

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
LUAN DONIZETTE DE OLIVEIRA E SILVA**

**UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DE MATERIAIS PARA
FERRAMENTA DE CORTE EM USINAGEM**

**Taubaté - SP
2019**

LUAN DONIZETTE DE OLIVEIRA E SILVA

**UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DE MATERIAIS PARA
FERRAMENTA DE CORTE EM USINAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientadora :Prof. Maria Regina Hidalgo
de Oliveira Lindgren

Coorientador: Prof. Paulo Cesar Correa
Lindgren

**Taubaté – SP
2019**

SIBi - Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S586 Silva, Luan Donizette de Oliveira e
Estudo bibliográfico de materiais de ferramentas de corte em
usinagem / Luan Donizette de Oliveira e Silva. – 2019.
36f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento
de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.
Orientação: Prof. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren,
Departamento de Engenharia Mecânica.
Coorientação: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren, Departamento
de Engenharia Mecânica

1. Ferramentas de corte. 2. Materiais. 3 Usinagem. I. Título. II.
Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD

LUAN DONIZETTE DE OLIVEIRA E SILVA

**UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO DE MATERIAIS PARA FERRAMENTA DE
CORTE EM USINAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

DATA: 02/12/2019

RESULTADO:_____

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a Maria Regina H. de O. Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:_____

Prof. Paulo César Correa Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:_____

Prof. José Sávio de Souza

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:_____

(02 de Dezembro de 2019)

02 de Dezembro de 2019

Dedico este trabalho a minha esposa Isabella, aos meus
filhos Matheus, Murilo e Maria Alice, e também aos meus
pais, Antônio e Maria.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha inteligência, minha família e meus amigos.

À minha esposa Isabella por ser minha maior incentivadora nessa jornada, pela compreensão e paciência nos momentos que precisei dedicar aos estudos.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, que ofereceu um excelente ambiente educacional com profissionais qualificados.

A minha orientadora, *Prof^a Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren* por todo o incentivo e motivação na orientação deste trabalho.

Aos meus pais *Antônio e Maria*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre incentivaram meus estudos.

Aos Professores Paulo Cesar Correa Lindgren e José Sávio de Souza por aceitarem compor a banca examinadora.

RESUMO

Ao longo dos anos os processos de Usinagem se aprimoraram cada vez mais, gerando um leque muito grande de materiais utilizados para fabricação de seus componentes. No caso particular dos materiais de ferramentas de corte, temos muitos materiais que se utilizam na indústria metalúrgica, cabendo a cada segmento industrial aplicar o melhor material para cada tipo de usinagem, seja ele: torneamento, fresamento ou mandrilhamento. Neste trabalho de dissertação, pretende-se fazer uma seleção de todos possíveis materiais que podem ser utilizados para ferramenta de corte em usinagem. Desse modo, aprofundando em cada material em específico, ressaltando suas particularidades, aspectos positivos e negativos para sua utilização no processo de usinagem. Fazendo um comparativo de cada propriedade destes materiais, seu custo, e aplicação de forma clara e objetiva no meio industrial. A metodologia escolhida para a realização do presente trabalho foi um estudo bibliográfico e comparativo entre diversos autores renomados, os quais foram extraídos os aspectos, mais relevantes sobre cada material estudado. Depois deste estudo, foi possível obter com maior clareza e objetividade a importância de cada material e o melhor aproveitamento dos mesmos no ramo industrial tanto nacional quanto internacional.

Palavras-chave: Usinagem. Ferramentas. Materiais.

ABSTRACT

Over the years Machining processes have been increasingly improved, generating a wide range of materials used to manufacture its components. In the particular case of cutting tool materials, we have many materials that are used in the metallurgical industry, and it is up to each industrial segment to apply the best material for each type of machining, be it turning, milling or reaming. However, in this dissertation work, it is intended to make a selection of all possible materials that can be used for cutting tool in machining. Thus, deepening in each specific material, emphasizing its particularities, positive and negative aspects for its use in the machining process. Making a comparison of each property of these materials, their cost, and application clearly and objectively in the industrial environment. The methodology chosen for this work was a bibliographical and comparative study among several renowned authors, which extracted the most relevant aspects about each material studied. After this study, it was possible to obtain with greater clarity and objectivity the importance of each material and the best use of them in the national and international industrial branches.

KEYWORDS: Machining. Tools. Materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação metais duros segundo a ISO	23
Figura 2- Variação da dureza em função da temperatura para quatro tipos de materiais	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos aços carbono	15
Tabela 2 - Composição e características dos aços rápidos	16
Tabela 3 - Revestimeto eficiente aplicado em furos	18
Tabela 4 - Ligas Fundidas mais usadas ou conhecidas	19
Tabela 5 - Composição ,características do metal duro, norma ISO	22
Tabela 6 - Principais campos de aplicação do metal duro segundo a ISO	24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISI	American Iron and Steel Institute
PCD	Diamante sintético policristalino
ISO	Internacional Organization For Standardization
SAE	Society of Automotive Engineers
PVD	Deposição física de vapor

LISTA DE SÍMBOLOS

T	tungstênio
M	molibdênio
Vc	velocidade de corte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Materiais para ferramentas: Classificação e Características	13
2.1.1 Classificação	13
2.1.2 Características	13
3 MATERIAIS PARA FERRAMENTAS	14
3.1 Aços carbono	14
3.2 Aços rápidos	15
3.2.1 Elementos de Liga e seus efeitos	16
3.2.2 Aços rápido com cobertura	17
3.3 Ligas Fundidas	19
3.4 Metal Duro.....	20
3.4.1 Características dos Metais Duros	20
3.4.2 Classes e tipos de metal duro segundo a ISO	21
3.5 Cermets	25
3.6 Material Cerâmico	25
3.7 Diamante	26
4 METODOLOGIA	28
5 DESENVOLVIMENTO	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
7 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

Os procedimentos de usinagem consistem em dar forma, ou dimensão, ou acabamento, ou ainda uma combinação qualquer desses três itens através da remoção de cavaco por uma ferramenta.

No presente trabalho abordaremos um estudo bibliográfico aprofundado sobre as principais matérias prima a serem empregadas como ferramentas, e também todos os aspectos que devem ser respeitados, para que ocorra melhor o aproveitamento deste material.

Podemos considerar como matéria prima de ferramentas mais importantes, o metal duro e os aços rápidos, devido suas inúmeras aplicações no ramo metalúrgico, são os mais utilizados na engenharia e na indústria. Não obstante também são classificados como matéria prima o aço carbono, ligas fundidas, materiais cerâmicos, o diamante e o cermet.

No momento da escolha da matéria prima a se utilizar em uma ferramenta, precisa-se observar fatores importantes como: o material a ser usinado, a natureza da operação de usinagem, a condição da máquina, a geometria da ferramenta utilizada, o preço do material e ferramenta, as condições de usinagem e da operação.

Para a composição de tal ferramenta, é necessária que ela apresente características fundamentais para aguentar os esforços gerados durante a execução do corte. Sendo eles:

- a) Dureza à temperatura ambiente;
- b) Resistência ao desgaste;
- c) Temperabilidade;
- d) Tenacidade;
- e) Resistência mecânica;
- f) Dureza a quente;
- g) Tamanho de grão;
- h) Usinabilidade;

Todas as propriedades, características, nem sempre se agrupam em um só componente, mas de acordo com a aplicação, é comum priorizar algumas delas, admissíveis de ser acumuladas. A seguir serão apresentadas todas as matérias prima possíveis de serem utilizadas, bem como suas aplicações, limitações, vantagens e características.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Materiais para Ferramentas: Classificação e Características.

2.1.1 Classificação

Segundo Ferraresi (1977) podem ser classificadas as matérias primas para ferramentas quanto a sua ordem cronológica, ou seja, o tempo em que foram fabricados, desde o seu desenvolvimento com base em seus característicos químicos. Deste modo os classificamos como: aços carbono, que são aqueles sem acrescentamento de liga ou com baixos teores de liga; aços rápidos; ligas fundidas; metal duro; materiais cerâmicos. Podem se classificar como os materiais mais utilizados nos procedimentos de usinagem, o metal duro e os aços rápidos. As ligas fundidas encontram aplicações em determinados setores, onde se busca um material que apresente maior dureza que o aço rápido e seja menos frágil ou mais tenaz que o metal duro.

Também podemos considerar como matéria prima, o diamante e o cermet, onde ambos são um misto de metal e material cerâmico, ambos têm emprego limitado a casos muito especiais, inclusive, o cermet possui resultados práticos discutíveis.

Segundo Ferraresi (1977) a seleção da matéria prima para ser utilizada em uma ferramenta depende de diversos fatores, sendo eles o material o qual será usinado, a natureza da máquina que realizará o procedimento de usinagem, a condição desta mesma máquina, as formas e tamanhos da própria ferramenta, bem como o emprego de refrigeração ou lubrificação, etc.

2.1.2 Características

Como bem salienta Ferraresi (1977) independente da matéria prima a ser empregada na ferramenta, é indispensável que o mesmo apresente uma cadeia de requisitos sejam eles de menor ou maior relevância. Podemos pontuar quatro das principais características:

- a) Dureza a quente: depende do tipo de operação, o qual a temperatura da ferramenta pode exceder 1000°C;
- b) Resistência ao desgaste: representa a habilidade de resistir ao desgaste por abrasão, ou seja, o atrito;
- c) Tenacidade: o qual representa o volume de força necessária para romper o material;
- d) Estabilidade química: evita o desgaste por difusão;

Para o caso de aços para ferramentas, pode-se acrescentar outras características como temperabilidade, tamanho de grão, etc. Uma outra propriedade admirável é a resistência aos choques térmicos (principalmente em processos com corte interrompido, como o fresamento). (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006, p. 78).

3. MATERIAS PARA FERRAMENTAS

3.1 Aços carbono

Segundo Payson (1949, apud, FERRARESI, 1977, p. 285) no fim do séc. XIX, a maioria das ferramentas utilizadas empregava aço carbono, com exceção de uma quantidade relativamente pequena feita do aço temperável ao ar desenvolvido por MUSHET.

A partir do século XX, os aços ligas começaram a substituir os aços carbonos, já que os aços liga são mais eficientes como ferramentas. Entretanto os aços carbono representam um papel muito importante na indústria de ferramentas.

Custo mais baixo que as outras matérias primas; disponibilidade mais fácil; usinabilidade melhor; fáceis de temperar a dureza máxima, pois não exigem temperaturas excessivamente elevadas e utilizam um meio de têmpera simples, de grande disponibilidade (água), que permite atingir durezas do nível de 65 Rockell C; menos suscetíveis à descarbonetação que qualquer outro aço para ferramenta; soldabilidade maior que a de qualquer outro aço para ferramenta; fáceis de serem endurecidos apenas parcialmente, de modo a ter-se partes duras e resistentes e partes adjacentes moles e mais dúcteis e tenazes. (FERRARESI, 1977, p. 286).

Os aços carbonos, podem se classificar como demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos aços carbono

Tipo	Designação AISI	C	Mn	Si	Cr	V
<i>Classe 110 (Aço carbono)</i>						
110	W1	0,60/1,40	0,25	0,25	-	-
<i>Classe 120 (Aço carbono-vanádio)</i>						
120	W2	0,60/1,40	0,25	0,25	-	0,25
121	-	1,00	0,25	0,25	-	0,50
122	W2	,90	0,25	0,25	-	0,10
<i>Classe 130 (Aço carbono-cromo)</i>						
130	W4	1,00	0,25	0,25	0,10	-
131	W4	1,00	0,25	0,25	0,25	-
132	W4	1,00	0,25	0,25	0,50	-
133	W4	1,00	0,70	0,25	0,25	-
<i>Classe 140 (Aço carbono-cromo-vanádio)</i>						
140	-	1,00	0,25	0,25	0,35	0,20

Fonte: AISI (American Iron and Steel Institute)

Serão considerados os aços ao carbono com ou sem acréscimo de pequenos teores de elementos de liga, tais como cromo e vanádio.

3.2 Aços rápidos

Desde seu desenvolvimento aproximadamente em 1905, o aço rápido já se apresentava como uma matéria prima para ferramenta que suportava as maiores Vc, também composto por elevada liga de tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio. Este material apresenta como característica sua tenacidade, elevada resistência ao desgaste e alta dureza a quente. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

Esta matéria prima pode se classificar por categorias como bem se ilustra na Tabela 2.

Tabela 2 - 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	0.30	0.25	4.00	1.00	18.00	–	–	Baixa	Muito Boa	Muito Boa
	T2	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	18.00	–	–			
	T3	1.00	0.30	0.25	4.00	3.00	18.00	–	–			
	T7	0.80	0.30	0.25	4.00	2.00	14.00	–	–			
	T9	1.20	0.30	0.258	4.00	4.00	18.00	–	–			
ao W-Co	T4	0.75	0.30	0.25	4.00	1.00	18.00	–	5.00	Baixa	Muito Boa	Excelente
	T5	0.80	0.30	0.25	4.00	2.00	18.00	–	8.00			
	T6	0.80	0.30	0.25	4.00	1.50	20.00	–	12.00			
	T8	0.80	0.30	0.25	4.00	2.00	14.00	–	5.00			
ao Mo	M1	0.80	0.30	0.25	4.00	1.00	1.50	8.00	–	Baixa	Muito Boa	Muito Boa
	M2	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	6.00	5.00	–			
	M3	1.00	0.30	0.25	4.00	2.75	6.00	5.00	–			
	M4	1.30	0.30	0.25	4.00	4.00	5.50	4.50	–			
	M10	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	–	8.00	–			
ao Mo-Co	M6	0.80	0.30	0.25	4.00	1.50	4.00	5.00	12.00	Baixa	Muito Boa	Excelente
	M30	0.85	0.30	0.20	4.00	1.25	2.00	8.00	5.00			
	M34	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	2.00	8.00	8.00			
	M35	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	6.00	5.00	5.00			
	M36	0.85	0.30	0.25	4.00	2.00	6.00	5.00	8.00			

FONTE: CHIAVERINI (1981) – adaptado pelo autor

Classificam-se em duas categorias sendo elas: a categoria denominada “T”, que compreende os tipos predominantemente ao tungstênio e a categoria “M” que compreende os tipos predominantemente ao molibdênio.

Dessas duas categorias ainda há uma subdivisão de também duas categorias, predominantemente de cobalto ambas. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

São indicados nas classificações AISI e SAE com a letra “T”, os tipos ao Tungstênio-Cobalto ainda indicados naquelas classificações com “T”, os tipos ao Molibdênio e ao Molibdênio-Cobalto, com a letra “M”. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

3.2.1 Elementos de Liga e seus efeitos

Cada elemento possui um efeito peculiar nos aços rápidos, vejamos os mais relevantes:

a) Efeito no cobalto: São recomendados neste caso, quando a

operação exige grande esforço e para corte de materiais que apresentam cavacos curtos como o ferro fundido, onde a temperatura aumenta muito pelo fato da impossibilidade de utilizar um fluido de corte, isto se deve porque o cobalto eleva a dureza a quente, em decorrência deste fator a eficiência do corte quando este é tal que temperaturas elevadas são alcançadas.

- b) Efeito no cromo: Em conjunto com o carbono, é essencial para melhorar a temperabilidade.
- c) Efeito no vanádio e nióbio: O carboneto de vanádio é o mais duro encontrado neste material, de modo que possuem melhor resistência. No Brasil o vanádio tem sido substituído pelo nióbio, o qual tem características semelhantes, entretanto seu custo é mais barato.
- d) Efeito no carbono: Permite a constituição de carbonetos que são partículas duras e resistentes.
- e) Efeito no tungstênio e molibdênio: O tungstênio está sempre presente nos aços rápidos, o molibdênio é introduzido como seu substituto, gerando a outra classe de ferramentas. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

3.2.2 Aços rápidos com cobertura

Com os avanços tecnológicos em usinagem em 1970 esta matéria prima começou a receber revestimentos, o qual consistiam na ampliação de técnicas de revestimento a temperaturas toleráveis pela composição desses materiais. Este método então, denominou-se por PVD (deposição física de vapor), o qual utiliza temperaturas de tratamento abaixo de 500°C .

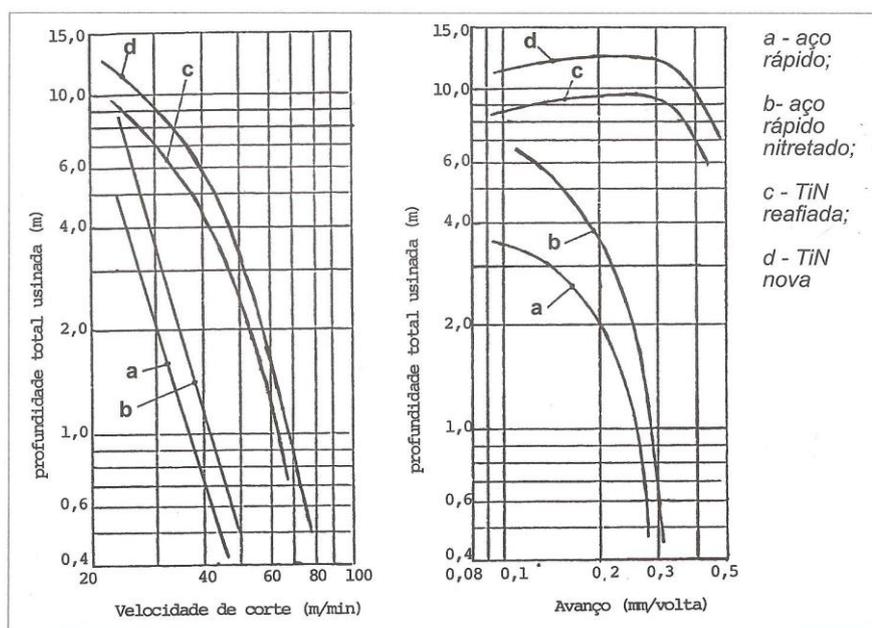
O PVD é realizado em um local de alto vácuo com a presença de um gás inerte, o argônio. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

O revestimento TiN favorece para que o corte aconteça com esforços menores, devido ao seu baixo nível de atrito. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

Pelo motivo desta camada possuir alta dureza (tanto a frio, quanto a quente) e também ao pequeno atrito, aos desgastes menores, principalmente o desgaste no local de folga da ferramenta. Nas mesmas exigências de corte, então, a ferramenta revestida tem uma vida mais longa que a não-revestida. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006, p. 82).

A Tabela 3 bem demonstra a eficiência deste material com cobertura.

Tabela 3 - Revestimento eficiente aplicado em fresas



FONTE: DINIZ; MARCONDES; COPPINI, (2006)

É fato que uma ferramenta revestida tem o custo bem mais alto do que uma não-revestida. Entretanto se for levar em consideração que o ciclo da ferramenta é maior e que o tempo de corte é menor devido às maiores V_c e avanço que ela possibilita, claramente o tempo total do processo de uma peça pode diminuir bastante, não só pela diminuição do tempo da operação, mas também pela diminuição do número de paradas da máquina para a troca de ferramentas. Deste modo, diversas vezes o emprego da ferramenta que possui revestimento se justifica economicamente, principalmente quando as máquinas que realizam a usinagem são caras, como é o caso de centros de usinagem e controle numérico que perfazem boa parte dos processos atuais que utilizam este tipo de ferramenta. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

3.3 Ligas Fundidas

Como bem expressa Ferraresi (1977) as ligas fundidas tem como base principalmente de cobalto-cromo- tungstênio com carbono acima de 1,5% usualmente. Tais elementos se manifestam combinados em teores variados, de modo que produzem classes ou tipos de materiais utilizados em ferramentas, contendo grande diversidade de propriedades físicas. A Tabela 4 demonstra as ligas com mais aplicação.

Tabela 4 – Ligas fundidas mais usadas ou conhecidas

	Composição química, %																			
	Co	Cr	W	C	Ou- tros	Co	Cr	W	C	Ou- tros	Co	Cr	W	C	Ou- tros	Co	Cr	W	C	Ou- tros
	53	31	10	1,5	4	52	30	11	2,5	4	41	32	17	2,5	4	38	20	18	2,0	12
Densidade, g/cm ³	8,36					8,38					8,76					8,63				
Faixa de fusão, °C ...	1256 — 1298					1235 — 1320					1166 — 1332					1139 — 1314				
Limite de resistência a tração, kg/mm ²	77					59,5					52,5					52,5				
Limite de escoamento	próximo do limite de resistência à tração																			
Alongamento, %	0 — 1					0					0					0				
Dureza Rockwell A ...	80,0					81,5					82,0					82,5				
Dureza Rockwell C ...	58,0					60,5					61,5					62,5				
Resistência à compressão, kg/mm ²	210					224					238					259				
Resistência ao choque Izod, kgm	1,6					0,9					0,6					0,4				
Módulo de elasticidade, kg/mm ²	27.720					23.730					25.900					27.865				

Fonte: FERRARESI (1977)- adaptado pelo Autor

Para Ferraresi (1977) podemos encontrar esta matéria prima em grande diversidade de formas e dimensões. As ferramentas feitas por estas ligas demonstram ainda mais resistência à oxidação às temperaturas normais, e mesmo quando colocadas em altas temperaturas, as mesmas oxidam somente ligeiramente, resultando em sua formação uma casca de óxido muito fina e aderente.

Como bem salienta Ferraresi (1977) essas ligas fundidas são aconselháveis no corte de materiais como borrachas e plásticos baseados em cloretos que podem libertar substâncias corrosivas que foram utilizados em sua fabricação, isto se deve ao fato das mesmas apresentarem excelente resistência à corrosão em relação a diversos reagentes químicos.

3.4 Metal duro

Segundo Ferraresi (1977) podemos classificar este como uma das matérias prima mais relevante, isto se deve a combinação de dureza à temperatura ambiente, dureza a quente, resistência ao desgaste e tenacidade, essa combinação se dá pela variação da sua composição. É um produto da metalurgia do pó que também usualmente é designado como carboneto de tungstênio sinterizado.

Os seus constituintes fundamentais são intimamente misturados no formato de pós e submetidos a um processamento que compreende compressão, sinterização, retificação, etc., resultando um produto completamente consolidado, praticamente denso e apresentando os característicos de resistência mecânica, dureza e tenacidade adequados para emprego em ferramentas. (FERRARESI, 1977, p. 330).

Este é formado essencialmente, pelo carboneto de tungstênio e o cobalto, existem inúmeras classes ou tipos, de modo a atender às condições mais diversas de usinagem, como também no que diz respeito às condições do corte, como velocidade, avanço, profundidade, etc.

3.4.1 Características dos Metais Duros

Para Ferraresi (1977) as propriedades fundamentais que se exigem quando aplicados em ferramentas, são a dureza tanto à temperatura ambiente, também como a temperaturas mais altas, bem como a resistência a ruptura transversal. Também destaca-se como características a porosidade e microestrutura.

A faixa de valores para a maioria das propriedades se deve pelo fato que nas mesmas influem diversos fatores como porosidade, temperatura de

sintetização, etc. Deste modo, pode salientar que a medida que aumenta o nível de cobalto diminuem a densidade e a dureza, porém eleva-se a resistência à ruptura, o que indica que o cobalto tende a melhorar a tenacidade desta matéria prima.

3.4.2 Classes e tipos de metal duro, segundo a ISO

A ISO (International Organization For Standardization) classifica este material em três grandes grupos: o grupo P, o grupo M, e o grupo K. Existem também subdivisões desses grupos, sejam elas P01 a P50, M01 a M40 e K01 a K40. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

O grupo P compreende os de elevado teor de TIC + TAC, o qual apresenta uma alta dureza a quente e resistência. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

O grupo M abrange todas as classes que se empregam na fabricação de metais e ligas ferrosos de cavacos tanto longo como curtos.

E o grupo K compreende os que se destinam a fabricação de metais e ligas ferrosos que apresentam cavacos curtos e materiais não metálicos.

A norma ISO classifica as principais características do material, como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5- Composição química e características físicas principais do metal duro segundo a norma ISO

Designação*	Composição aproximada, %			Características principais				
	WC	TiC + TaC	Co	Densidade (g/cm ³)	Dureza Vickers (kg/mm ²)	Resist. à ruptura transversal (kg/mm ²)	Módulo de elasticidade (kg/mm ²)	Coefficiente de dilatação térmica (10 ⁻⁶ 1/C ^o)
P01	30	64	6	7,2	1.800	75	—	—
P10 (S1)	55	36	9	10,4	1.600	140	52.000	6,5
P20 (S2)	76	14	10	11,9	1.500	150	54.000	6,0
P25	73	19	8	12,5	1.500	170	55.000	6,0
P30 (S3)	82	8	10	13,0	1.450	170	56.000	5,5
P40	77	12	11	13,1	1.400	180	56.000	5,5
P50	70	14	16	12,9	1.300	200	52.000	5,5
M10	84	10	6	13,1	1.650	140	58.000	5,5
M20	82	10	8	13,4	1.550	160	56.000	5,5
M30	81	10	9	14,4	1.450	180	58.000	5,5
M40	78	7	15	13,5	1.300	200	55.000	5,5
K01	93	2	5	15,0	1.750	120	63.000	5,0
K05	92	2	6	14,6	1.700	135	63.000	5,0
K10 (H1)	92	2	6	14,8	1.650	150	63.000	5,0
K20 (G1)	91,5	2,5	6	14,8	1.550	170	62.000	5,0
K30	89	2	9	14,5	1.450	190	—	5,5
K40 (G2)	88	—	12	14,3	1.300	210	58.000	5,5

FONTE: FERRARESI (1977)- adaptado pelo autor

E na Figura 1 pode se observar e se comparar a dureza e resistência ao desgaste bem como a tenacidade.

Figura 1- Classificação dos tipos de metal duro, segundo a norma ISO

DESIGNAÇÃO ISO	DUREZA E RESIST. AO DESGASTE	TENACIDADE
P 01 P 10 P 20 P 25 P 30 P 40 P 50	↑	↓
M 10 M 20 M 30 M 40	↑	↓
K 01 K 05 K 10 K 20 K 30 K 40	↑	↓

Fonte: FERRARESI (1977)

A norma ISO também destaca os principais campos de aplicação recomendados, conforme demonstra a Tabela 6:

Tabela 6- Principais campos de aplicação do metal duro segundo a ISO

<i>Designação</i>	<i>Campo de aplicação</i>	
Para materiais ferrosos de cavaco longo, como aços e ferro fundido maleável	P01	Operações de acabamento fino, com avanços pequenos e altas velocidades, como torneamento e furação de precisão. Exige máquinas rígidas, isentas de vibração.
	P10	<i>Idem</i> — Também para aplicações em que ocorre grande aquecimento da ferramenta.
	P20	Operação de desbaste leve, com velocidades de médias e altas e avanços médios. Também em operações de aplainamento com secções pequenas de corte.
	P25	Operações de desbaste com velocidades e avanços médios.
	P30	Operações com baixas a médias velocidades de corte e secções de corte médias a grandes: torneamento, fresamento, aplainamento.
	P40	Operações de desbaste grosseiro e em condições severas de corte, como corte interrompido, mesmo em máquinas sujeitas a vibração; velocidades baixas a médias e grandes avanços e profundidades de corte; torneamento, aplainamento.
	P50	<i>Idem</i> ; é o tipo mais tenaz, aplicações em que se usam máquinas obsoletas, onde substitui o aço rápido com grande vantagem.

FONTE: FERRARESI (1977) – adaptado pelo autor

Recentemente a ISO expandiu a quantidade de classes (norma ISO 513:2004 E).

Foram criadas 3 novas classes nesta nova norma. São elas: classe N (com as sub-classes de N01 a N30), aplicável a materiais não ferrosos, classe S (com as sub-classes de S01 a S30), aplicável à fabricação de superligas e ligas de titânio e a classe H (com as sub-classes de H01 a H30), aplicável à fabricação de material endurecido. Vê-se aqui uma diferente abordagem da ISO visando à classificação da matéria prima, não mais baseada em composição química, mas baseada na aplicação do material. Pode-se dizer porém que a classe N tem composição similar à classe K, a classe S tem composição similar à classe M e a classe H tem composição química similar a classe P. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

As ferramentas feitas com esse material são usadas com sucesso em procedimentos de usinagem, sejam eles: torneamento, fresamento, mandrilhamento e em alguns casos de furação, aplainamento e serramento. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006)

3.5 Cermets

Os cermets são compostos por uma base cerâmica e outra metálica, são muito semelhantes ao metal duro, pois são feitos de partículas duras ligadas por um aglomerante. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006). Há características importantes nos Cermets, como resistência ao desgaste, equilíbrio químico e dureza a quente intermediárias entre o metal duro e o material cerâmico, porém conseguem manter uma tenacidade na aresta. Outras propriedades destes são a alta resistência à oxidação à formação da aresta postiça de corte e alta resistência à deformação plástica. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006, p.93)

Várias das camadas utilizadas para recobrir o metal duro também são usadas para recobrir o cermet, propiciando a ele os mesmos benefícios encontrados quanto ao recobrimento do metal. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

3.6 Material Cerâmico

Desde a década de 1950 o material cerâmico começa a ser citado como ferramenta de usinagem, entretanto somente à partir dos anos 1980 que passou a ser considerado com uma porcentagem não desprezível nos procedimentos de usinagem. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

Este material possibilita V_c excepcionalmente elevadas, ou seja dureza a quente, tal propriedade que é considerada muito interessante do ponto de vista da usinagem. Destarte tal material só pode ser empregado quando as máquinas operatrizes oferecem condições de rigidez e potência que permitam tais velocidades. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

Porém algumas propriedades deste material, fazem com que sua utilização na usinagem não seja tão fácil, são elas: a baixa condutividade térmica, a qual dificulta a transferência de calor resultando uma temperatura altíssima, e principalmente baixa tenacidade, que facilita o trincamento e a quebra da ferramenta.

Devido a essa baixa tenacidade que o material cerâmico apresenta, contribui para que esse material não fizesse parte do mercado de ferramentas

há mais tempo. Grande esforço tem sido feito nos últimos anos afim de aumentar a tenacidade deste material e bons resultados têm sido obtidos. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

As ferramentas cerâmicas se classificam como: à base de óxido alumínio, e a base de silício.

3.7 Diamante

Segundo Ferraresi (1977) pode se classificar este material como sendo o mais duro, o qual seria de grande valia para usinagem se não fosse seu alto preço. Deste modo, o diamante como matéria prima somente é utilizado quando se deseja alta precisão de medidas e acabamento brilhante, como é o caso de espelhos e lentes.

Diante da dificuldade de se utilizar o diamante natural como ferramenta, pelos motivos citados anteriormente, no ano de 1973 foi apresentada de modo inédito uma ferramenta com uma camada de diamante sintético policristalino sigla (PCD). (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

Há propriedades vantajosas que podemos destacar no PCD, o que favorece sua utilização na usinagem, já outras limitam sua utilização.

Dentre as propriedades positivas, tem-se: alto valor de condutividade térmica (de 1 a 5 vezes o valor do metal duro classe K) o que dificulta a constituição de pontos quentes na ferramenta, altíssima dureza (cerca de 4 vezes a do metal duro classe K e 3 vezes a da alumina) e altíssima resistência ao desgaste por abrasão. Sua tenacidade pode ser considerada alta se considerar-se sua alta dureza (maior que a dos cerâmicos baseados em nitretos e menor que a do metal duro). (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006, p. 97).

Há características que limitam a utilização dos diamantes na usinagem, sendo uma delas a anisotropia, onde surge a necessidade de uma cuidadosa lapidação do PCD para que a direção mais resistente coincida com aquela que está resistindo aos esforços e, principalmente, o fato de o diamante reagir com o ferro em temperaturas modernas, ocasionando um elevado desgaste por difusão. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006, p. 97).

O diamante PCD é mais comumente empregado na indústria manufatureira, no corte de ligas de alumínio- silício, quando se almeja para peça ótimo acabamento e tolerâncias apertadas. Esse tipo de liga tem substituído outros materiais (em especial o ferro fundido), em muitas aplicações da indústria automobilística, com o intuito de reduzir o peso do veículo. (DINIZ; MARCONDES; COPPINI, 2006).

4 METODOLOGIA

O presente trabalho teve como metodologia aplicada, um estudo bibliográfico acerca do tema proposto: Materiais para ferramenta de corte em usinagem.

Deste modo, foram abordados de forma singular cada material passível de ser utilizado para a confecção de uma ferramenta, desde os materiais mais utilizados nos procedimentos de usinagem, bem como aqueles com baixo aproveitamento na área. Permitindo ao leitor conhecer cada material de forma aprofundada dando-lhe uma visão comparativa e completa sobre o tema.

Neste contexto, foram abordadas também as características de cada matéria prima, suas propriedades e efetivas aplicações no ramo da usinagem, e reflexos no meio industrial nacional e internacional.

Teve como principal base do estudo bibliográfico, referência de várias obras, as quais os autores possuem vasta experiência sobre o tema, sendo possível uma visão ampla e significativa de cada material.

Foi utilizado como fonte também tabelas comparativas de cada material, e sua aplicação, e figuras ilustrativas ambas, combinadas agregaram ao trabalho um ponto de vista mais prático, permitindo uma compreensão mais eficiente, tabelas e figuras estas retiradas das obras já citadas como fonte de pesquisa.

Outra ferramenta de grande valia para a composição do Trabalho foi uma pesquisa de estudos e artigos concernentes ao tema, em sites especializados, agregando um formato atual ao trabalho.

Todos estes elementos utilizados acima como metodologia do presente trabalho almejam que o conteúdo seja exposto de maneira clara, objetiva, atual e transparente, para que o leitor possa compreender o tema e se interessar, pela complexidade e ao mesmo tempo praticidade que a Usinagem nos permite, sendo de grande contribuição para indústria não somente nacional, mas também internacional, nos seus mais diversos segmentos.

5 DESENVOLVIMENTO

As ferramentas estudadas no presente trabalho, foram desenvolvidas com base no conhecimento e informações dos materiais utilizados, como sua resistência, temperatura, tenacidade, entre outros. Mas a parte prática é a principal maneira de se observar o comportamento das ferramentas durante o procedimento de usinagem. Pois quando estamos de fato colocando a ferramenta em teste é possível saber se o objetivo para o qual foi criada está sendo atingido.

Uma boa usinagem depende de muitos fatores, que vão muito além de uma ferramenta, ou seja, a fixação da peça, a complexidade geométrica do produto a ser fabricado, o comprimento, etc.

Sendo assim, nem sempre a ferramenta que na teoria seria a mais adequada para um tipo de material conforme suas especificações será a que conseguirá executar da melhor forma a usinagem. Muitas vezes devido a fixação do componente pode ocorrer vibração, onde há a necessidade de utilizar uma ferramenta desenvolvida para outro tipo de serviço, mas que neste caso se adaptaria melhor para assim garantir a qualidade do trabalho. O maquinário a ser utilizado também é algo que impede o uso de determinada ferramenta, porque apesar de os fabricantes estarem sempre se modernizando e buscando criar máquinas multifuncionais, existem alguns processos muito específicos que não permitem serem feitos em qualquer máquina.

Devido a esses impasses entre projetos, máquinas, qualidade, produção, precisamos estar evoluindo e modernizando os procedimentos de usinagem. Há ocasiões onde uma ferramenta que já é pré-estabelecida para o processo não atende a expectativa e padrão necessário para realizar o trabalho, onde infelizmente não atende a necessidade do cliente, nestes momentos temos que agir de forma a desenvolver as chamadas “ferramentas especiais”, ou seja, itens que não são produzidas em escala comercial.

Nos diversos segmentos onde a usinagem é aplicada atualmente, temos uma gama muito grande de variedades de peças e componentes que a cada dia exigem mais precisão e durabilidade destas ferramentas. Peças da indústria aeronáutica por exemplo, são de uma complexidade incrível onde há

constante modernização das ferramentas para que consigam atender a demanda sem diminuir a qualidade do produto, são componentes que levam em sua composição química diversos materiais, passam por tratamentos térmicos que elevam ainda mais a dureza da peça, obrigando que a ferramenta tenha uma alta capacidade de resistência. De outro modo temos procedimentos de usinagem onde os materiais são mais maleáveis, porém a empresa necessita que o volume de produção seja o foco principal, deste modo a precisa ter uma precisão maior para garantir que ocorram menos paradas de máquina por trocas de ferramentas.

A indústria vem se adaptando a essas mudanças, e um fator importantíssimo para essa evolução é garantir a intercambiabilidade dessas ferramentas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O método de seleção de uma matéria prima de ferramenta, engloba um misto de fatores que devem ser levados em consideração, cabe ao engenheiro ter conhecimento de todos os materiais disponíveis e suas propriedades, e aplica-los conforme a necessidade da peça a ser usinada.

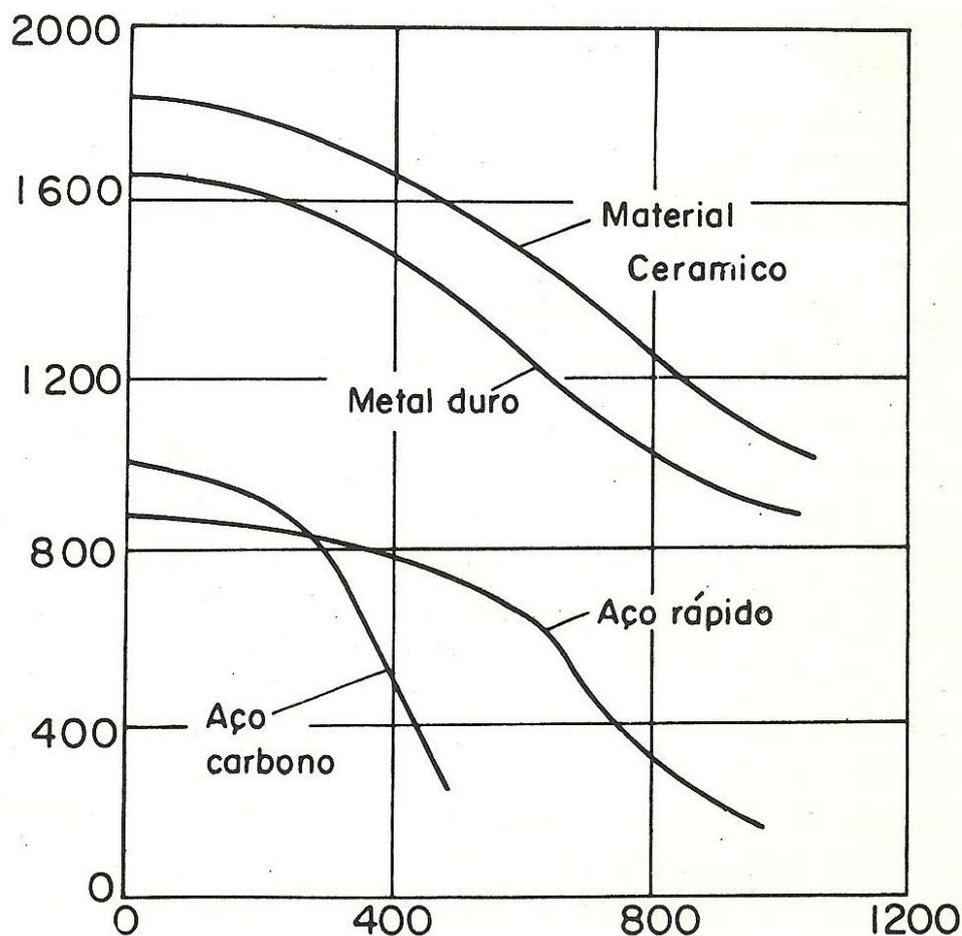
É importante salientar, que não necessariamente a melhor matéria prima é aquela que garantirá uma vida mais longa à ferramenta. Haja vista que muitas vezes a credibilidade e previsibilidade da performance são mais essenciais. Quando o engenheiro for fazer a correta seleção do melhor material a ser utilizado, ele deve analisar se a ferramenta não sofrerá nenhum dano que possa comprometer seu funcionamento, e os mecanismos envolvidos, e assim poder escolher a melhor ferramenta para cada ocasião.

Como mencionado anteriormente a melhor escolha da matéria prima engloba muitos fatores, os quais devem ser levados em consideração na decisão final pelo material que atenda a todos as exigências de determinada ferramenta, a qual deverá apresentar melhor desempenho.

É importante salientar que a propriedade mais essencial para uma ferramenta, é a dureza, deste modo é notório que tanto a dureza, quanto a resistência ao desgaste estão, inteiramente relacionadas com a habilidade de transmitir altas velocidades aos procedimentos, já que esse parâmetro é causador do aumento de temperatura.

A Figura 2 exemplifica a variação da dureza em função da temperatura para o material cerâmico, metal duro, aço rápido e aço carbono.

Figura 2 – Variação da dureza, em função da temperatura, para quatro tipos de materiais.



FONTE: FERRARESI, (1977) –

Para Ferraresi (1977) entretanto a escolha de uma matéria prima para ferramenta depende, contudo, de muitos outros fatores, além do seu custo inicial e das suas características físicas. Pode se constatar que a, a seleção não é simples, e deve também ser baseada em dados práticos disponíveis, assim como experiências prévias

A gama de variedade de ferramentas de corte atualmente disponíveis no comércio, aumentou muito desde os anos 1980, isto se deve a tecnologia que avança de forma rápida e também se deve para sanar as necessidades dos mais diversos grupos de materiais a usinar, visando sempre o aumento da produtividade e a economia no corte. Com a disponibilidade de uma maior variedade de materiais de ferramentas no mercado a escolha correta torna-se uma tarefa cada vez mais engenhosa. Conhecer o processo e entender os

mecanismos de desgaste, desafio este que é proposto ao engenheiro e cabe ao mesmo se aprofundar no vasta e complexa seleção de material, respeitando cada projeto e prioridades.

7 CONCLUSÃO

A seleção mais eficaz e coerente da matéria prima de uma ferramenta para usinagem abrange muitos fatores que devem ser levados em consideração no momento da escolha deste material. Foi abordado no decorrer do presente trabalho os aspectos individuais de cada material, permitindo uma visão ampla sobre o assunto, de forma que esta seleção seja feita levando em consideração não somente aspectos teóricos, mas como também demonstrado aspectos práticos. Sejam eles o preço do material e ferramenta, condição da máquina onde o material será usinado, formas e tamanhos da mesma, bem como as condições de usinagem oferecidas.

Para uma melhor seleção cabe ao engenheiro ter o conhecimento aprofundando de cada material, podendo então escolher da melhor forma, pensando em todos os procedimentos que cada material deverá passar para o resultado esperado, comparando a tenacidade de cada material, resistência, equilíbrio químico e dureza.

A presente monografia foi extremamente importante para a formação acadêmica, pois possibilitou um leque de conhecimentos em procedimentos de usinagem, os quais agregaram imensamente a Conclusão do curso.

Conclui-se que o melhor material a ser utilizado será o que atende todos os requisitos, aspectos e propriedades de cada caso específico, não necessariamente seguindo sempre uma regra peculiar mais sim, um estudo abrangente que atenda a cada processo.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, R.F., **Desempenho de Ferramentas de Metal Duro Revestidas com TiN, TiCN e TiAlN (PAPVD) no Torneamento do Aço BNT 4340 Temperado e Revenido**. Tese de doutorado, UFMG, Programa de PG em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte – MG, 29.04.2003.

CHIAVERINI, V., **Aços e Ferros Fundidos**, 4ª Edição, ABM, São Paulo :1979

DINIZ ; MARCONDES; COPPINI., **Tecnologia da Usinagem dos Materiais** Editora Artliber, 5ª Edição, São Paulo: 2006

DREYER, K., **New Developments for Hardmetals, Cermet and Coatings in Experiment and Practice**, Translation of the Presentation at VDI-Seminar “High Performance Processes in Cutting Operations”: 1999

DROZDA, T.J., **Ceramic Tools Find New Applications**”, Manufacturing Engineering, May, pp. 34-39. 1995

FERRARESI, D, **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo.: 1977.

GAMARRA, J.R., **Novas Classes de Metal Duro**, Anais do Congresso de Usinagem 2000: 2000.

ISO, Standard nº 513, 2004 (E): **“Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges – designation of main groups and groups of application”**.

KOLASKA, H. and DREYER, K., (1990), **Metal Duro, Cermets e Cerâmica**, Metal Mecânica,. KOMANDURI, R., (1989), **“Advanced Ceramic Tool Materials for Machining”**, Int. J of Refractory Materials & Hard Metals

KOMANDURI, R, **Tool Materials**”, **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**, Fourth Edition, Vol. 24, ISBN 0-471-52693-2, John Wiley and Sons Inc.: 1997

MITSUBISHI, **Mitsubishi Tooling Technology Level 1**”: 2005

MOMPER, I.F, **Flexible Production With Ceramics**”, Production Engineer: 1987

PAYSON, P. **The Metallurgy of Tool Steels**. New York, John Wiley & Sons: 1949

SANDVIK, C. **Catálogo de Ferramentas Rotativas** : 2001

TöNSHOFF, H.K. and BARTSCH, S, **Performance of Ceramic Cutting Tool Materials in Dependence on their Specific Properties** Intersociety Symp on

Machining of Advanced Ceramic Materials and Components, Winter Annual Meeting of ASME, Chicago: 1988