



SEM 0534 Processos de Fabricação Mecânica

Professor:

Renato Goulart Jasinevicius



Processos de Fabricação Mecânica

Aula 7

Materiais de ferramenta

Desgaste e Avarias de Ferramentas

Vida de Ferramenta

Exercícios

Materiais de Ferramenta



Propriedades a serem consideradas para o material da ferramenta:

- *Dureza a Quente*
- *Resistência ao desgaste*
- *Tenacidade*
- *Estabilidade química*

Materiais de Ferramenta

Bits de Aço rápido



Materiais de Ferramenta

Insertos ou pastilhas



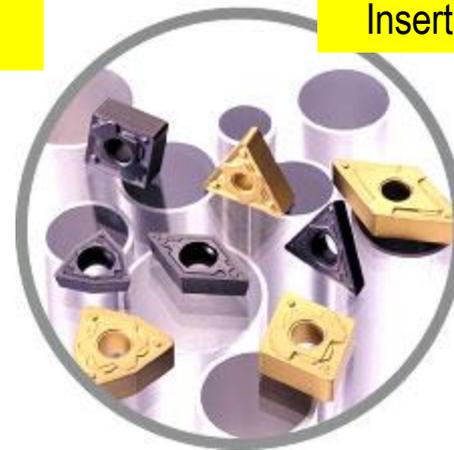
Inserto de CBN



Inserto de Cermet

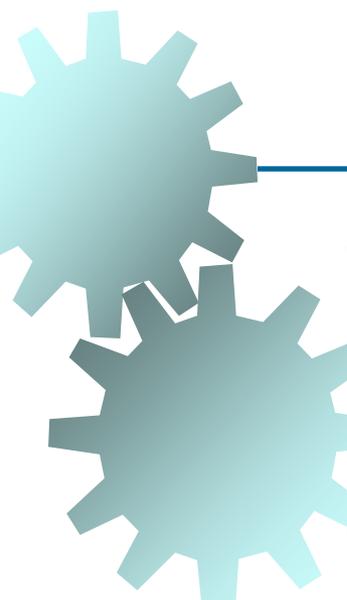


Inserto de Dimante



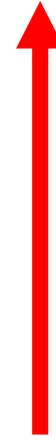
Inserto com coberturas

Materiais de Ferramenta

- 
- *Aços rápidos*
 - *Aços rápidos com cobertura*
 - *Metal duro*
 - *Metal duro com cobertura*
 - *Material Cerâmico*
 - *Nitreto de Boro Cúbico (CBN)*
 - *Diamante*



D
u
r
e
z
a



T
e
n
a
c
i
d
a
d

• **Em geral quando se aumenta a dureza a quente e a resistência ao desgaste por abrasão, a tenacidade do material**

• *Outros materiais: liga fundida (estelita) e aço carbono (com ou sem elemento de liga)*



Materiais de Ferramenta

Desenvolvimento: 1905

Ferramenta de alta liga: W, Mo, Cr, V, Co, Nb

Propriedades do aço rápido:

Tenaz

Elevada resistência ao desgaste

Elevada dureza a quente ($T_{\text{corte}} = 600 \text{ °C}$)

- *Tipo e número de carbonetos duros são responsáveis pela resistência a abrasão*
- *Tenacidade depende dos elementos de liga e grau de dissolubilidade*
- *Observação: aços rápidos resistentes a abrasão são poucos tenazes*
- *Classificação AISI Letra “T” os tipos ao W e ao W-Co e letra M os tipos ao Mo e ao Mo-Co (Vide TABELA)*

Aços rápidos com cobertura

Ferramentas de Metal Duro revestidas: início década de 60 Processo CVD - *Chemical Vapor Deposition*

Aço rápido não era revestido devido à temperatura do processo: 1000 °C

1980 - PVD (Physical Vapor Deposition): 450 °C a 500 °C - Câmara de alto vácuo na presença de gás inerte (Argônio)

Coberturas mais comuns: TiN e TiCN

Características dessas camadas :

alta dureza, ~2300 HV

Elevada ductilidade

redução sensível do caldeamento a frio

(evita a formação de BUE)

Baixo coeficiente de atrito;

Quimicamente inerte

Espessura: 1-4 μm

Ótima aparência

Broca de
aço rápido
Sem
cobertura



Com
cobertura
TiN



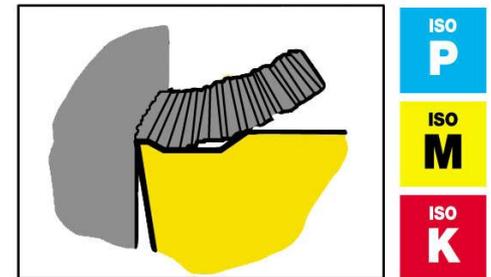
Metal Duro

•Ligas de Não ferrosos- **FILME PRODUÇÃO MD**

- Metalurgia do Pó** - Tamanho de Partículas - 1 a 10 μm ocupando 60 a 95 % do volume do material
- **Segunda Guerra Mundial** - aumento de velocidade da ordem de 4 a 5 vezes
- Primeiros:** Carbetos de tungstênio com cobalto como ligante (3-13%)
- Hoje:** Só WC ou multicarbeto de W-Ti ou W-Ti-Ta: depende do material a ser usinado

Propriedades:

- Materiais duros
- Quimicamente, muito estáveis
- Maior dureza a quente
- Alta rigidez
- Baixo coeficiente de atrito
- Operam a velocidades mais altas do que os AR
- Mais frágeis
- Mais caros
- Usam metais estratégicos na composição (W,Ta,Co)





Metal duro

- **Velocidades de corte usuais:** 50 a 200 m/min
- *Velocidades > 100 m/min – 450 m/min*
- **Corte interrompido** utiliza-se inserto com composição WC-Co (grãos mais finos) e alto Co
- **Reciclagem:** separação de Ta, WC e Co

Metal Duro com Cobertura

Aumentam a vida da ferramenta em 200 a 300% ou mais

Camadas para revestimento: TiC, TiN ou Al₂O₃

Para serem eficazes as camadas devem ser:

- Duras
- Refratárias
- Estáveis quimicamente
- Inertes quimicamente para proteger os constituintes do MD de interagir com o material de corte





Metal Duro com Cobertura

Revestimentos composição: são grãos finos, livres de ligante e porosidade

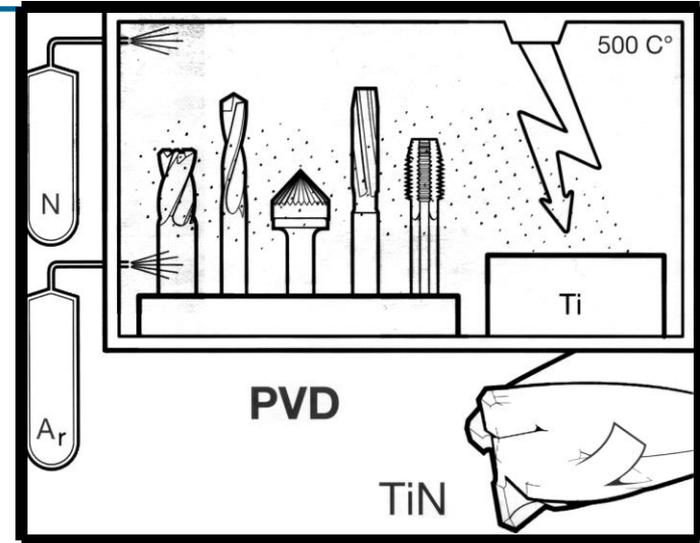
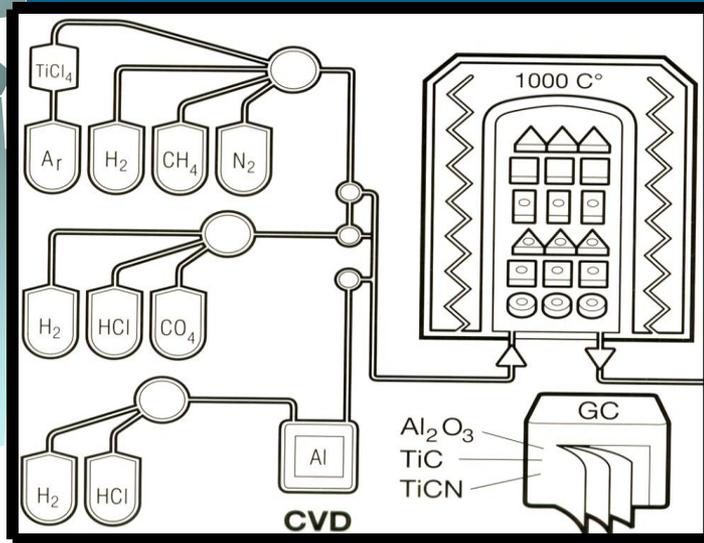
São metalurgicamente ligados ao MD (substrato)

São espessos o suficiente para prolongar a vida da ferramenta e finos o bastante para evitar a fragilidade.

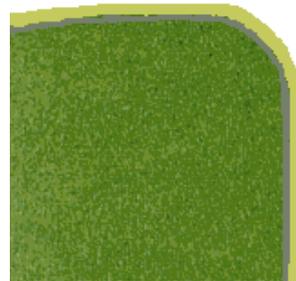
Maiores camadas podem ser frágeis (p.e. 12 μm) que podem melhorar a resistência ao desgaste mas Tenacidade diminui e aumenta tendência ao lascamento.

Solução: Novas camadas TiAlN ou AlTiN - PVD - mais finas e resistentes, arestas menores

Processos de revestimentos para ferramentas



CVD



PVD



Carbeto de Tungstênio é o catalisador da reação

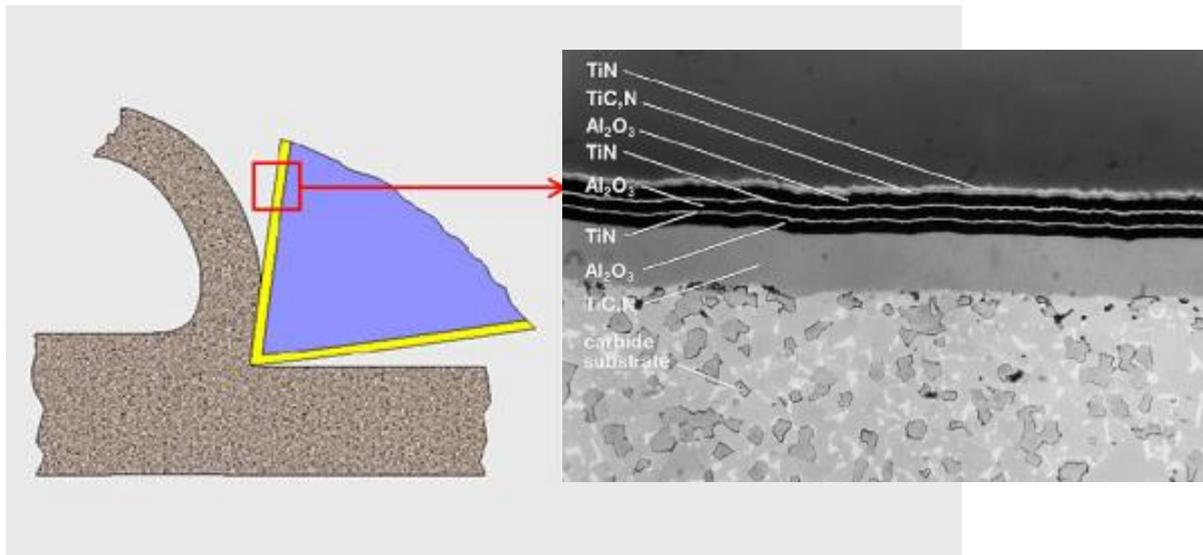
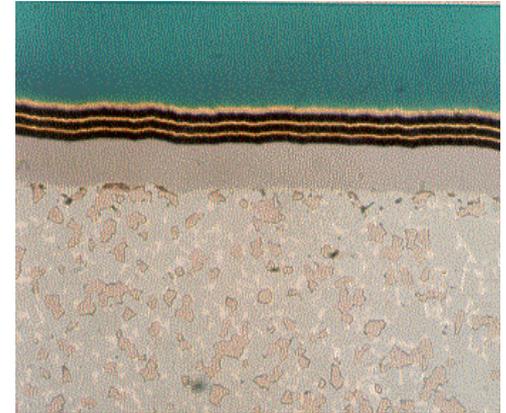


Através da substituição do metano pelo nitrogênio, a camada de de TiN é produzida

Processos de revestimentos para ferramentas

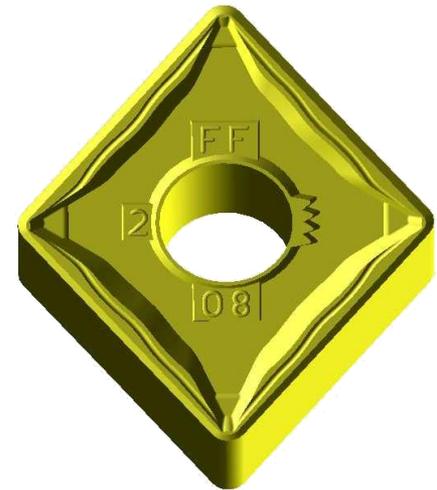


Vista aproximada de uma operação de torneamento com ferramenta de carbeto cementada (*detalhe a direita*) com múltiplas coberturas (*detalhe à esquerda*). *Abaixo*, diagrama esquemático do modelo bidimensional de corte e a seção transversal da cobertura



Pastilhas de Metal Duro

- **Excelente resistência, permitindo usinar com altas velocidades.**
- **Diversas formas e geometrias padronizadas**
- **Diversas classes de M.D. para materiais e condições diferentes de usinagem**
- **Baixo custo de reposição**
- **Dispensa reafiação**



Formatos dos Insertos



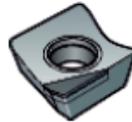
APMT
D130



R/L331.1A
D161



N331.1A
D160



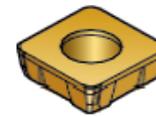
R/L590
D56



RCHT
D123



RCKT
D123



R210
D75



R216
D130



R216F
D136

CoroMill®



R245
D93



R/L 365
D100



R290
D49



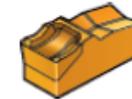
R300
D115



R390
D41



R790
D63



N151.2
D173



330.20
D173

Fresas T-MAX Q-Cutter



327
D182



328
D177



490
D22



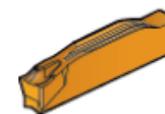
690
D69



345
D86



360
D107



329
D170



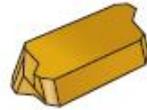
170
D199

Formatos dos Insertos



R216.2

D282



LNCX

D282



SPMT

D283



N260.8

D291



SBEN

D294



SBEX

D294



SDKX

D296

Fresa para
mergulho



LPMH

D79

Fresa Long Edge



LDTH

D71

AUTO



SDMX

D296



TNCN

D287



TNEF

D287



TNEN

D287



TNHF

D287



TNJN

D287

Pastilhas para outras fresas



BPKX

D302



HNGX

D300



SEER

D300



SMKR

D301



SEKR

D300



SEKN

D300



SNKN

D301

Formatos dos Insertos

Pastilhas para outras fresas



SPEX

D301



SPKN

D301



TPKN

D302



TPKR

D302

Página

Pastilhas para materiais avançados

CoroMill®



245

D94



R/L590

D56



290

D49



N365

D100

Pastilhas para outras fresas



RCHT

D125



RPGN

D302



RNGN

D302



TNCN

D287

Página

Classes

P

M

K

N

S

H

Aço

**Aço
Inoxidável**

**Ferro
Fundido**

**Não
Ferroso**

**Ligas
Resistentes
Temperaturas**

**Materiais
Endurecidos**

01

10

15

20

25

30

50

01

10

15

20

25

30

50

01

50

01

50

01

50

01

50

Dureza

Tenacidade

Tenacidade

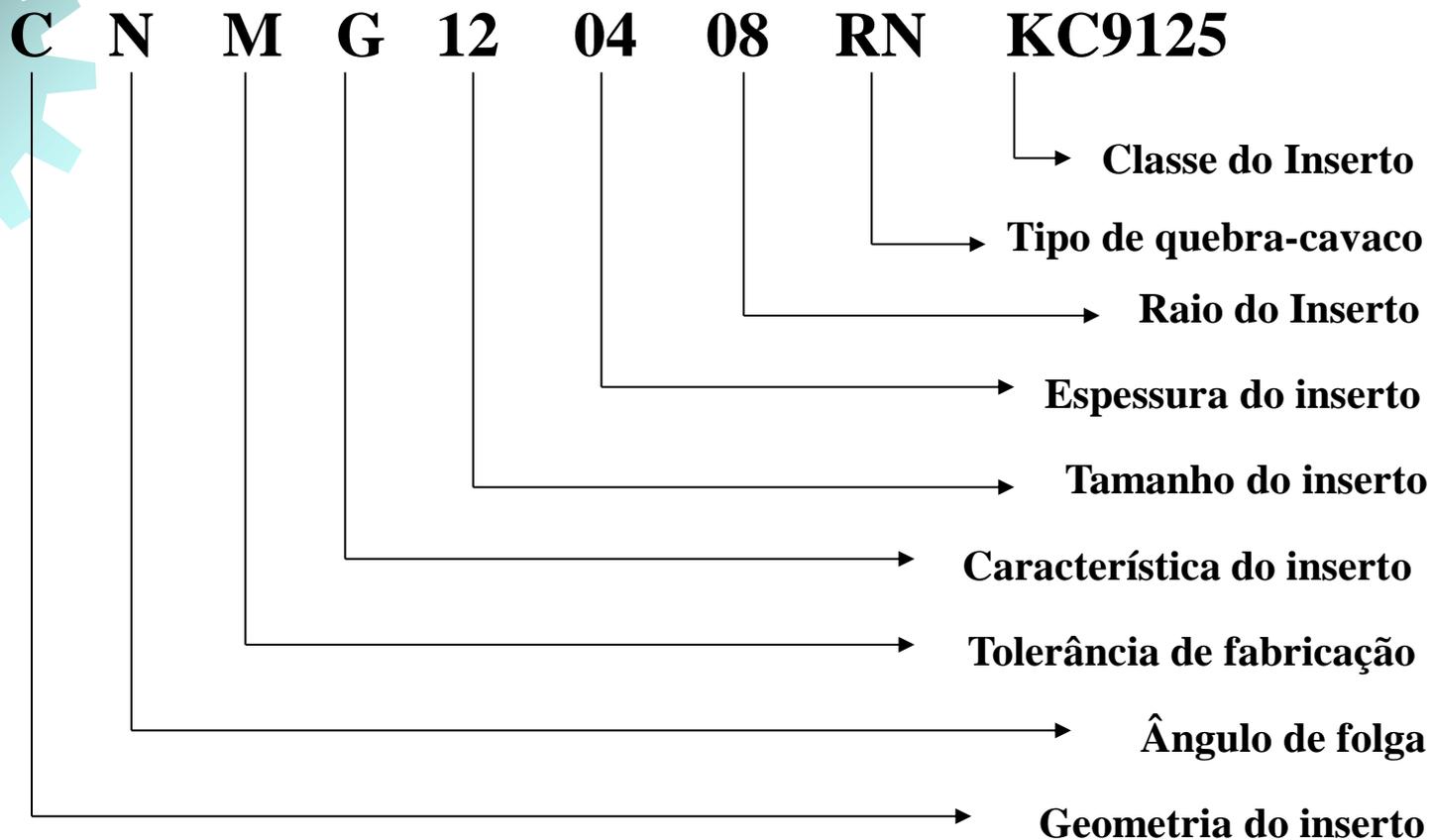


Como identificar os Insetos(Pastilhas)?

Existem NORMAS Internacionais :

- **ISO - Internacional**
- **ANSI - Americana**

Codificação ISO - Insertos



Formato dos Insertos

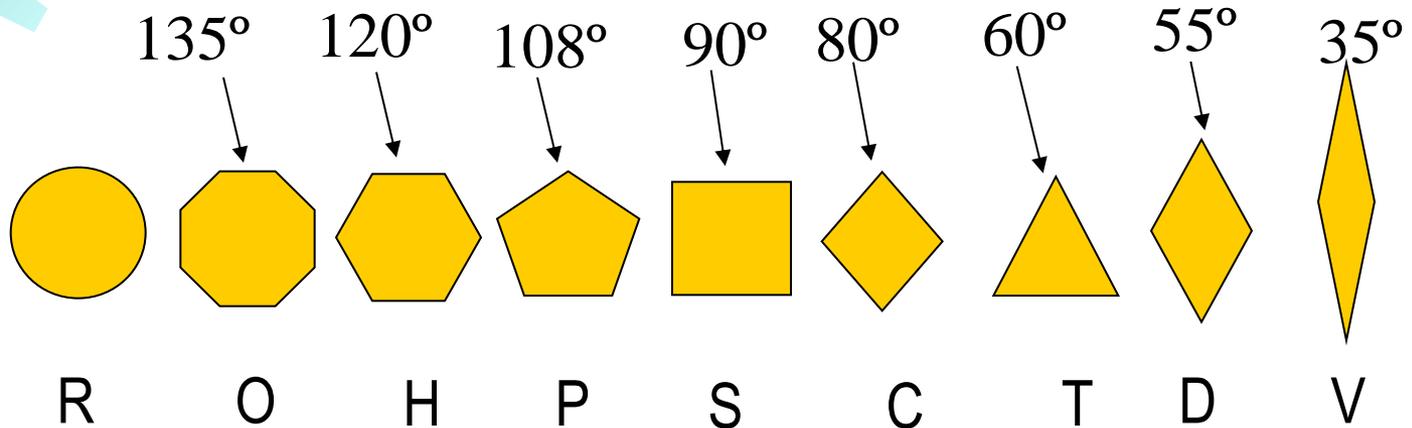


<i>Letra ref. inserto</i>	<i>Descrição da forma do inserto</i>	<i>Ângulo de ponta do inserto (°)</i>
R	REDONDO	N/A
O	OCATGONAL	135
H	HEXAGONAL	120
P	PENTAGONO	108
S	QUADRADO (“SQUARE”)	90
C	DIAMANTE	80
T	TRIÂNGULO	60
D	DIAMANTE	55
V	DIAMANTE	35

Formato dos Insertos

Insertos de Metal Duro

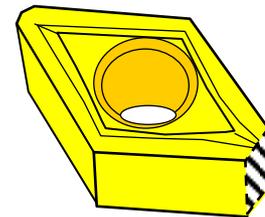
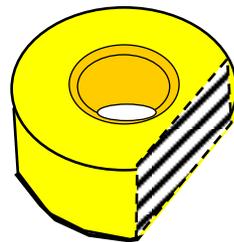
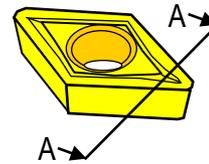
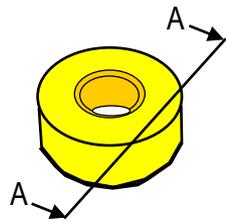
Aumenta a resistência



Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

Formato dos Insertos

Insertos de Metal Duro

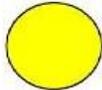


A-A

A-A

Aumento da chance de lascas e/ou quebrar

Formato do Inserto

Fatores que afetam a escolha	R	100	90	80	80	60	55	35
								
Desbaste pesado	●	●	●	⊗	⊗	⊗		
Desbaste leve e semi-acabamento	●	⊗	⊗	●	●	●	●	
Acabamento	●			⊗	⊗	●	●	●
Torneamento e faceamento				●	⊗	⊗	●	●
Perfilamento				⊗	⊗	⊗	●	●
Versatilidade operacional	⊗			●	⊗	⊗	●	⊗
Potência limitada				⊗	⊗	●	●	●
Tendência a vibração					⊗	●	●	●
Materiais Endurecidos	●	●	●					
Corte Interrompidos	●	●	●	⊗	⊗	⊗		



Melhor recomendação



Aceitável

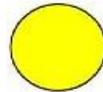


Vibração

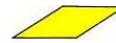
Formato do Inserto

Fatores que afetam
a escolha

R



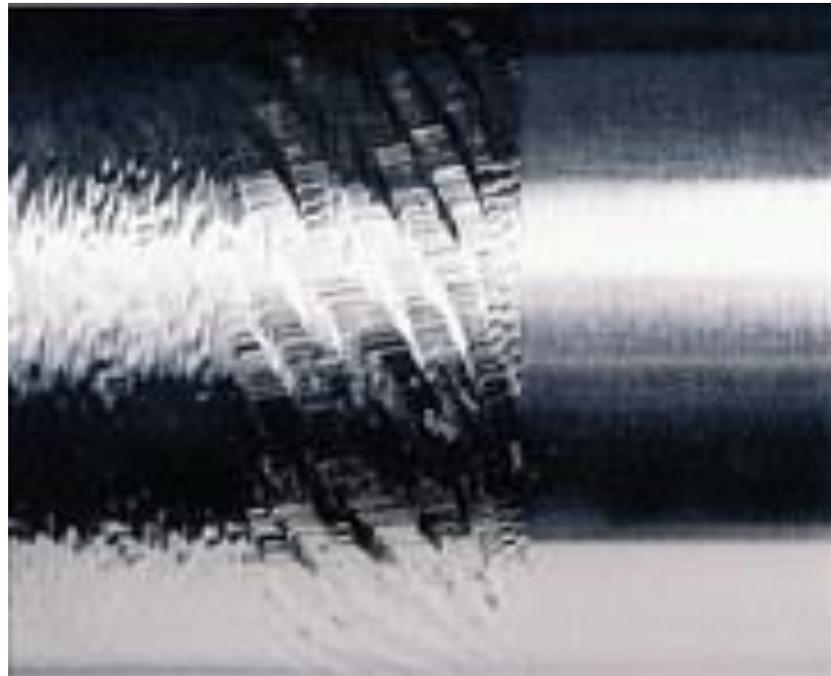
35°



Vibração



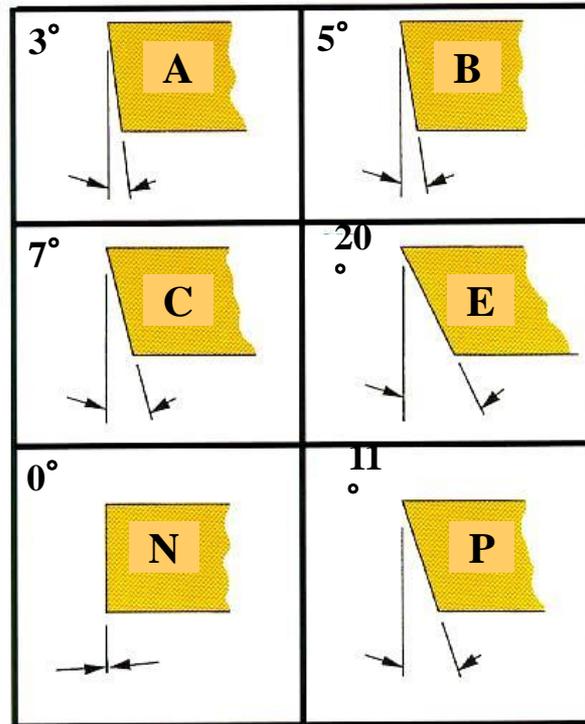
Melhor recomendação



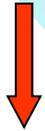
Ângulo de folga

T N M G - 4 3 2

T N M G - 22 04 08



Tolerância

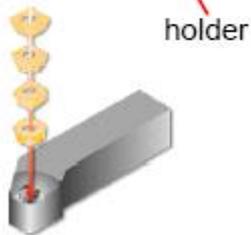
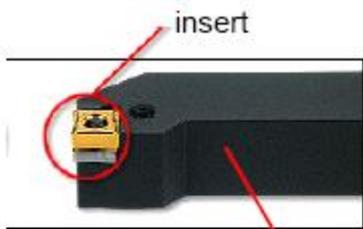
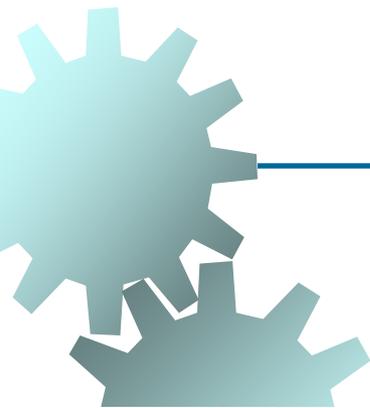


T N M G - 4 3 2

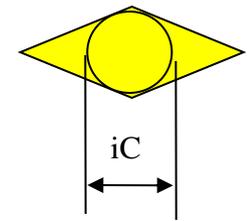
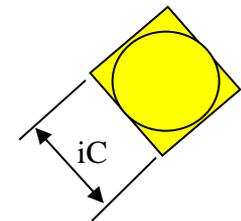
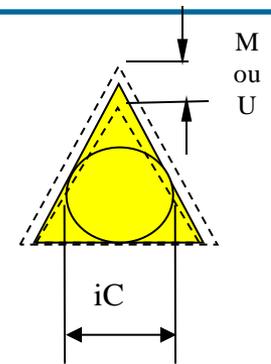


T N M G - 22 04 08

Tolerância

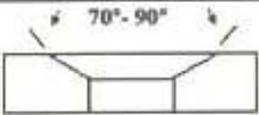
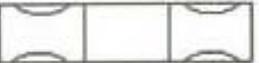
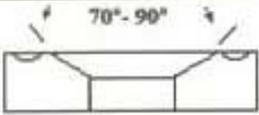
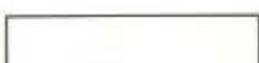


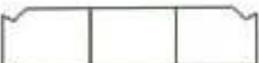
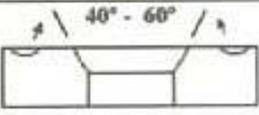
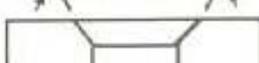
<i>Circulo Inscrito</i>	Tolerância da Classe	
	M	U
iC (mm)		
3,97	$\pm 0,05$	$\pm 0,08$
5,0 $\pm 0,05$		
5,56		
6,0		
6,35		
8,0		
3,525		
1,0		
12,0	$\pm 0,08$	$\pm 0,13$
12,7		
15,875	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$
16,0		
19,05		
20,0		
25,0	$\pm 0,10$	$\pm 0,18$
25,4		
31,75	$\pm 0,13$	$\pm 0,25$
32,0		



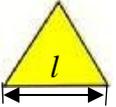
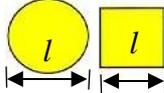
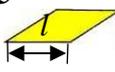
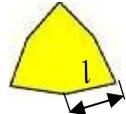
Característica do Inserto: quebra cavaco

T N M **G** - 4 3 2 T N M **G** - 22 04 08

	A
	B
	G
	H
	M
	N

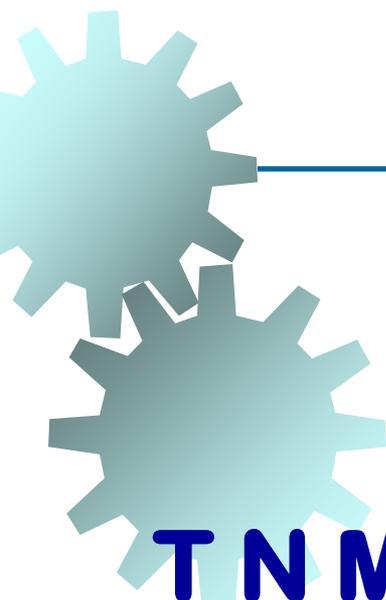
	*P
	R
	*S
	T
	W
special design	X

Tamanho da aresta de corte l (mm)

d (iC) →	6.35 (1/4")	9.52 (3/8")	12.70 (1/2")	15.88 (5/8")	19.05 (3/4")	25.40 (1")
	11	16	22	27	33	44
	06	09	12	15	19	25
55° 	07	11	15	19		
80° 	06	09	12	16	11	25
35° 	11	16	22			
	04	06	08	10	13	17

iC = Círculo Inscrito

Espessura “S”



T N M G - 4 **3** 2

T N M G - 22 **04** 08

CPGM - 16 **T3** 08

$1/8 = .125 = 3.18\text{mm} = 03$

$5/32 = .156 = 3.97\text{mm} = T3$

Espessura “S”

01	S= 1,59
T1	S= 1,98
02	S= 2,38
03	S= 3,18
T3	S= 3,97
04	S= 4,76
05	S= 5,56
06	S= 6,35
07	S= 7,94
09	S= 9,52
10	S= 10,00
12	S= 12,00

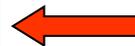
T N M G - 22 04 08



T N M G - 4 3 2



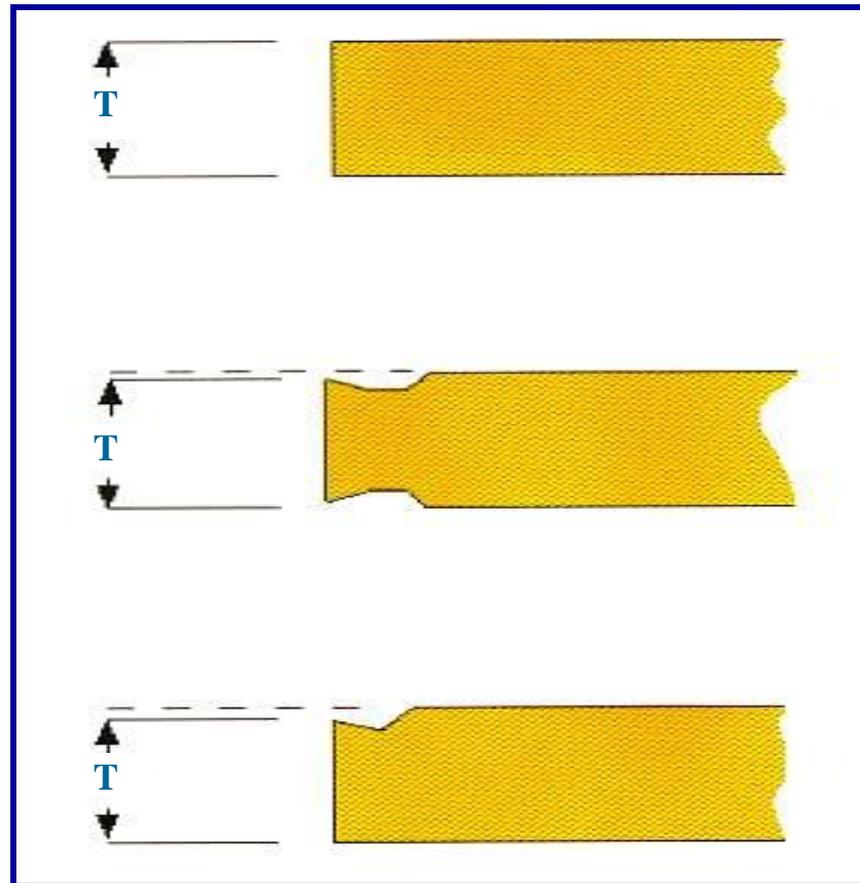
CPGM - 16 T3 08



1/8 = .125 = 3.18mm = 03

5/32 = .156 = 3.97mm = T3

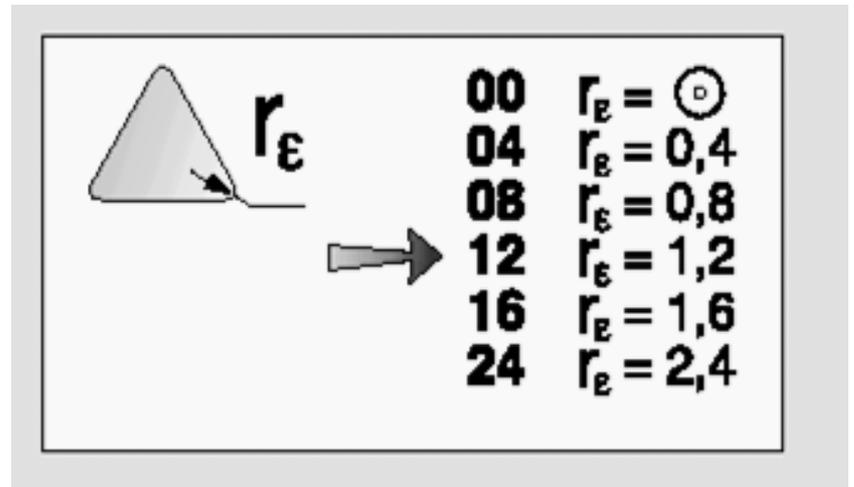
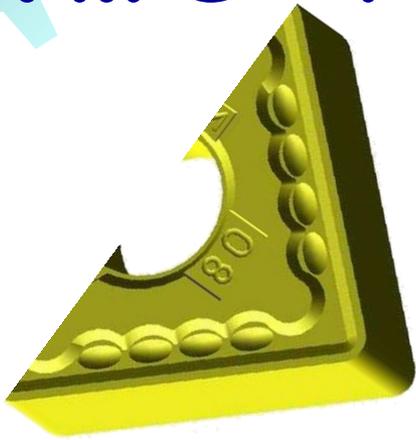
Espessura do Inserto



Raio de Ponta

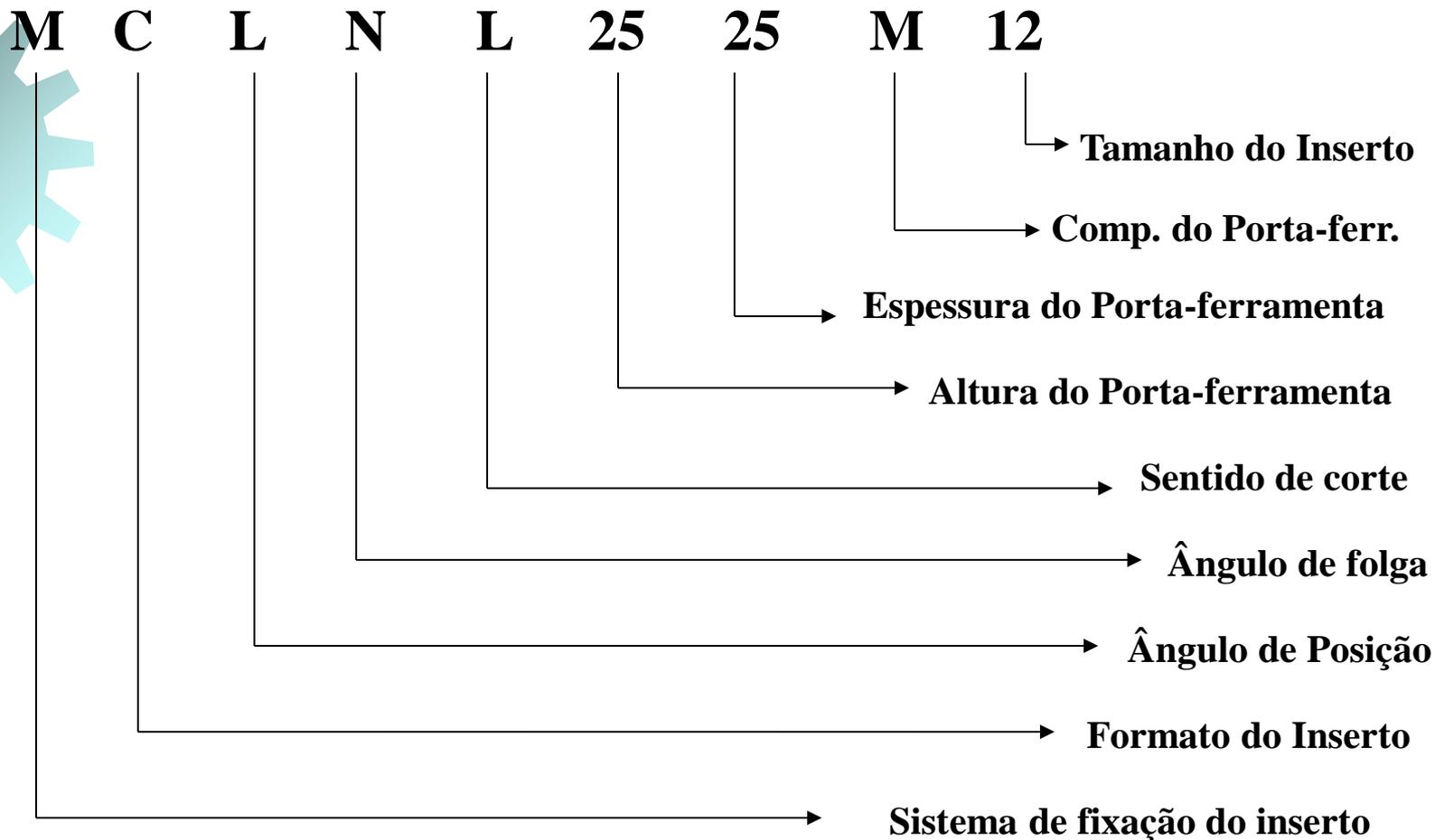
T N M G - 4 3 **2**

T N M G - 22 04 **08**



Codificação ISO

Porta-ferramenta Externo



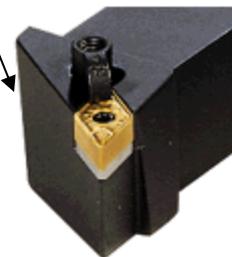
Ferramentas para torneamento



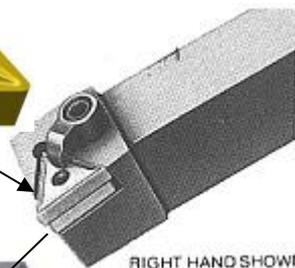
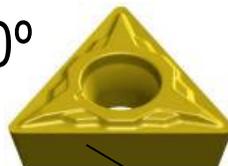
90°



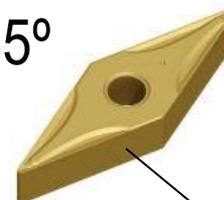
55°



60°



35°



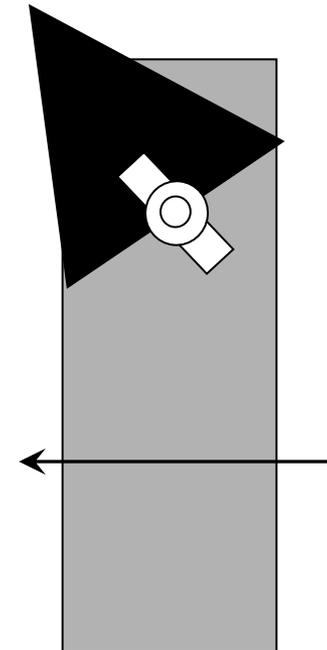
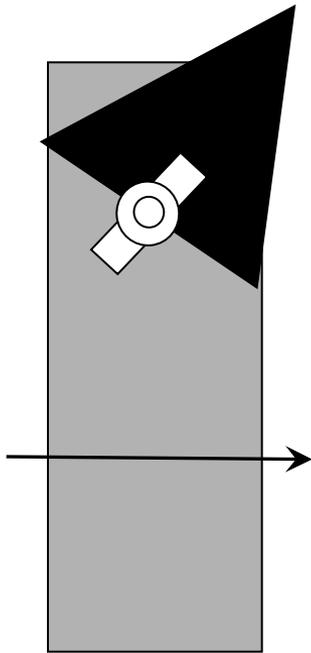
Assento para inserto de MD

Ferramentas para torneamento

Ferramentas de torno

Ferramenta esquerda

Ferramenta direita



Corta da esquerda para
direita

Corta da direita para
esquerda

Ferramentas para Torno



Tornear e Chanfrar



Facear 75°



Rosquear 55°



Mandrilar e facear 90°



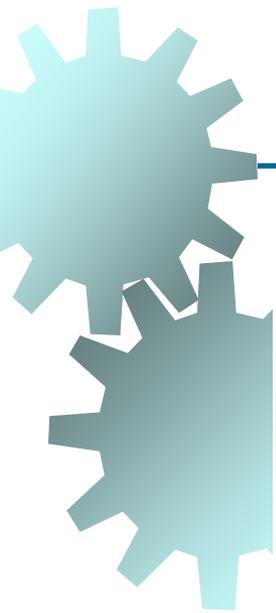
Recartilhar



Porta matriz para cossinete

<http://tool.wttool.com/>

Brocas com Inserto de Metal Duro



Fresas com Inserto de Metal Duro



Nova fresa tipo caracol CoroMill 176

Material da Ferramenta: Cerâmica

1) Óxido de Alumínio (Al_2O_3) - SINTERIZADA

- Puro e prensado a frio = Cor Branca
- Puro e prensado a quente = Cor Cinza
- Teor de MgO , Função *inibir crescimento de Grão*;
- **CrO, Ti e Ni:** \uparrow resistência mecânica ou Al_2O_3 \downarrow % de ZrO_2 que aumenta a tenacidade do material

2) **Nitreto de Silício (Si_3N_4)** com fase intergranular de SiO_2 sinterizados na presença de alumina e/ou óxido de ítrio e óxido de manganês

3) **CERMETS** = Fase Cerâmica + Fase Metálica - Semelhante ao MD

- Partículas duras: TiC , TiN e/ou TiCN (ao invés de WC , TiC e TaC do MD) e Níquel como ligante (ao invés de Co)
- Podem ser revestidos com TiN - menor atrito e tendência a BUE



Material da Ferramenta: CBN e PCBN

Nitreto de Boro Cúbico (borazon, CBN ou PCBN):



BN tem estrutura de grafite hexagonal.

Na presença de Pressão (5 GPa a 9 GPa) e Calor ($T = 1500^\circ$ a 1900°C) na presença de um catalisador (Lítio) podem transformar para estrutura cúbica = plaquetas de CBN.

Espessura da camada formada = 0.5 mm sobre MD

Quimicamente mais estável que o Diamante para usinar metais ferrosos

Tenacidade do CBN ~ Cerâmica (Nitretos) e $2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$

Dureza < Diamante porém $2 \times \text{Al}_2\text{O}_3$



Material da Ferramenta: CBN e PCBN

Duas categorias:

- *CBN`s para usinagem em desbaste ($0.5 < a_p < 8\text{mm}$)*
- *CBN`s para usinagem em acabamento ($a_p < 0.5\text{ mm}$)*

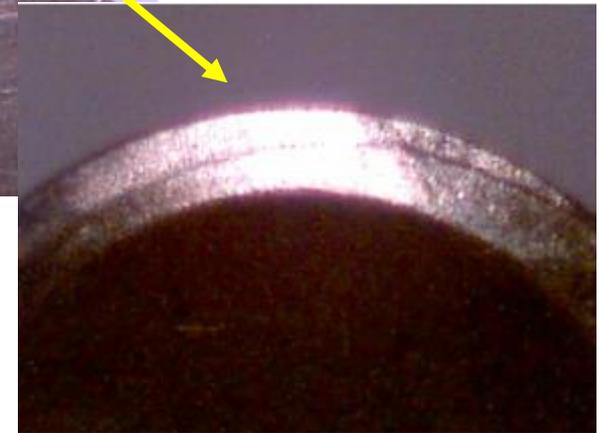
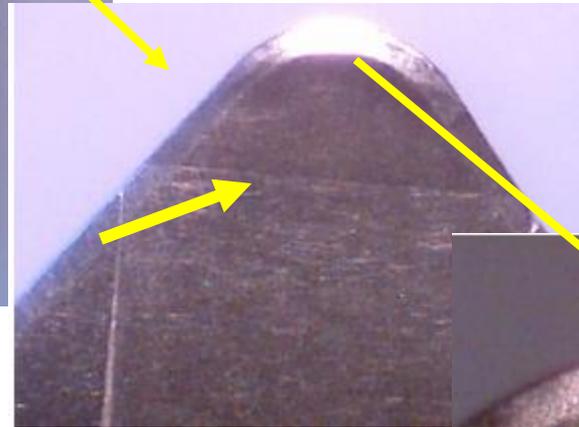
CBN`s para desbaste maior concentração de CBN (90% em volume) maior ligação cristal com cristal = maior tenacidade

Eficientes diante de operações com predominância de mecanismos de desgaste por abrasão ou forças altas e corte interrompido como torneamento e fresamento de aços e FoFo cinzento (HRc entre 45 e 65)

CBN`s para acabamento possuem fase cerâmica (menor tenacidade e dureza, porém maior estabilidade térmica e química que os CBN`s para desbastes).

Material da Ferramenta: CBN e PCBN

Nitreto de Boro Cúbico (borazon, CBN ou PCBN):





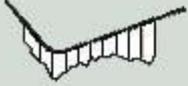
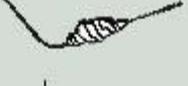
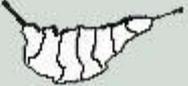
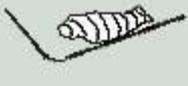
Desgaste de Ferramentas para usinagem

Mecanismos de desgaste de Ferramenta:

- a) Abrasão
- b) Difusão
- c) Fratura – fadiga mecânica
- d) Fadiga térmica

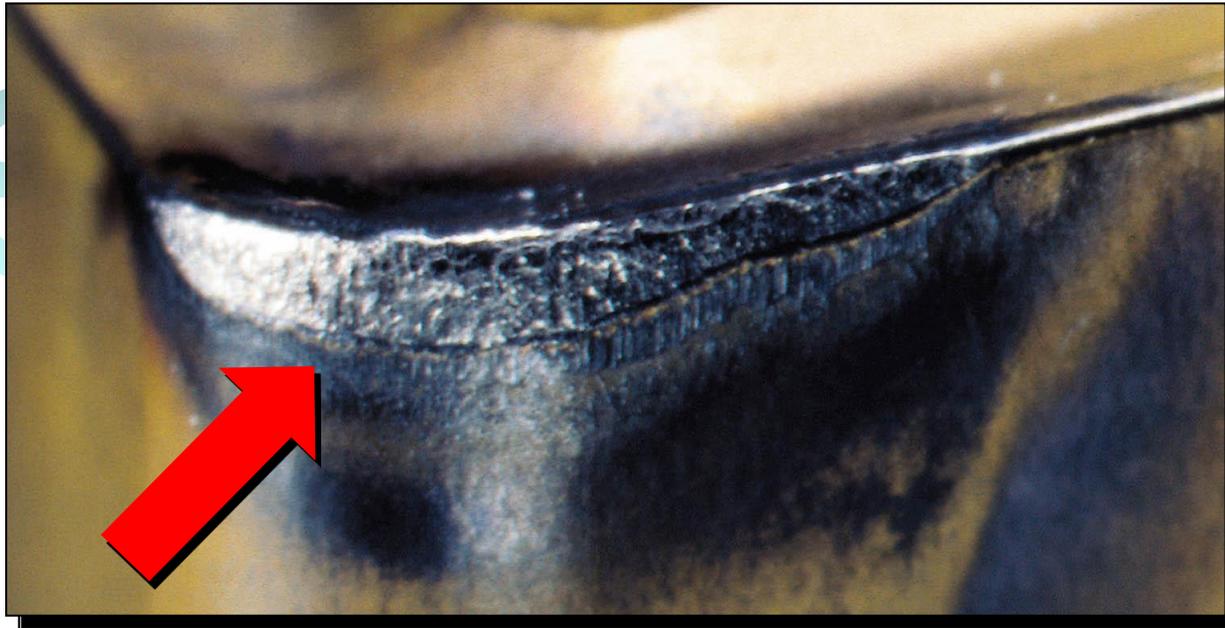
Tipos de Desgaste e Avarias em Ferramentas para usinagem



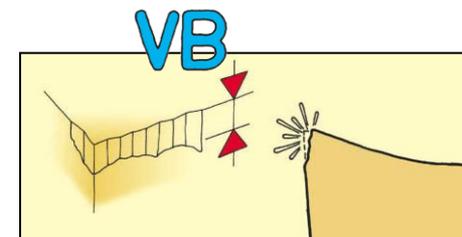
 Desgaste de flanco	 Desgaste de cratera
 Deformação plástica	 Entalhe
 Trincas em forma de pente	 Quebra por fadiga mecânica
 Lascamento	 Quebra
 Gume postiço	

Desgaste de flanco

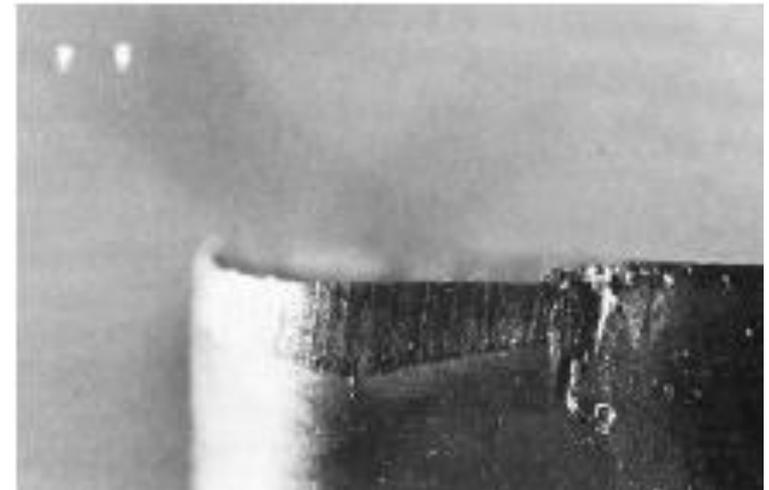
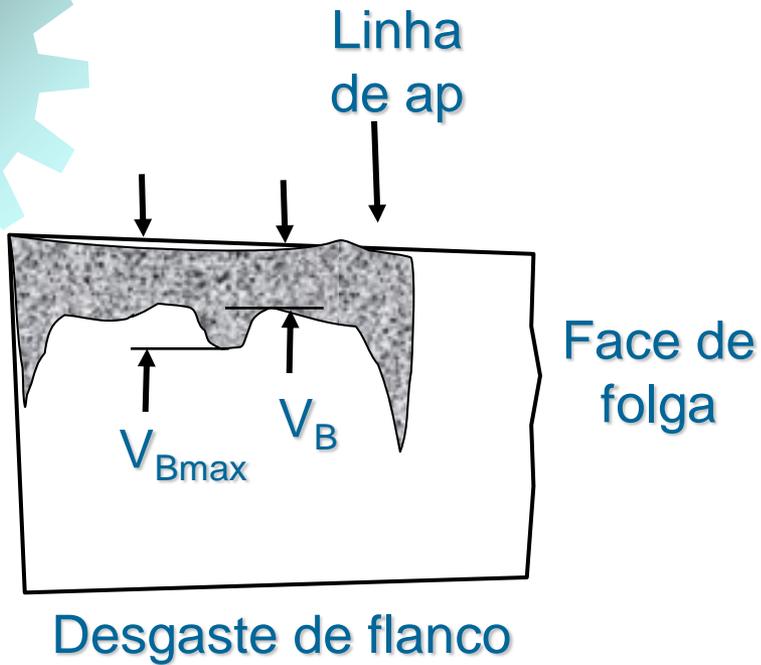
Desgaste abrasivo devido aos carbonetos, velocidade e casca dura



- Soluções
- Classe com mais resistência ao desgaste
- Menor velocidade de corte



Desgaste de flanco - Superfície de folga



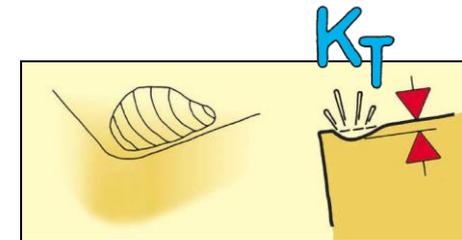
Craterização

Difusão entre a pastilha e o material da peça



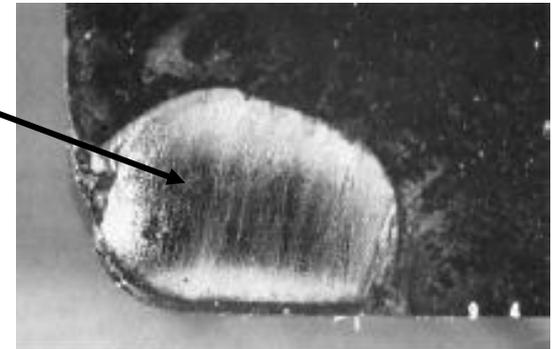
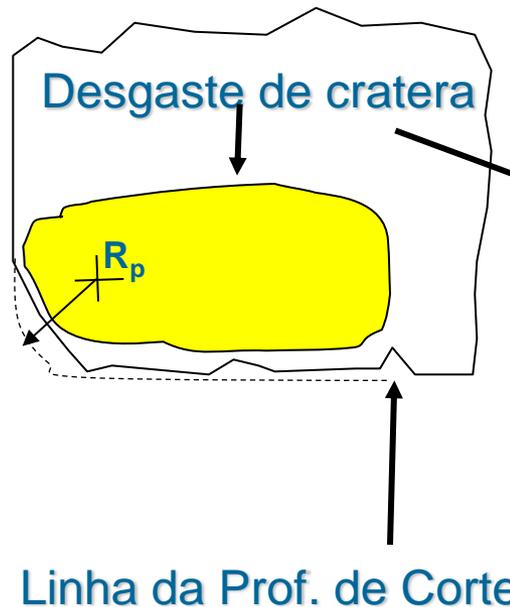
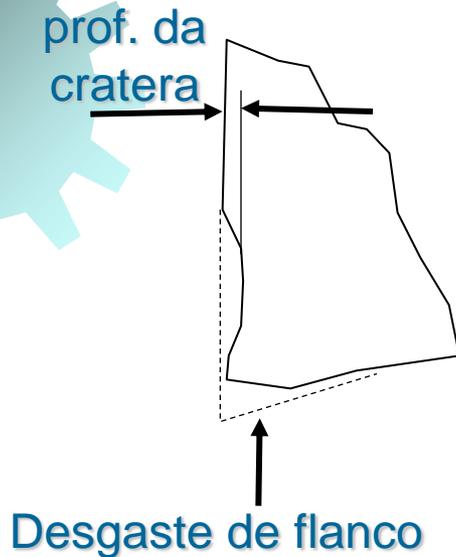
Soluções

- Classe mais resistente ao desgaste
- Menor velocidade de corte



Tipos de Desgaste

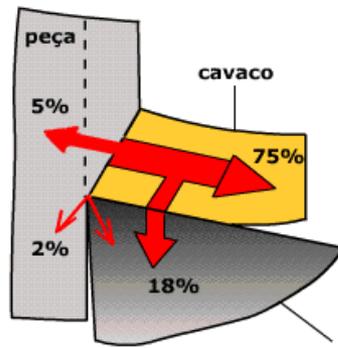
Desgaste de Cratera - Superfície de saída



Deve-se observar que o desgaste de cratera é formado “longe” da aresta de corte: essa região coincide com a região de máxima Temperatura do cavaco

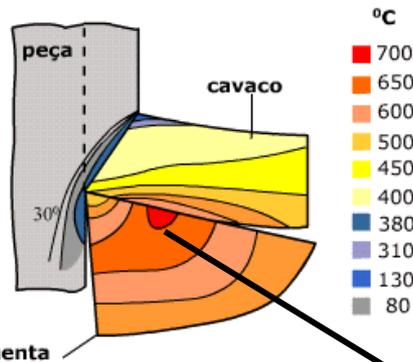
Desgaste de Cratera - Superfície de saída

Geração de Calor

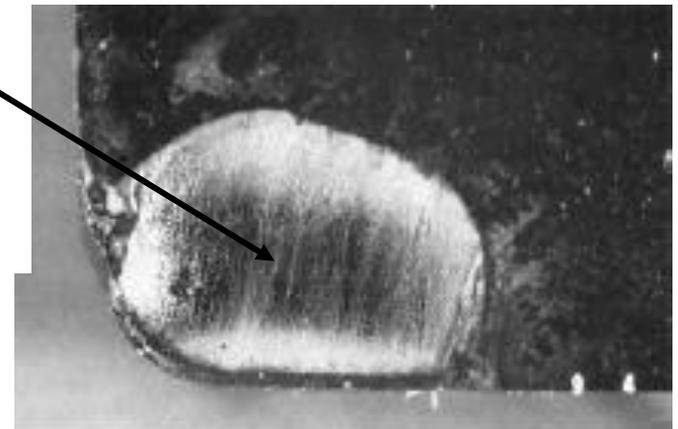


Material: Aço 850N/mm²
Vel.de Corte :60 m/min

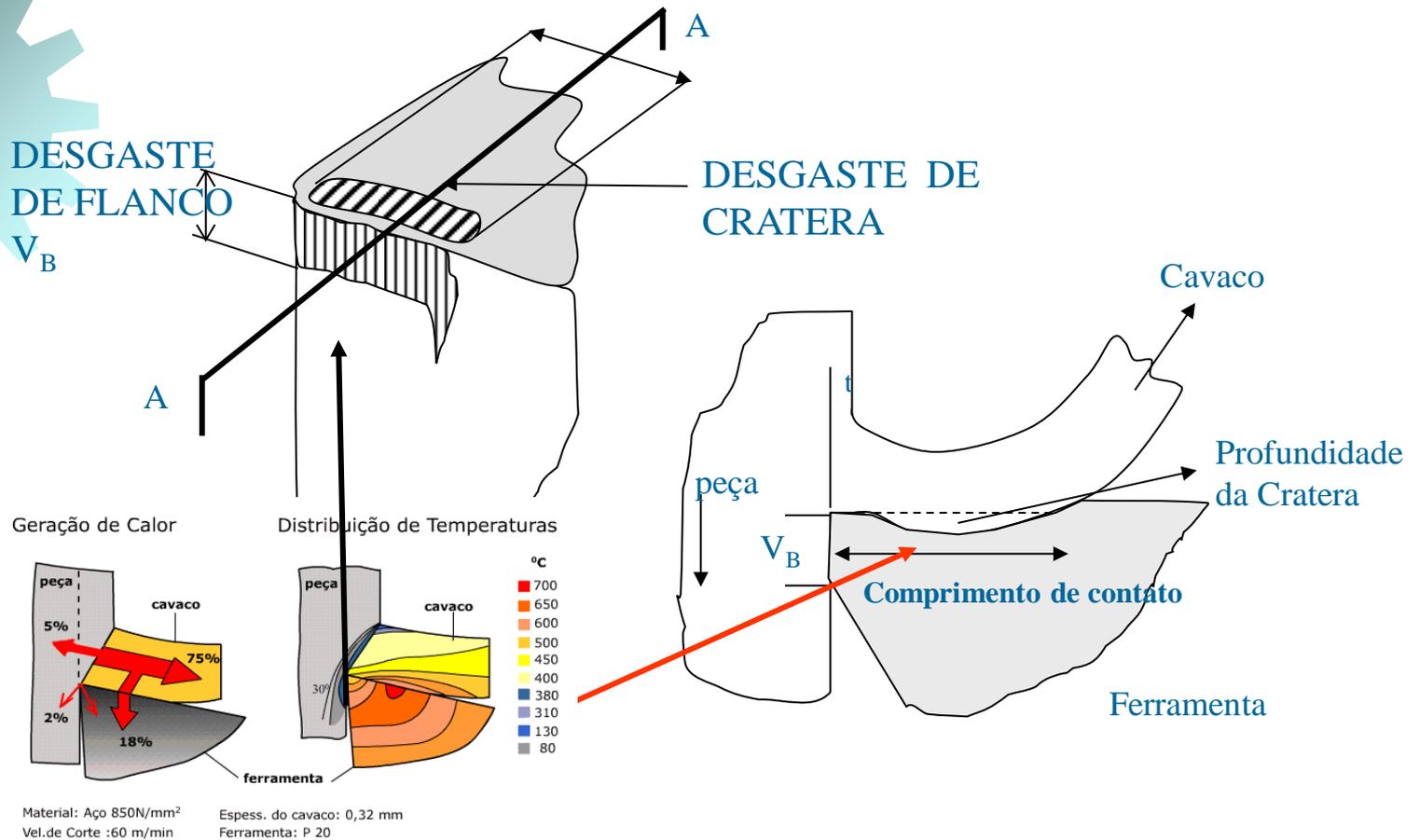
Distribuição de Temperaturas



Espess. do cavaco: 0,32 mm
Ferramenta: P 20



Desgaste de Cratera - Superfície de saída

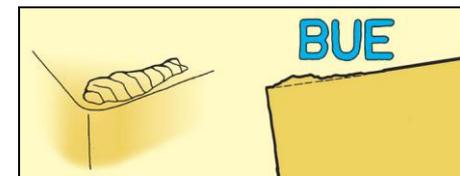


Aresta postiça

Material da peça soldado à aresta de corte



- Soluções
- Maior velocidade de corte
- Selecionar uma geometria mais positiva



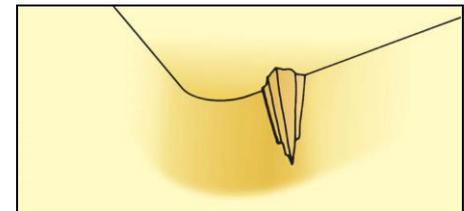
Desgaste tipo entalhe

Oxidação na profundidade de corte



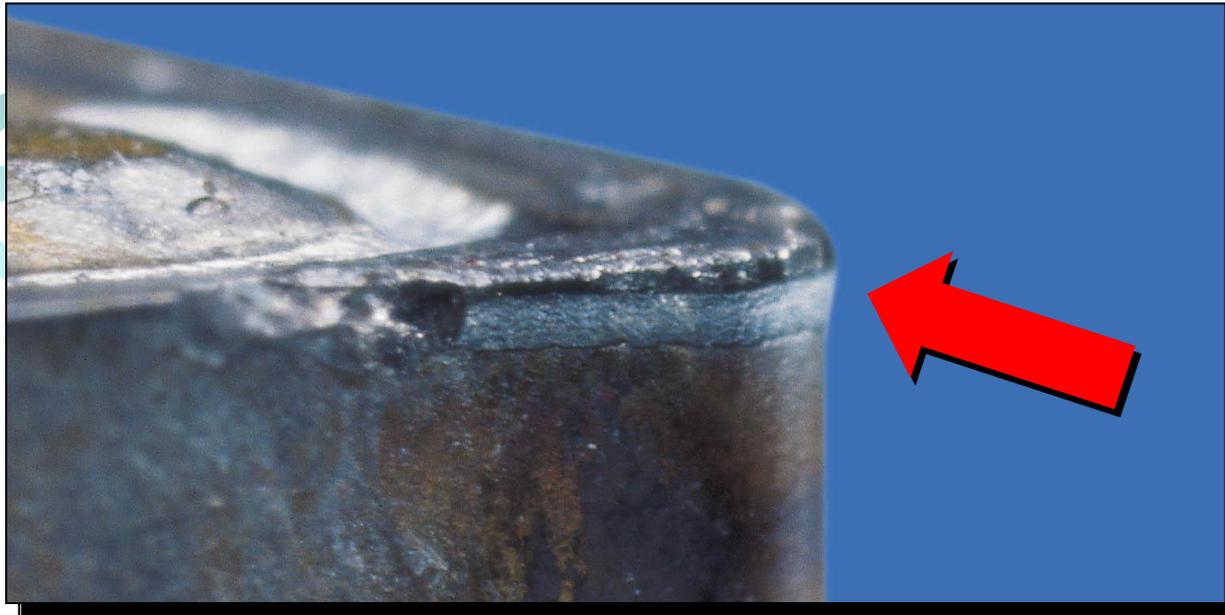
Solução:

- Selecionar uma classe mais resistente ao desgaste

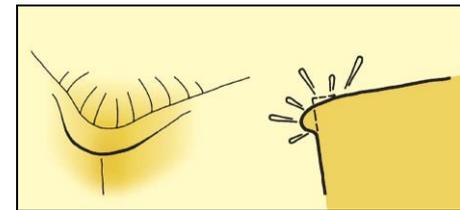


Deformação plástica

Pressão e calor substanciais



- Soluções
- Selecionar uma classe mais resistente ao desgaste
- Reduzir a velocidade de corte ou o avanço

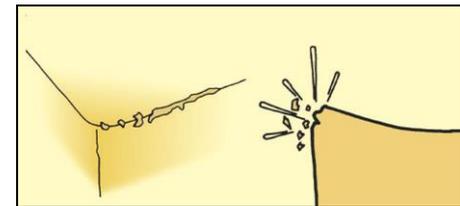


Lascamento

Aplicação muito exigente para a pastilha selecionada



- Soluções
- Selecionar uma pastilha com uma aresta de corte mais robusta
- Selecionar uma classe mais tenaz





Vida de ferramenta

Fatores de influência no desgaste e Vida da Ferramenta

a) Condições de usinagem:

- 1) velocidade de corte (100% de aumento implica em redução na vida em até 90%)
- 2) avanço (100% de aumento implica em redução na vida em até 60%)
- 3) profundidade de corte (100% de aumento implica em redução na vida em até 15%)



Fatores de influência no desgaste e Vida da Ferramenta

b) Geometria da Ferramenta

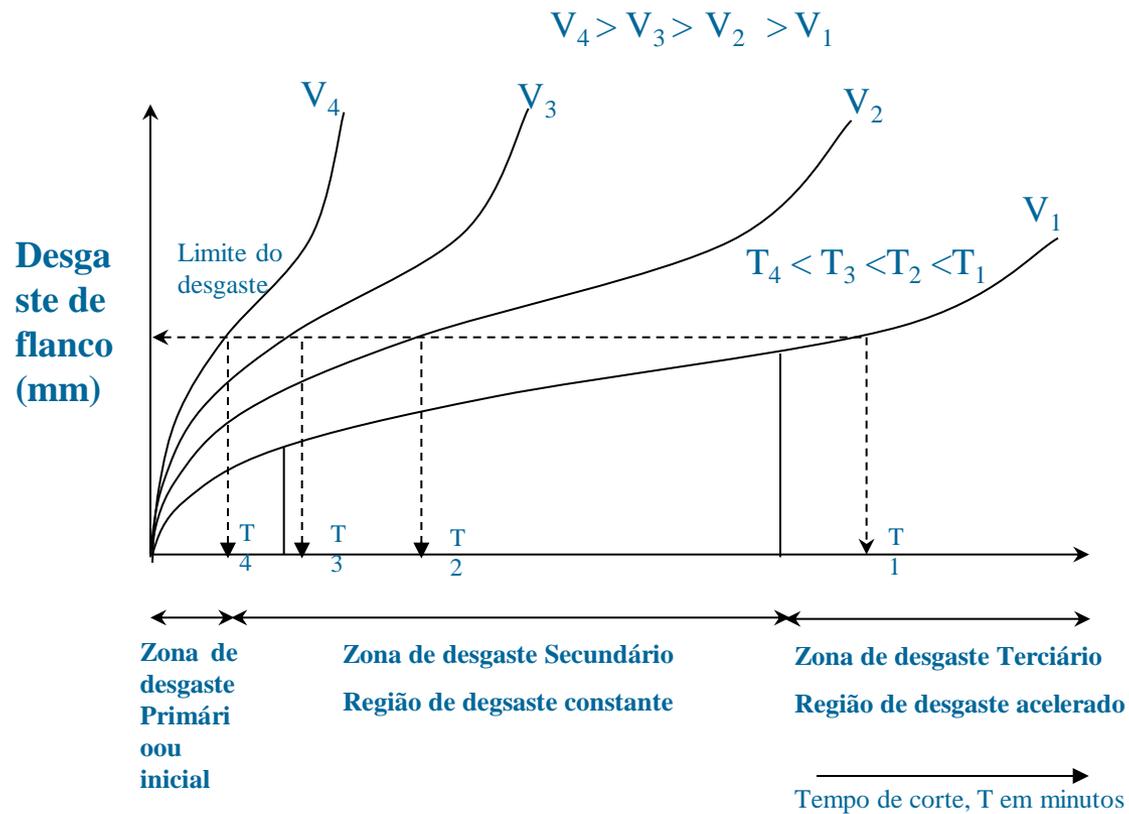
ângulo de posição (χ)

ângulo de saída (γ)

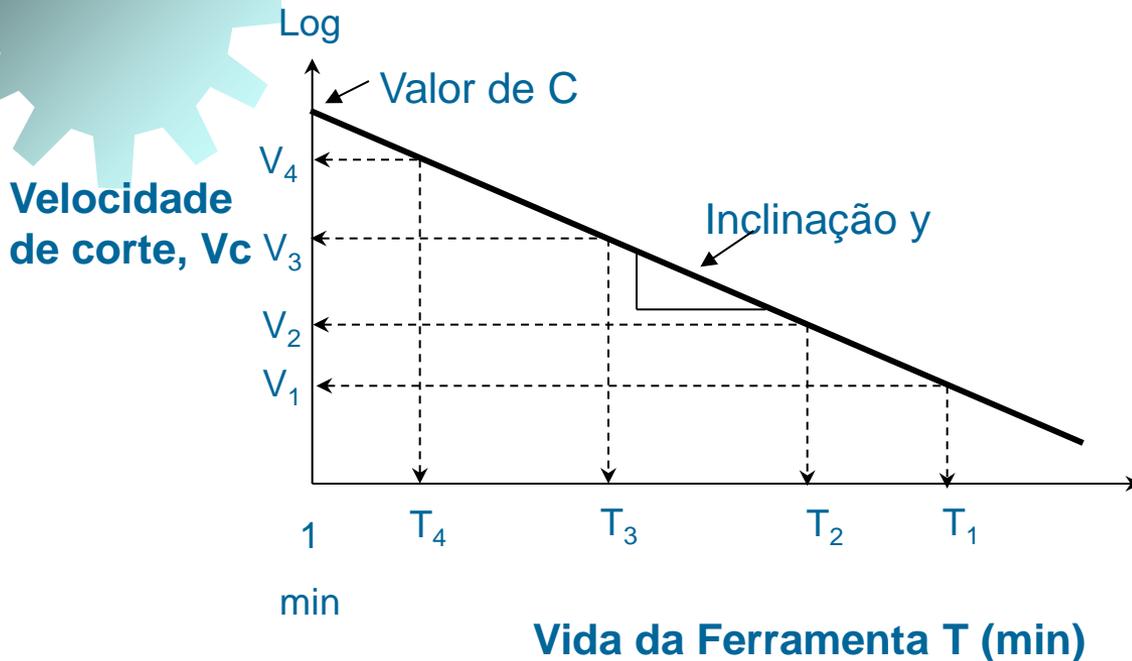
ângulo de folga (α)

geometria do suporte

Curvas de Vida da ferramenta



Construção da Curva de Taylor da vida da ferramenta usando os dados de desgaste de flanco em função da velocidade de corte



$$V T^y = C$$

onde

y é dependente do material da ferramenta mas depende também do material a ser cortado

C é uma constante, é a vida da ferramenta para uma velocidade de corte de 1 m/min.

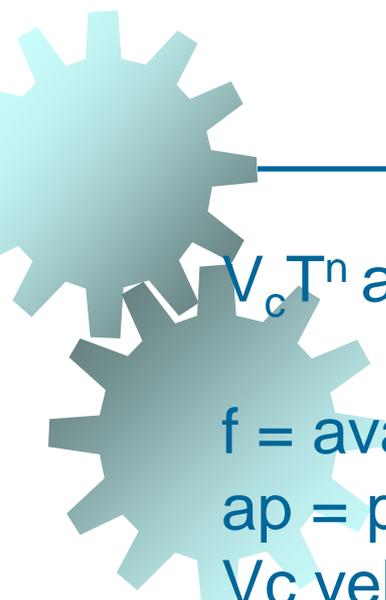
Em estudos de usinabilidade utiliza-se V_{60} ao invés de C .

Tabela X.3 pg 466

$y_m = 0.3$ para MD

$y_m = 0.15$ para AR

Curvas de Vida da ferramenta


$$V_c T^n a_p^x f^y = C' \quad \text{Versão completa}$$

f = avanço (mm/rev)

a_p = prof. de usinagem (mm)

V_c velocidade de corte (m/min)

Para aço rápido

Aço rápido

$$V T^{0,24} f^{0,45} = 23$$

$$T = C' V^{-4,2} f^{-1,9}$$

$$V \cdot T^n \cdot d^x \cdot f^y = C$$

Where:

d is the depth of cut

f is the feed rate

OPERATION	ALLOWABLE WEAR LAND (mm)	
	HIGH-SPEED STEELS	CARBIDES
Turning	1.5	0.4
Face milling	1.5	0.4
End milling	0.3	0-3
Drilling	0.4	0.4
Reaming	0.15	0.15

TABLE 8.5 Allowable average wear land for cutting tools for various operations.

Curvas de Vida da ferramenta

Valores de desgaste de flanco V_B admissíveis em ensaios de desgaste

Operação	V_B admissível (mm)	
	HSS ou aço rápido	MD ou metal duro
Torneamento	1,5	0,4
Fresamento tangencial	1,5	0,4
Fresamento Frontal	0,3	0,3
Furação	0,4	0,4
Alargamento	0,15	0,15

Curvas de Vida da ferramenta



Exemplo: Ferramenta de MD Aço Normalizado 0,45% C, $f = 0,25 \text{ mm/rev}$ $a_p = 2,5 \text{ mm}$; $L_f = 200 \text{ mm}$

Velocidade de corte V_c (m/min)	Vida da Ferramenta (T) min
186	19,95
216	12,20

$$V \times T^y = C$$

Portanto

$$186 (19,95)^y = 216 (12,2)^y$$

$$(19,95/12,2)^y = 216/186$$

$$(1,635)^y = 1,161$$

$$y \log 1,635 = \log 1,161$$

$$y = 0,3036$$

Assim

$$186 (19,95)^{0,3036} = 461,5 \text{ (m/min)} = C$$

$$VT^{0,3036} = 461,5$$

Curvas de Vida da ferramenta



Exemplo a: Ferramenta de MD Aço Normalizado 0,45% C, $f = 0,25\text{mm/rev}$
 $a_p = 2,5\text{ mm}$, $D_i = 110\text{ mm}$;
 $L_f = 200\text{ mm}$; Ferramenta triangular: considerar apenas 3 arestas de corte.

Quantas peças podem ser torneadas sob estas condições com essa vida de ferramenta quando se usa uma Rotação 366 rpm?

Formulário:

$$V_f = f \cdot n$$

$$t_c = \frac{l_c}{V_f}$$

$$Z = \frac{T}{t_c}$$

Curvas de Vida da ferramenta



Exemplo aplicação na indústria:

Empresa de Médio para Grande porte:

68% das arestas das pastilhas de torneamento utilizadas eram trocadas antes do momento adequado

Relação entre o crescimento na corrente do motor de acionamento da máquina e o desgaste (através de um amperímetro instalado na máquina) queda de 16%.

Fonte: Pires, J.R., Diniz, A.E., Evitando o desperdício de ferramentas de torneamento – uma aplicação em chão de fábrica – Revista máquinas e metais, no. 370, pp. 73-85, 1996.