						
	M4	1,30				4,00	5,50	4,50						
	M10	0,85				2,00	—	8,00						
ao Mo-Co	M6	0,80				1,50	4,00	5,00	12,00	Baixa	Muito Boa			
	M30	0,85				1,25	2,00	8,00	5,00					
	M34	0,85				2,00	2,00	8,00	8,00					
	M35	0,85				2,00	6,00	5,00	5,00					
	M36	0,85				2,00	6,00	5,00	8,00					

Fonte: (STEMMER, 1995)

* As observações quanto a propriedades de tenacidade, resistência ao desgaste e dureza a quente são comparadas com as propriedades dos aços carbonos usados para ferramenta.

Os aços rápidos ao molibdênio contêm molibdênio, tungstênio, cromo, vanádio e cobalto como principais elementos de liga. A principal vantagem do grupo “M” é o menor custo e isso justifica a sua maior utilização. Nesses aços elevando-se o conteúdo de carbono e vanádio melhora-se a resistência ao desgaste. Um maior teor de cobalto aumenta a dureza a quente sacrificando, no entanto, a tenacidade. A dureza máxima que pode ser obtida varia com a composição. Para aqueles com menor conteúdo de carbono, como M1, M2, M30, M33, M34 e M36, a dureza máxima está em torno de 65 HRC, enquanto que nos aços com teores de carbono mais elevados, incluem M3 e M4, a dureza máxima é de 67 HRC, contudo são restritas as suas aplicações industriais quando apresentam este nível de dureza.

Os aços a tungstênio, além deste contém cromo, vanádio, cobalto e carbono como principais elementos de liga. Possuem tenacidade levemente menor do que o grupo “M”, mas apresentam dureza a quente um pouco superior. Ambos os grupos são equivalentes em performance e outros aspectos, incluindo a capacidade de endurecimento. As aplicações típicas para ambas as categorias incluem ferramenta de corte de todos os tipos como brocas, alargadores, fresas e machos.

Metal duro é o nome dado a uma liga de carboneto de tungstênio, produzido por metalurgia do pó. O produto é obtido pela prensagem e sinterização de uma mistura de pós de carboneto e outros materiais de menor ponto de fusão, chamados aglomerantes (cobalto, cromo, níquel ou uma combinação deles).


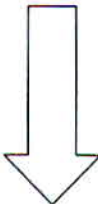


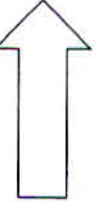

Após a prensagem, o composto já tem consistência suficiente para ser usinado na forma desejada, ou bem próximo dela. Ocorre a seguir o processo de sinterização, aquecimento a uma temperatura suficiente para fundir o aglomerante, que preenche os vazios entre os grãos dos carbonetos. O resultado é um material de dureza elevada, dependendo do teor de aglomerante e do tamanho de grão do carboneto. As maiores durezas são conseguidas com baixos teores de aglomerante e tamanho de grão reduzido. Por outro lado maior tenacidade é obtida aumentando o teor de aglomerante e/ou aumentando o tamanho de grão.

A grande aplicação dos metais duros, fabricados no processo de metalurgia do pó, deve-se ao fato de eles possuírem a combinação de resistência ao desgaste, resistência mecânica e tenacidade em altos níveis.

O grande sucesso do metal duro se dá na indústria, pois permite maiores velocidades de avanço e de corte no processo de usinagem, ganhando em produção.

O quadro 2 classifica os metais duros em grupos, designados pelas letras P, M, K.

Quadro 2 - Classificação do metal duro segundo norma

Classificação do metal duro		
Designação ISO	Dureza e resistência ao desgaste	Tenacidade
P01		
P10		
P20		
P25		
P30		
P40		
P50		
M10		
M20		
M30		
M40		
K01		
K05		
K10		
K20		
K30		
K40		

Fonte: ISO 513/2004

De acordo com esta classificação, o grupo K foi o primeiro tipo de material duro a ser desenvolvido. O metal duro desta classe é composto de carbonetos de tungstênio aglomerados pelo cobalto, também conhecida por classe dos ferros fundidos, portanto são usadas na usinagem de materiais frágeis, que formam cavacos curtos tendo assim menor atrito entre cavaco e a região de superfície de saída, sendo assim não muito resistentes ao desgaste de cratera (DINIZ; MARCONDES; COPPINI; et al, 2000).

O grupo P, devido sua constituição obtendo metais duros de elevado teor de $TiC+TaC$, é atribuído a esta classe uma elevada dureza a quente e resistência ao desgaste. Tem como característica a usinagem de materiais que produzem cavacos contínuos, que por formarem uma área de atrito maior com a superfície de saída tendem a desgastar bastante a ferramenta.

O grupo M é um grupo com propriedades intermediárias e aplicações múltiplas, utilizados em aços resistentes a altas temperaturas, resistentes a corrosão normalmente aços inoxidáveis. A vida de uma ferramenta é uma das mais importantes considerações econômicas na usinagem dos metais. Condições de corte onde ocorrem quebras, desgaste excessivo e avarias fazem com que a ferramenta de corte não produza mais, elevando assim o custo na produção.

2.3.1 Revestimentos para ferramentas

O objetivo maior de se revestir uma ferramenta é aliar características múltiplas às ferramentas de corte dando um desempenho bem superior a uma ferramenta sem revestimento na usinagem de materiais ferrosos. A grande influência deste revestimento se dá em razão da grande proteção contra os desgastes, redução do atrito no corte, prática de cortes a seco e aumento de sua vida útil. Os revestimentos são adicionados tendo como base da ferramenta o metal duro.

A Figura 4 representa a composição de uma ferramenta de metal duro com múltiplos revestimentos.

Figura 4 - Microestrutura do metal duro



Fonte: (NORMA ISO 513, 2004).

A resultante de se revestir uma ferramenta de corte é obter propriedades mecânicas como resistência ao desgaste, dureza a quente e tensões compressivas.

Como propriedades físicas, tem-se a estabilidade química, boa adesão e resistência à corrosão, tanto a temperatura ambiente quanto à temperaturas elevadas.

Existem vários modos de se fazer o revestimento de ferramentas, entre eles o processo CVD (deposição química a vapor) que consiste em depositar material sólido a partir de uma fase gasosa. Neste processo, o substrato é colocado num reator aquecido à temperatura superior a $1000^{\circ}C$ que recebe alimentação através de gases – O princípio do processo é a reação química entre os gases. O produto desta reação é um material sólido que condensa sobre todas as superfícies dentro do reator formando uma película de revestimento desejada sobre o substrato. De acordo com Eskildsen et al (1999), os revestimentos depositados por CVD tem espessura de 5 e $20\mu m$.

O Processo PVD (deposição física a vapor) é uma técnica de deposição de filmes finos metálicos ou cerâmicos por meio da vaporização destes materiais em câmaras especiais. De forma geral este processo envolve controle de aquecimento, potencial e pressão. O processamento PVD é feito sob alto vácuo e temperaturas que variam entre $150^{\circ}C$ e $500^{\circ}C$. O Material de revestimento sólido de alta pureza (metais como titânio, cromo, e alumínio) é evaporado por calor ou bombardeado com íons (deposição catódica). Ao mesmo tempo, é introduzido um gás reativo como nitrogênio formando um composto com vapor metálico que se deposita nas ferramentas na forma de um revestimento fino e altamente aderente.

No PVD, assim como no CVD, as espécies precursoras da reação encontram-se na fase de vapor. Apesar de similares, os processos CVD e PVD não competem entre si. Ao contrário disso, nas plataformas mais modernas de produção de filmes ultrafinos, os processos são empregados de forma íntegra potencializando as vantagens que cada um tem intrinsecamente e

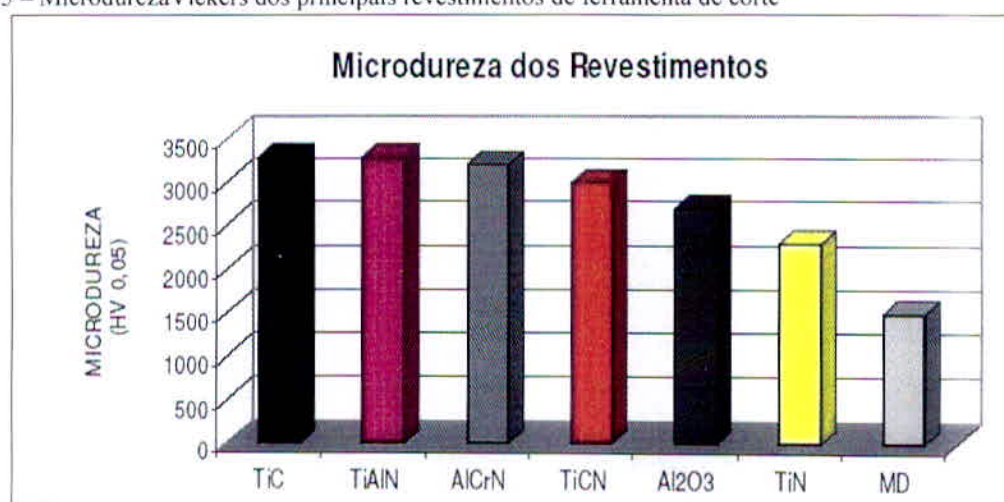
consequentemente minimizando os fatores desfavoráveis. No processo PVD se encontram crateras profundas (diâmetros de 5 - 40 μ m), estruturas cônicas com diâmetros de 1 μ m, poros e bolhas que se apresentam ao longo do revestimento. Isso foi estudado por Panjan, et al (2008), utilizando microscopia de varredura e microscopia de força atômica e perfilometria.

Por meio dos processos de deposição, são utilizados diversos revestimentos como o carboneto de titânio (TiC) e carbonitreto de titânio (TiCN) que possuem excelente resistência ao desgaste por abrasão. Sua dureza é da ordem de 3000HV, tem baixa tendência de soldagem com o material da peça, dificultando o desgaste por adesão, formação de aresta postiça de corte e baixo coeficiente de dilatação térmica.

Usa-se também o óxido de alumínio (Al₂O₃) (processo CVD) que garante a estabilidade térmica em temperaturas elevadas, alta resistência a ataques químicos e à oxidação. Apresenta pequena resistência a choques térmicos e mecânicos.

Outro revestimento utilizado é o nitreto de titânio (TiN) (processo PVD) onde se reduz o coeficiente de atrito entre a aresta de corte e o cavaco. É quimicamente mais estável que o TiC, tem menor tendência a difusão com aços, suas espessuras da camada está entre 5 a 7 μ m. Tem uma dureza de aproximadamente de 2400HV, temperatura máxima de trabalho de 600°C e a coloração amarela (Abele .et al., 2002).A Figura 5 apresenta a os valores de dureza Vickers para os principais revestimentos.

Figura 5 – MicrodurezaVickers dos principais revestimentos de ferramenta de corte



Fonte: (Abele .et al., 2002).

Em uma inspeção final no processo de revestimento, verificam-se vários fatores para se obter um produto de qualidade, dentre eles composição química da camada, estrutura do material a ser revestido, aderência ao substrato e propriedades mecânicas (SANTOS, 2004).

2.4 Desgastes da ferramenta de corte

O desgaste de uma ferramenta é considerado como uma perda contínua e microscópica de partículas da ferramenta devido à ação do corte (DINIZ; MARCONDES; COPPINI; et al, 2000). São considerados como problemas críticos na usinagem, pois prejudica a produção e diminui a qualidade final do produto. Considera-se que esta ferramenta tem-se uma vida útil que é definida como sendo o tempo em que a mesma trabalha efetivamente, sem perder o corte ou até que se atinja o critério de fim de vida (ISO 8688 -1).

O percurso de corte estabelecido através da vida da ferramenta (t) em minutos pode ser expresso pela equação:

$$Lc = Vc * (t/1000)$$

Vc = Velocidade de corte

Lc = Percurso de corte

O percurso de avanço para uma vida da ferramenta pode ser expresso: (DINIZ et al, 1999)

$$Lf = f * n * t$$

n = número de rotações em rpm

t = tempo

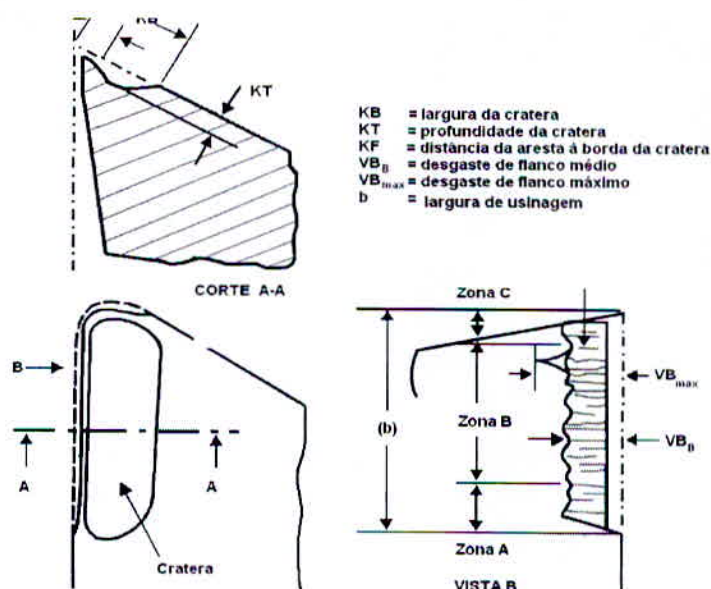
f = avanço em mm/rot.

O desgaste pode ser avaliado por métodos diretos, nos quais se mede a geometria da ferramenta por meio de inspeção visual, utilizando lupas, e inspeção ótica, utilizando microscópios. Nos métodos indiretos, utiliza-se a aquisição de valores medidos como aumento das vibrações, aumento do ruído, piora da qualidade superficial da peça e aumento de forças na usinagem.

Por maior que seja a dureza e a resistência ao desgaste das ferramentas de corte e por menor que seja a resistência mecânica da peça de trabalho, a ferramenta sofrerá um processo de destruição que, mais cedo ou mais tarde, exigirá sua substituição (MACHADO et al, 1999).

A figura 6 mostra alguns tipos de desgaste e suas variáveis de medição em ferramentas de usinagem.

Figura 6 – Tipos de desgastes em ferramentas de usinagem



Fonte: (NORMA ISO 3585, 1993).

De acordo com a norma ISO 3585, desgastes nas ferramentas de corte de aço rápido e metal duro são quantificados utilizando-se os parâmetros: $KT = 0,06 + 0,3 f$, onde f é avanço em mm/rev, $VB_m = 0,3$ mm, $VB_{máx} = 0,6$ mm como critério de vida da ferramenta (Figura 6).

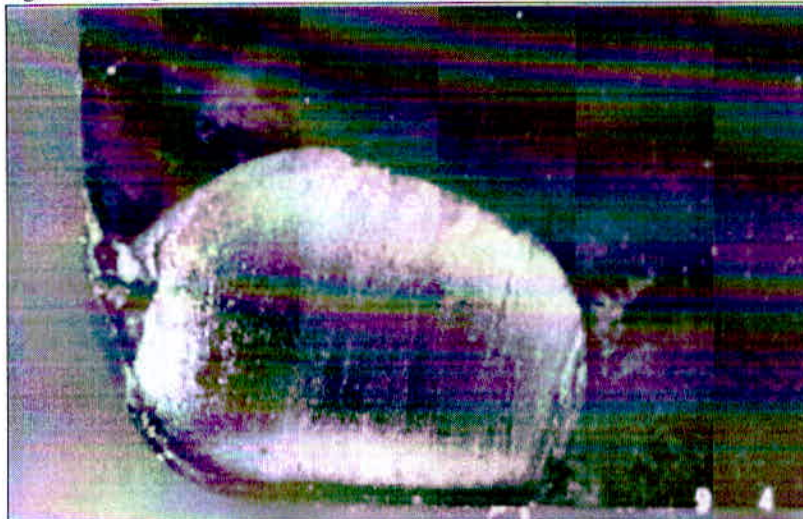
2.4.1 Tipos de desgaste

Durante o processo de usinagem dos metais, ocorre o contato físico da ferramenta com a peça e o contato do cavaco com a ferramenta, em um determinado meio e condições dinâmicas de corte. Isto conseqüentemente acarretará mudanças na geometria e na forma original da aresta de corte da ferramenta, devido à ocorrência de desgaste progressivo.

Em cada área de desgaste de uma ferramenta é condicionado um desgaste específico como na superfície de saída, onde se origina o desgaste de cratera. O desgaste está associado às elevadas temperaturas geradas na interface cavaco/ferramenta, ocorrendo devido à combinação de mecanismos de desgaste denominados difusão e adesão. A profundidade e a largura da cratera formada estão relacionadas à velocidade e ao avanço empregado durante o processo de corte (FERRARESI, 1977). Ocorrendo o crescimento do desgaste de cratera, gera-se a quebra da ferramenta quando tal desgaste se encontra com o desgaste frontal (DINIZ et al, 2000).

A figura 7 representa o desgaste de cratera de uma ferramenta localizada na superfície de saída de uma ferramenta.

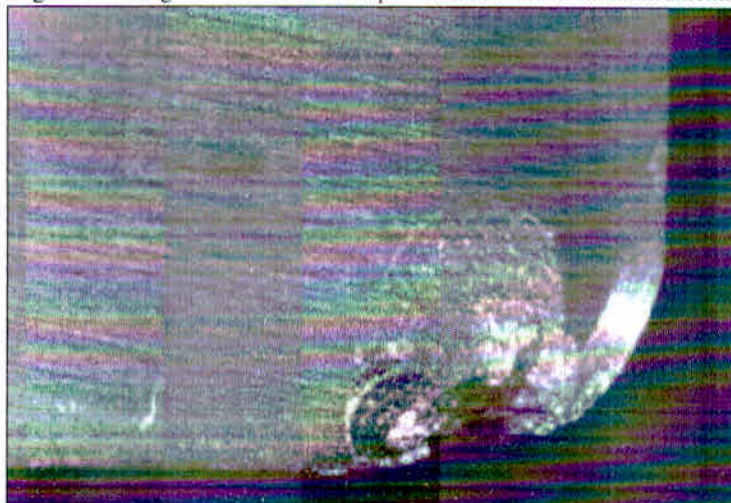
Figura 7 – Desgaste de cratera na superfície de saída de uma ferramenta



Fonte: (INTRODUÇÃO...,2010).

É dado como desgaste de entalhe a avaria formada na aresta principal de corte aparecendo nas extremidades do gume da ferramenta, tendo como prováveis características: concentrações, tensões na ferramenta e uma camada abrasiva de óxido na superfície a ser usinada (SHAW,1984). (Figura 8)

Figura 8 – Desgaste de entalhe na superfície de saída de uma ferramenta

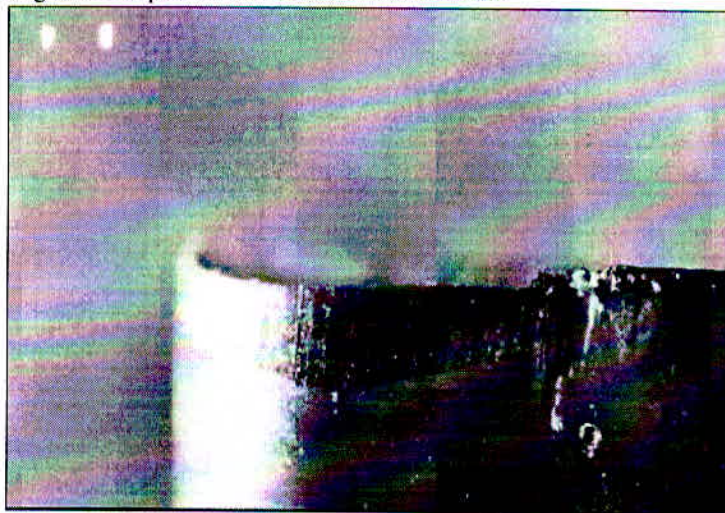


Fonte: (INTRODUÇÃO...,2010).

Outro desgaste encontrado está localizado na superfície de folga da ferramenta, pois este apresenta perda neste ângulo de folga durante a usinagem, tendo um maior contato com a

peça, aumentando assim seu atrito. Isso faz com que a peça perca suas características dimensionais e piore no seu acabamento superficial. Este desgaste é considerado o mais comum no fresamento sendo como processo definidor da falha de uma ferramenta (DINIZ et al,2000). (Figura 9)

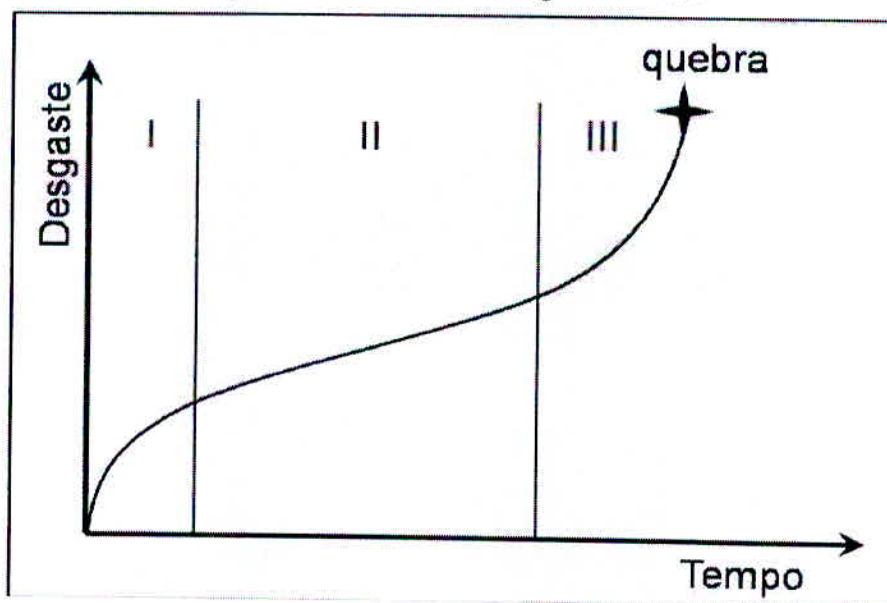
Figura 9 – Desgaste do gume na superfície de saída de uma ferramenta



Fonte: (INTRODUÇÃO...,2010).

Este desgaste é incentivado pelo aumento da velocidade de corte. A figura 10 apresenta o desgaste de gume de uma ferramenta constando três etapas de sua evolução.

Figura 10 - Comportamento do desgaste de uma ferramenta ao longo de sua vida T



Fonte: (TRENT et al, 2000).

Na primeira etapa, a curva possui alta taxa de desgaste no gume, caracterizada pela fase de acerto das arestas cortantes e adaptação do processo. A etapa II é caracterizada por um desgaste contínuo, uniforme e uma evolução menos acentuada. Com a evolução do desgaste, é atingida a etapa III. Quando a ferramenta chega ao seu fim de vida, ou fase catastrófica por motivos de alto desgaste ou falha, devendo assim ser substituída (LENZ et al, 1978).

2.5 Mecanismo de desgaste

É considerado como mecanismo de desgaste todo fenômeno distinto capaz de provocar ou causar um desgaste de uma ferramenta de corte. A difusão, abrasão, oxidação e adesão são mecanismos que promovem desgastes por meio de deformação plástica por cisalhamento, ocorridos na usinagem de metais com alto ponto de fusão em ferramentas de aço rápido. Ocorre também a deformação por altas tensões de compressão ou entalhe cujo processo ocorre na usinagem dos materiais de alta dureza (TRENT et al, 2000).

Adesão/Aresta postiça de corte: O fenômeno de formação de um extrato metálico entre duas superfícies em contato, no qual ocorre a migração de partículas de uma superfície para a outra pode ocorrer sob baixas temperaturas de corte. Características:

- Contribui na formação do desgaste de entalhe. Pode ser minimizado pelo uso adequado do fluido de corte (lubrificação) e o uso de materiais de ferramenta com baixo coeficiente de atrito.

Abrasão: Fenômeno gerado pelo atrito entre as superfícies em contato. Características:

- Ocorre no desgaste de flanco e de cratera; porém é mais proeminente no desgaste de flanco, já que a superfície de folga atrita com um elemento rígido (peça).

Difusão: É um fenômeno microscópico que consiste na transferência de átomos de um metal para o outro, ativada pela temperatura de corte e pela afinidade físico-química dos dois metais envolvidos. Características importantes:

- Ocorre principalmente na superfície de saída (altas temperaturas), sendo o principal mecanismo para formação do desgaste de cratera.

Oxidação: fenômeno que ocorre a altas temperaturas e na presença de ar e água (contida no fluido de corte). Provoca a formação de óxidos porosos na superfície da ferramenta, que são facilmente levados pelo atrito. Características:

- Forma-se especialmente nas extremidades do cavaco, devido ao acesso do ar/fluido nesta região;
- Fundamental para o desgaste de entalhe.

2.6 Fluidos de corte

Fluidos de corte são aqueles líquidos e gases aplicados na ferramenta e no material que está sendo usinado a fim de facilitar a operação de corte. Frequentemente são chamados lubrificantes ou refrigerantes em virtude das suas principais funções na usinagem. Usando o fluido corretamente podem-se obter muitos benefícios, observados na qualidade e na produtividade.

A seleção do fluido de corte adequado depende do tipo de serviço a executar. Com o avanço das experiências, notou-se que o fluido de corte pode contribuir de muitas maneiras para a melhoria do corte, exercendo funções como refrigerar, lubrificar, reduzir o desgaste da ferramenta, remoção de cavacos, proteger contra corrosão e melhorar o acabamento superficial. Utiliza-se como refrigerante, pois tal ação ocorre pela retirada do calor do conjunto peça/ferramenta após este ser gerado durante a usinagem, trabalhando no sentido de aumentar a vida da ferramenta.

Ainda tendo ação refrigerante, o fluido de corte pode beneficiar também a peça, onde acabamento superficial ou tolerância dimensional são críticos. O fluido de corte como lubrificante permite uma redução do coeficiente de atrito entre o cavaco e a ferramenta e ferramenta e peça, o que facilita o fluxo de cavaco reduzindo a força e a potência de corte e, conseqüentemente, a temperatura (DINIZ et al, 2000).

Na usinagem a baixas velocidades de corte, o fluido tem como função a lubrificação, já que para que este efeito ocorra, o fluido tem que penetrar nas interfaces cavaco/ferramenta, tendo como função refrigerante a altas velocidades de corte (SANTOS et al, 2003). Quanto à capacidade do fluido de corte limpar os cavacos da zona de corte, depende da viscosidade e vazão do mesmo, além da operação de usinagem e do tipo do cavaco sendo formado (MACHADO et al, 2000). A seleção correta de um fluido de corte dependerá de uma série de fatores como aspectos econômicos, tipo de máquina, descarte, problemas à saúde humana, meios de controle, métodos de aplicação e compatibilidade do metal com o fluido. Dentre os aspectos considerados, não existe um fluido que atenda a todos estes requisitos. Então procura-se definir as prioridades na operação de usinagem a ser desempenhada, verificando, dentre os fluidos existentes, aqueles que mais se adequam aos aspectos prioritários definidos.

2.6.1 Classificação do fluido de corte

A seleção de um fluido de corte adequado depende do tipo de serviço a ser executado. A classificação é feita por grupos, tendo em primeiro lugar o ar. O ar, algumas vezes, é utilizado como fluido de corte e tem como função expulsar o cavaco da região do corte utilizado em fresamento de rasgos e cavidades.

Classifica-se também, em segundo lugar, os aquosos, que têm a água como primeira substância usada como fluido de corte, com grande capacidade de refrigeração. Porém não tem poder de lubrificação, provocando a corrosão de materiais metálicos. As emulsões classificadas como aquosas são uma pequena porcentagem de óleo emulsificável dispersas em pequenas gotículas na água. São especialmente adequadas para operações de usinagem em que o requisito principal é a refrigeração.

Microemulsões ou fluidos semi-sintéticos são formadores de emulsões. Estes fluidos são composições de fluidos sintéticos que contêm somente uma pequena porcentagem de óleo mineral emulsionável, variando de 5% a 30% do total do fluido concentrado, o qual é adicionado a fim de proporcionar uma emulsão estável, translúcida e composta de minúsculas gotículas de óleo.

Os fluidos sintéticos são soluções químicas constituídas de materiais (sais) orgânicos e inorgânicos dissolvidos em água, não contendo óleo mineral. Possuem elevada resistência à oxidação do fluido, oferecem boa proteção anticorrosiva e a refrigeração.

Em outra classificação, existem os óleos cujo calor específico é cerca da metade da água e, por isso, têm capacidade menor de refrigeração. Por outro lado, suas qualidades lubrificantes são bem melhores, o que resulta em menor quantidade de calor gerado. Quanto mais baixa a viscosidade desses óleos, maior é seu poder de refrigeração. Os óleos leves são, por isso, indicados em operações de usinagem a altas velocidades, onde o calor deve ser rapidamente dispersado.

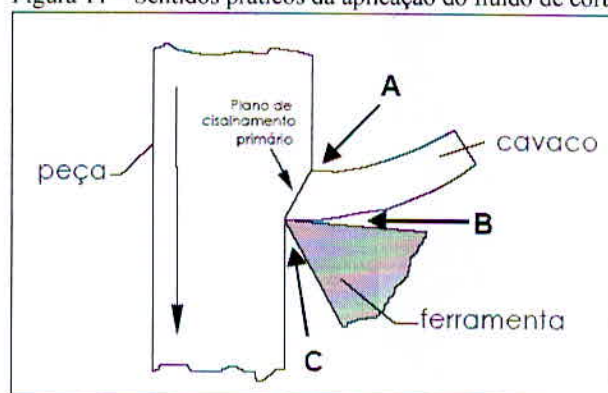
Os óleos mais viscosos são utilizados onde se tem velocidade de corte menor, avanço e profundidade de corte maiores, tendo como resultado uma alta taxa de remoção de cavaco e alta geração de calor. Necessita-se então de um óleo que adira à ferramenta, formando uma película de óxido que diminui o coeficiente de atrito e, conseqüentemente, a geração de calor (DINIZ et al, 2000).

2.6.2 Aplicação do fluido de corte

De acordo com Ebbrell (1999), a aplicação correta dos fluidos na região de corte é de grande importância, pois possibilita o aumento da capacidade de sua lubrificação e refrigeração, além de promover a remoção do cavaco mais facilmente. A aplicação correta promove menores dispersões dos fluidos na região de corte mas, para isso, é necessário levar em conta o tipo e posicionamento do local, o que tem grande influência no processo de corte.

Existem três direções possíveis de aplicação do fluido de corte: (a) aplicação convencional de fluido na forma de jorro à baixa pressão na superfície superior do cavaco; (b) aplicação de fluido entre a superfície de saída e a parte inferior do cavaco e (c) aplicação do fluido entre a superfície de folga da ferramenta e a peça. (Figura 11)

Figura 11 – Sentidos práticos da aplicação do fluido de corte



Fonte: (MACHADO et al, 1999)

De acordo com estas direções, existem inúmeras combinações para sua aplicação, como o sistema a alta pressão cujo objetivo principal é melhorar a quebra do cavaco. Um jato de fluido, a alta pressão (48,1 kgf/cm² à vazão de 15,1 l/min), é jogado em duas direções: na primeira, sobre o cavaco, na direção sobre-cabeça (A). Na outra, contra o cavaco na superfície de saída da ferramenta conforme direção B (Figura 15). Machado (1999), utilizando este método no torneamento e aplicando o jato nas direções A e B, obteve bons resultados usinando ligas aero-espaciais, como titânio e de níquel, que possuem difícil controle do cavaco pelos métodos convencionais.

Com o objetivo de reduzir o contato cavaco-ferramenta, foi desenvolvido um sistema em que o fluido passa pelo interior da ferramenta através de canais à alta pressão que chegará até a superfície de saída. Neste sistema, a ferramenta de corte mantém seu interior e a superfície de saída da ferramenta constantemente sob resfriamento, mantendo-se fria. O cavaco é

resfriado depois de ser deformado no plano primário, o que no caso do método sobre-cabeça acontece simultaneamente (o resfriamento e a deformação). Isto tende a reduzir a temperatura nesta região e aumentar a resistência ao cisalhamento do material da peça, aumentando as forças de usinagem (ISCAR, 2001).

Outro sistema de aplicação é através do jorro do fluido a baixa pressão ou por gravidade. É o mais utilizado, pois tem fácil manuseio e aplicação. O fluido é jorrado sobre a cabeça contra a superfície do cavaco e na superfície de saída da ferramenta. O cavaco é arrastado para fora da interface devido ao fluido que vai a seu encontro (SANTOS et. al, 2003).

Utiliza-se também a vazão extremamente baixa de fluido (MQF – Mínima Quantidade de Fluido) que é a pulverização de uma pequena quantidade de óleo, na forma de névoa, juntamente com a aplicação de ar comprimido tendo como objetivo aumentar a capacidade de lubrificação.

Diversos estudos demonstram uma melhor empregabilidade da alta pressão do fluido de corte em processos de torneamento, contrariando os métodos convencionais, que utilizam baixa pressão. A penetração do fluido na interface cavaco-ferramenta não é muito eficaz se o jato for aplicado à baixa pressão, o que pode elevar demasiadamente a temperatura na zona de corte. Aumentando-se a pressão, é possível reduzir a quantidade de fluido injetada. Além disso, a utilização do fluido a alta pressão traz outros benefícios como: aumento da lubrificação, redução da temperatura da interface cavaco-ferramenta e a peça, que ocorre também pela diminuição do contato entre o cavaco e a ferramenta (DINIZ et al, 2000).

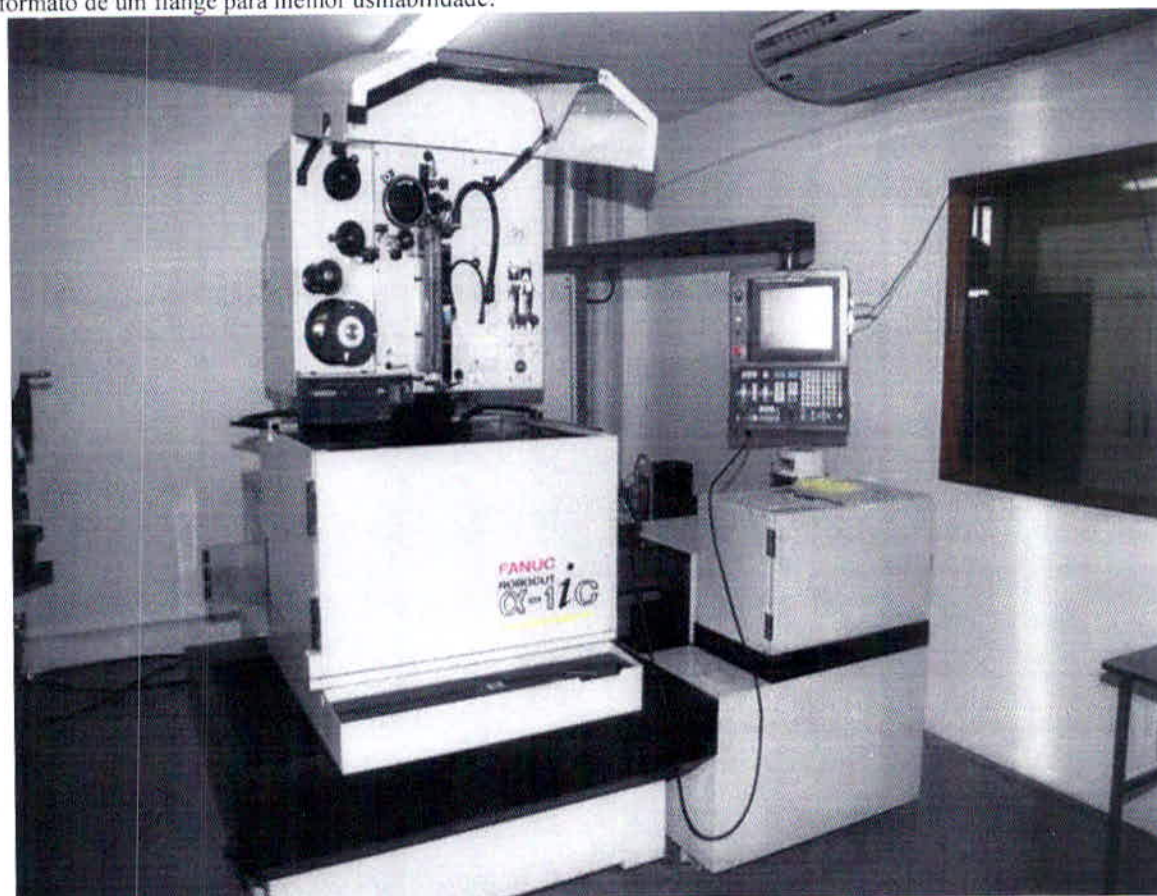
A redução significativa da temperatura de corte com a aplicação de alta pressão foi comprovada por Machado et. al. (1997). Foram realizadas experiências com uso do fluido de corte à alta pressão (14,5 Mpa) direcionado para ferramenta no torneamento de Ti6Al4V e de Inconel 901. Estes resultados foram comparados aos obtidos com aplicação convencional do fluido de corte, tendo apresentado melhor eficácia. Além disso, a usinagem da liga de titânio contribuiu para o aumento significativo da vida da ferramenta, em todas as condições de corte testadas. (DINIZ et. al., 2000) ao usinar Inconel 718 em velocidades diferentes de corte e sob as pressões de corte diferentes até 20,3 Mpa. Foi utilizada ferramenta cerâmica reforçada, que teve sua vida útil aumentada com o aumento da pressão do fluido, em todas as velocidades de corte. Apenas quando a pressão aumentou de 15 a 20,3 Mpa, este resultado diferiu. Nestas condições, a vida da ferramenta diminuiu rapidamente em função do entalhe. Segundo os autores, este desgaste excessivo deve-se à erosão da ferramenta cerâmica ocasionada pela refrigeração a alta pressão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O material utilizado para realização deste trabalho foi o AISI H13, com dureza de 54 HRc pós-têmpera, na forma de um tarugo de 500 mm de diâmetro e 150 mm de espessura. O corpo-de-prova do aço AISI H13 para o ensaio mecânicos foi cortado em erosão a fio, modelo FanucRobocut.

Essa amostra foi transportada para a empresa Metalúrgica Pimenta, onde foi usinada em um torno convencional do tipo INSA 30 marca NARDINI, capacidade de 550 x 1500 mm, posteriormente fresado em um centro de usinagem da marca Wotan M2.

Figura 12 - Máquina de erosão a fio modelo FanucRobocut, utilizada para o corte do tarugo do aço AISI H13 no formato de um flange para melhor usinabilidade.



Fonte: O autor

Figura 13 – Torno convencional modelo INSA 30 marca NARDINI, utilizado para colocar a medida correta no diâmetro externo final da peça



Fonte: O autor

Figura 14 - Centro de usinagem WotanM2, utilizado para o desbaste do material e fabricação da matriz do molde para injeção de rodas de carro



Fonte: O autor

Na realização do ensaio utilizando primeiro a fresa de metal duro, foi utilizada velocidade de corte (V_c) de 130 mm/min, pois de acordo com fabricante ISCAR, a velocidade de corte pode variar de 110 mm/min a 150 mm/min para este tipo de ferramenta e este tipo de material. Os avanços de corte (f_z) utilizados como desbaste foram de 0,20; 0,25; 0,30 mm/rev, com profundidade de corte (a_p) constante de 6 mm, pois de acordo com o fabricante pode variar de 5 mm a 10 mm (tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros de corte utilizados no fresamento do aço AISI H13 Fresa de metal duro

Parâmetro de corte	
V_c (m/min)	130
a_p (mm)	6
	0,2
f_z (mm/rev)	0,25
	0,3

Fonte: Adaptado ISCAR, 2015.

Agora utilizando a fresa de aço rápido, foi usado parâmetros de corte segundo fabricante ISCAR, usando velocidade de corte de 75 mm/min, pois de acordo com o mesmo, a velocidade pode variar de 60 mm/min a 90 mm/min para esse tipo de ferramenta e para esse tipo de material. Os avanços de corte (f_z) utilizados como desbaste foram de 0,1; 0,15; 0,20 mm/rev, com profundidade de corte (a_p) constante de 1 mm, pois de acordo com o fabricante pode variar de 0,5 mm a 2 mm (tabela 2)

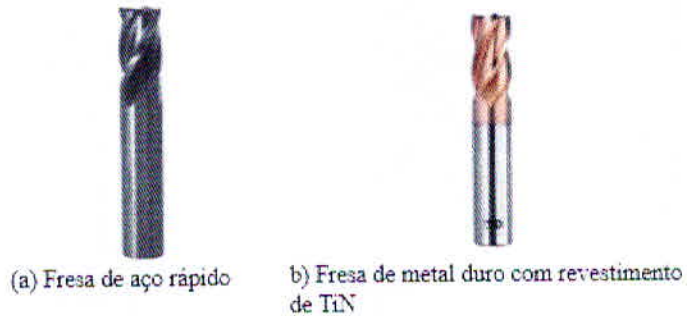
Tabela 2 - Parâmetros de corte utilizados no fresamento do aço AISI H13 Fresa de aço rápido

Parâmetro de corte	
V_c (m/min)	75
a_p (mm)	1
	0,10
f_z (mm/rev)	0,15
	0,20

Fonte: Adaptado ISCAR, 2015.

O diâmetro das fresas utilizadas foram ambas de 11 mm, cada qual alojada em um suporte de fixação ferramenta-porta-ferramentas; nesse suporte existe um canal interno para aplicação do fluido de corte. Utilizou fresas do mesmo diâmetro, porém feitas de materiais diferentes, a fim de analisar qual das fresas obtém um melhor resultado de desgaste e acabamento superficial para esse tipo de material. Seguem as ferramentas utilizadas para esses testes. (figura 15 (a) e (b)).

Figura 15 - Tipos de Fresas



Fonte: O autor

Figura 16 – Ferramenta-porta-ferramentas



Fonte: O autor

Figura 17 – Pinça de 11mm para fixação da fresa



Fonte: O autor

Figura 18 – Componentes usados para fixação da ferramenta

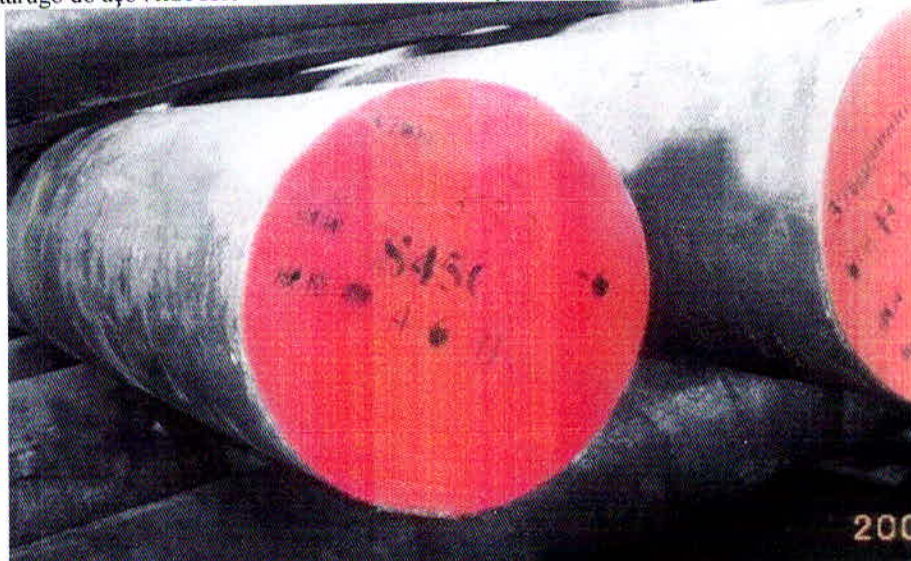


Fonte: O autor

Em um período de 5 minutos, a programação que estava executando o processo de usinagem era interrompida para verificação de como estava se comportando a fresa, como estava o desgaste no flanco da ferramenta. E depois de 40 minutos de usinagem foi verificada a situação crítica de cada ferramenta. Devido à falta de recursos, não houve como medir o desgaste por meio de aparelhos próprios, como por exemplo: Rugosímetro, que mede a variação da rugosidade devido ao esforço na hora da usinagem; microscópio de medição, a fim de avaliar o desgaste da ferramenta no flanco; microscópio eletrônico de varredura com canhão

de emissão por efeito de campo; para acompanhar o desgaste durante o fresamento. Logo foi analisado apenas visualmente, o que já mostrou nitidamente que a fresa de metal duro é a ferramenta mais viável para esse tipo de trabalho. Para os próximos trabalhos será solucionado esse contratempo de falta de maquinário para análise meticulosa dos processos. Segue a peça antes da usinagem e depois de pronta.

Figura 19 – tarugo do aço AISI H13 em bruto antes do corte para usinagem do molde



Fonte: LuliGroupCorp., Ltda, 2015

Figura 20 – Molde para injeção de rodas de alumínio concluído depois de 8 horas de usinagem



Fonte: O autor.

Depois de 40 min de usinagem, observe como ambas as ferramentas se comportaram usinando o material em análise.

Figura 21 – Desgaste no gume da fresa de metal duro com revestimento de TiN (a), e no gume da fresa de aço rápido (b)



(a)



(b)

Fonte: O autor.

Considerando os dois tipos de materiais para ferramentas em análise, a tabela a seguir apresenta alguns dados comparativos de custo e eficiência de corte.

Tabela 3 – Custo relativo das fresas de Aço rápido e Metal duro

Material	Custo relativo da ferramenta (R\$)	Velocidades de Corte típicas (m/min)
Aço rápido	110	75
Metal duro	176	150

Fonte: (Adaptado ISCAR, 2015.)

Baseados em testes feitos no aço AISI H13, com um tempo de usinagem de 40 min, com as condições de trabalho apropriadas para cada tipo de fresa como: velocidade de corte, rotação, incremento e ambas as ferramentas refrigeradas com óleo refrigerante, conclui-se que a fresa de metal duro é mais vantajosa. Pois apesar de o custo ser maior em relação a fresa de aço rápido, o rendimento da mesma é superior; e seu desgaste é inferior em relação a fresa de aço rápido.

4 CONCLUSÃO

A seleção de um material para ferramenta depende, de muitos fatores, além do seu custo inicial e das suas características físicas, incluem: o metal sob usinagem, a natureza da operação de usinagem, as condições das máquinas operatrizes, tipo e dimensões da ferramenta, utilização ou não de refrigeração, os parâmetros usados para cada tipo de ferramenta segundo fabricante como velocidade de corte; avanço de corte; e incremento. Foi possível demonstrar que a fresa de aço rápido quando estava sendo trabalhada a seco (sem óleo refrigerante) obteve um desgaste maior em pouco tempo de usinagem, enquanto que sendo refrigerado demorou mais até seu desgaste por completo; ou seja, o óleo refrigerante é indispensável para qualquer tipo de ferramenta no que diz respeito a desempenho e qualidade no acabamento superficial da peça.

Já a fresa de metal duro consegue trabalhar durante um longo período sem refrigeração, graças a seu revestimento de nitreto de titânio (TiN). No entanto afim de conferir um bom acabamento superficial da peça, redução dos esforços de usinagem e até mesmo uma preservação maior da ferramenta, foi utilizada na sua usinagem óleo refrigerante. A fresa de aço rápido é largamente utilizado nas indústrias, devido a sua usinabilidade em vários tipos de materiais e por ser economicamente mais viável. Contudo o objetivo foi mostrar que para o aço AISI H13 a fresa de aço rápido não é eficaz, tendo seu colapso total em 40 min de usinagem, devido a esse material ser termicamente tratado, o que faz com que o mesmo fique muito tenaz.

Como se viu no decorrer deste trabalho, a importância maior se deve pelo fato de a fresa de metal duro ser mais eficiente para usinagem no material em análise, apesar do seu custo ser maior que a fresa de aço rápido. Portanto, a seleção não é simples, e deve também ser baseada em dados práticos disponíveis, assim como em experiências prévias.

REFERÊNCIAS

- ABELE, E.; DORR, J. **Ferramentas de corte protegidas contra a defasagem tecnológica.** Máquinas e Metais p.38-53, 2002.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos: catálogo.**São Paulo,1981.
- DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais.** São Paulo, Artliber, p. 96-106, 2000.
- DOYLE, L. E. **Processos de fabricação e materiais para engenheiros.**São Paulo, Edgar Blücher,1967.
- ESKILDSSEN, S.S.; FOSS, M.; MATHIASSEN, C. **Plasma CVD process capabilities and economic aspects.**Surface & Coating Technology v.116-119, p.18-24, 1999.
- EBBRELL, S. **The effects of cutting fluid application methods on the grinding process:** International Journal of Machine Tools & Manufacture, School of Engineering, Liverpool, jun. 1999.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** São Paulo, Editora Edgard BlücherLtda, p.12-20, 1977.
- FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais.** São Paulo, Editora Edgard BlücherLtda, p.60-70, 1970.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges - Designation of the main groups and groups of application.** Norma ISO 513, 2004.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: Norma ISO 3585, **Specification for tool life testing with single point turning tools.**Montreaux, Suíça, 1993.
- ISCAR.**Conceitos básicos de usinagem: catálogo.** São Paulo, 2001.
- MACHADO, A. R., SILVA, M. B. **Usinagem dos Metais.** 4. ed.Uberlândia: Editora da universidade federal de Uberlândia,1999.
- MACHADO, A.R.; DINIZ, A.E. **Vantagens e desvantagens do uso (ou não) de fluidos de corte: máquinas e Metais.**4. ed. Uberlândia: Editora da universidade federal de Uberlândia, 2000.
- ORNELAS SANTOS, J.A.B.; **Estudo da aplicação de revestimentos superficiais em Fresas Caracois.** catálogo.Belo Horizonte,2004.
- SANTOS, S. C., SALES, W. F. **Fundamentos da Usinagem dos Materiais.** [S.l. s.n]. Belo Horizonte, MG. p.15-25, 2003.
- SHAW, M.C. **Metal Cutting Principles.**[S.l] Nova Iorque: Oxford University Press, p.594, 1984.

STEMMER,C.E. **Ferramentas de Corte II**.2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. p.141.

STEMMER,C.E. **Ferramentas de Corte I**. 4. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995. p.78.

STEMMER, C. **Ferramentas de Corte**.1. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1969. p.205

SILVA, R,H.L. **Monitoramento do desgaste de ferramentas no fresamento de topo através dos sinais de potência e emissão acústica e redes neurais**. [S.l. s.n]Universidade Federal de Uberlândia., 2010.

TRENT, E.M., WRIGHT, P.K. **Metal Cutting**. 4rd Edition, Butteworths-Heinemann Ltda. p.22-30, 2000.

SERRAMETAL. Disponível em <<http://www.serrametal.com.br/h-13-vh13.html>>. Acesso em: 01 ago. 2015, 10:05:25.

ISCARDOBRASIL.Disponível<<http://www.iscardobrasil.com.br/Products.aspx/CountryId/4/ProductId/3801>>. Acesso em: 15 set. 2015, 16:30:30.