

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

---

As principais propriedades desejáveis em um material para ferramenta de corte podem ser assim listadas:

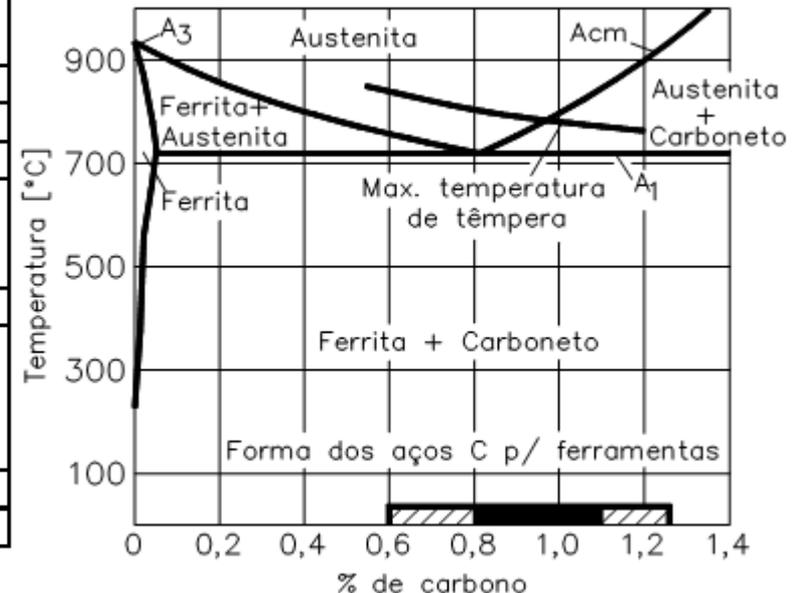
- Alta dureza;
- Tenacidade suficiente para evitar falha por fratura;
- Alta resistência ao desgaste abrasivo;
- Alta resistência a compressão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Boas propriedades mecânicas e térmicas em temperaturas elevadas;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência ao impacto;
- Ser inerte quimicamente.

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Aços ao Carbono

- No final do século XVIII e início do XIX os aços ao carbono eram os principais materiais
- Ao final do século XIX, os aços de baixa, e média liga, introduzidos por Mushet em 1868, já representavam as primeiras inovações em ferramentas de corte

Tipo	Designação AISI	C	Mn	Si	Cr	V
Classe 110 (Aço carbono)						
110	W1	0,60/1,40	0,25	0,25	-	-
Classe 120 (Aço carbono-vanádio)						
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
Classe 130 (Aço carbono-cromo)						
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	-
Classe 140 (Aço carbono-cromo-vanádio)						
140	-	1,00	0,25	0,25	0,35	0,20



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Aços RÁPIDOS – HSS (*High Speed Steel*)

- Na virada do século XIX, quando Taylor e White desenvolveram o primeiro aço-rápido, contendo 0,67% C, 18,91% W, 5,47% Cr, 0,11% Mn, 0,29% V e o tratamento térmico apropriado

Classe 640 (tipos ao Mo - Co)										
640	M30	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	3,75/4,25	1,10/1,40	1,50/1,80	8,25/8,50	4,75/5,25	-
641	M34	0,87/0,93	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,85/2,25	1,30/1,60	8,45/8,95	8,00/8,50	-
642	-	0,56/0,62	0,10/0,40	0,10/0,40	4,75/5,25	1,10/1,40	-	7,75/8,25	2,30/2,70	0,25 B
643	-	0,55/0,60	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,60/1,90	1,65/1,75	8,15/8,50	8,00/8,50	0,50 B
644	M33	0,85/0,95	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,00/1,30	1,30/1,70	9,25/9,75	7,75/8,25	-
645	M33	1,05/1,10	0,10/0,40	0,10/0,40	3,50/4,00	1,05/1,25	1,30/1,70	9,25/9,75	7,75/8,25	-
Classe 650 (tipos ao W - Mo)										
650	M2	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	1,70/2,10	6,00/6,50	4,75/5,25	-	-
651	M3 (tipo 1)	1,00/1,10	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	2,40/2,55	6,00/6,25	5,70/6,25	-	-
652	M3 (tipo 2)	1,10/1,20	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,25	3,00/3,30	5,60/6,25	5,00/6,25	-	-
653	M4	1,25/1,30	0,10/0,40	0,10/0,40	4,25/4,50	3,75/4,25	5,50/6,00	4,50/4,75	-	-
654	-	0,80/0,85	0,10/0,40	0,10/0,40	4,00/4,50	1,35/1,65	5,25/5,75	4,30/4,70	-	1,10/1,40 Ni

- Aços ao tungstênio (W), identificados pela letra “T”;
- Aços ao molibdênio (Mo), identificados pela letra “M”.

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Aços RÁPIDOS – HSS (*High Speed Steel*)

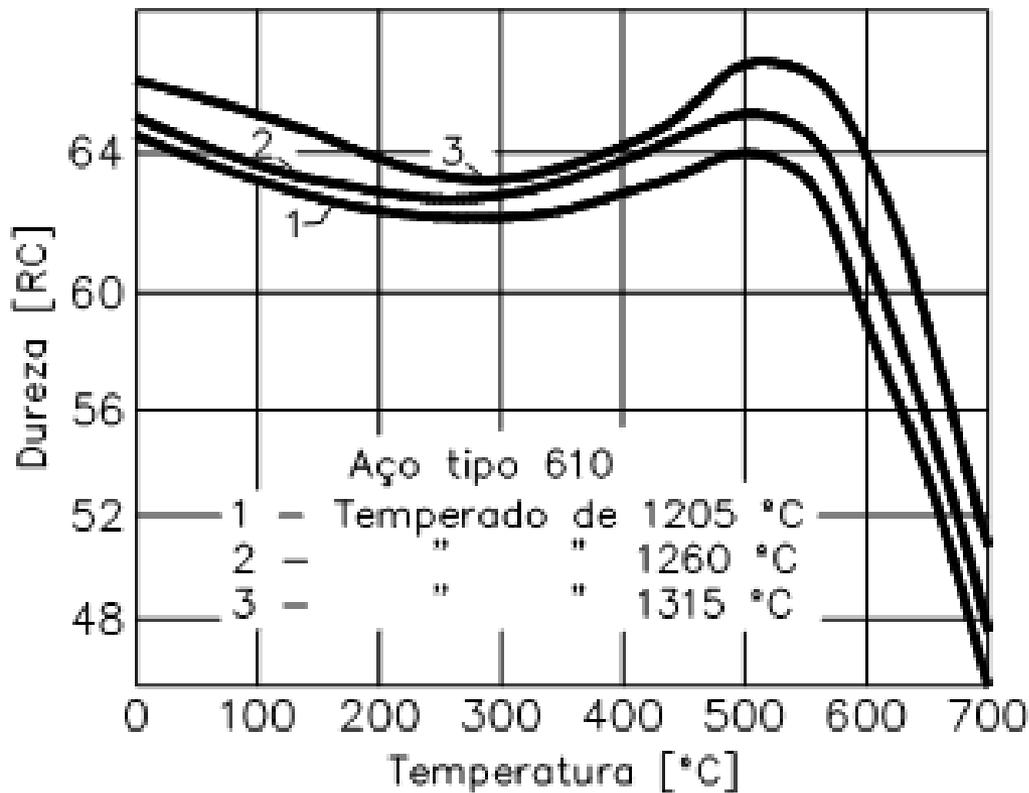
Tool Material	Year of Initial Use	Allowable Cutting Speed	
		ft/min	(m/min) <sup>a</sup>
Plain carbon tool steel	1800s		
Non steel cutting		Below 30	(10)
Steel cutting		Below 15	( 5)
High-speed steel	1900		
Nonsteel cutting		75-200	(25-65)
Steel cutting		50-100	(17-33)

2,5 a 6,5 X  
3,4 a 6,6 X

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Aços RÁPIDOS – HSS (*High Speed Steel*)

Efeito da temperatura de revenido na dureza do aço-rápido



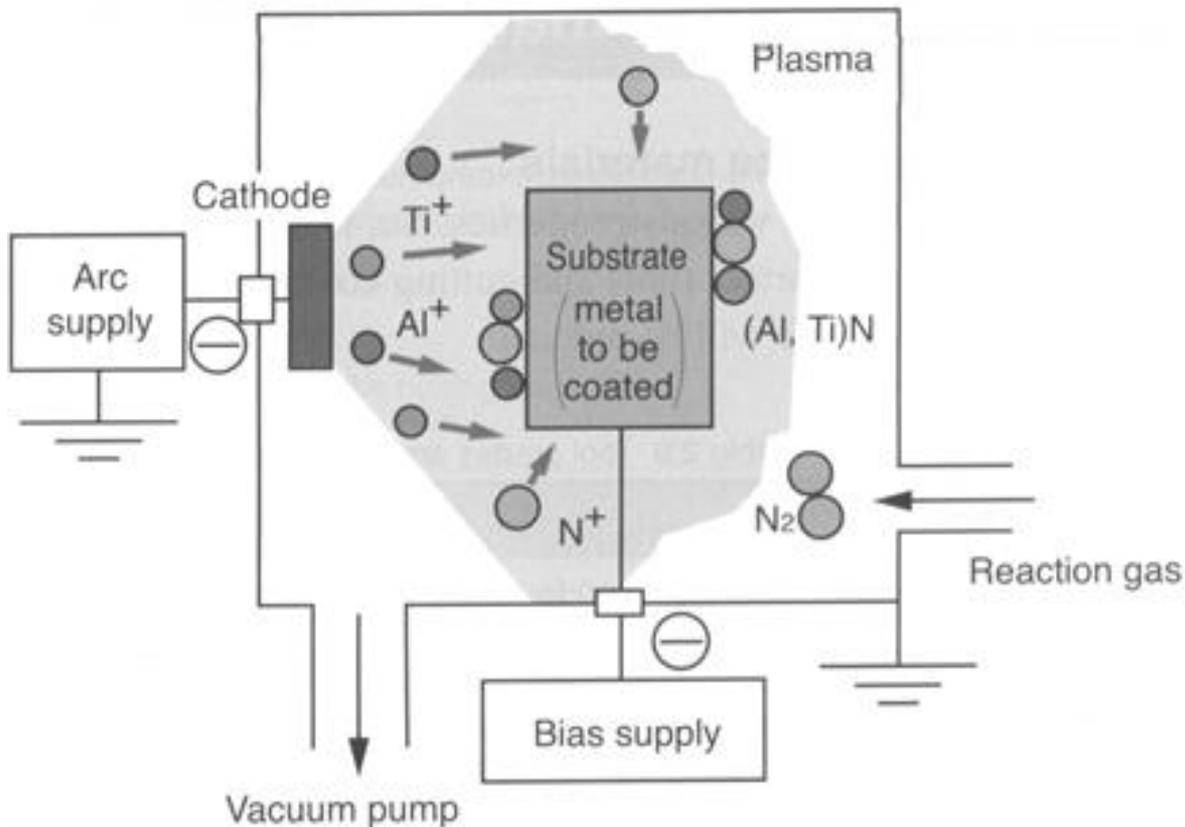
Temperaturas de tratamentos térmicos para diversos aços rápidos

Tipo	Temperatura de têmpera (°C)	Temperatura de revenido (°C)	Dureza R.C
610	1276	565	64
611	1276	565	64
620	1287	565	64
621	1287	565	65
622	1296	565	64
623	1300	538	67
630	1193	552	64
630	1193	552	64
650	1210	554	64
651	1215	554	65
652	1215	554	65
653	1218	554	65

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Aços RÁPIDOS Revestidos - PVD

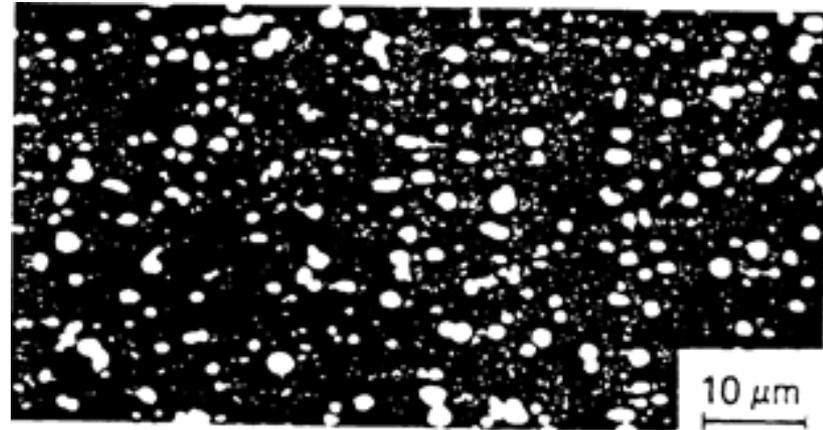
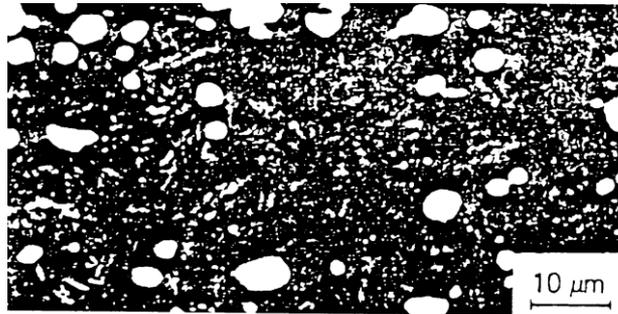
PVD (*physical vapour deposition*, ou deposição física de vapor), usa temperaturas de tratamento inferiores a 500°C



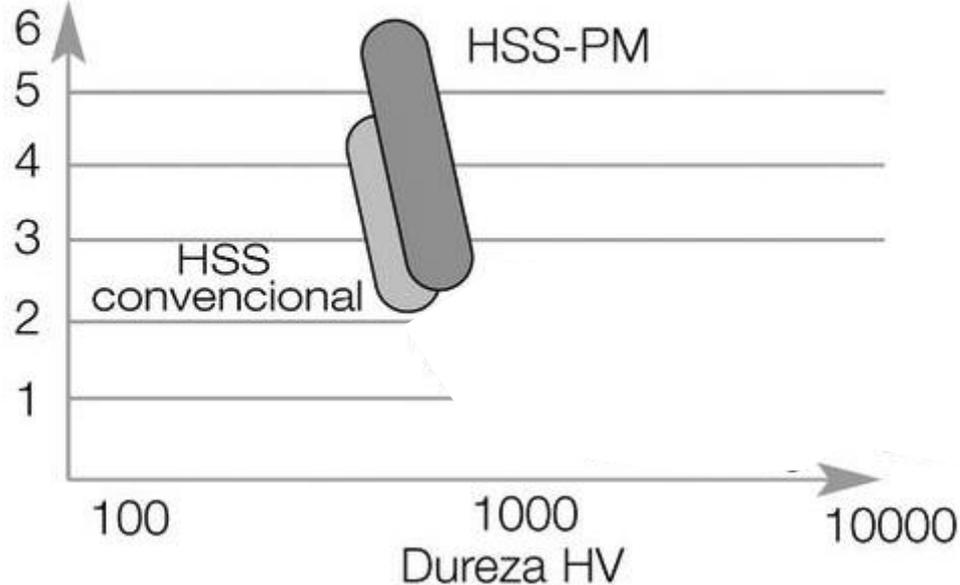
# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

Aços RÁPIDOS Produzido pela Metalurgia do Pó

HSS-PM



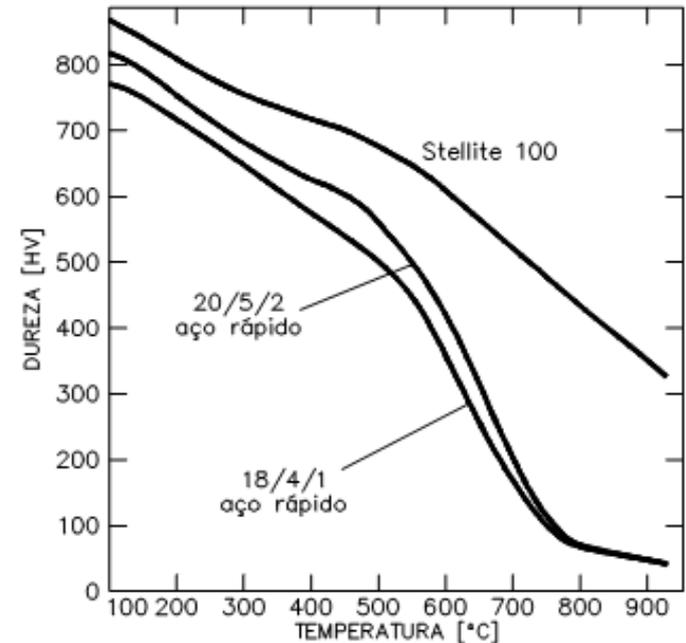
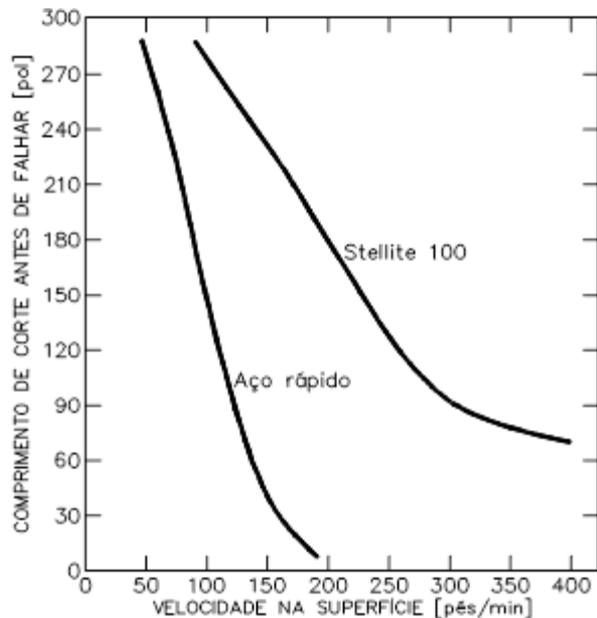
Curva de resistencia  
kN/mm<sup>2</sup>



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Ligas Fundidas - Stellite

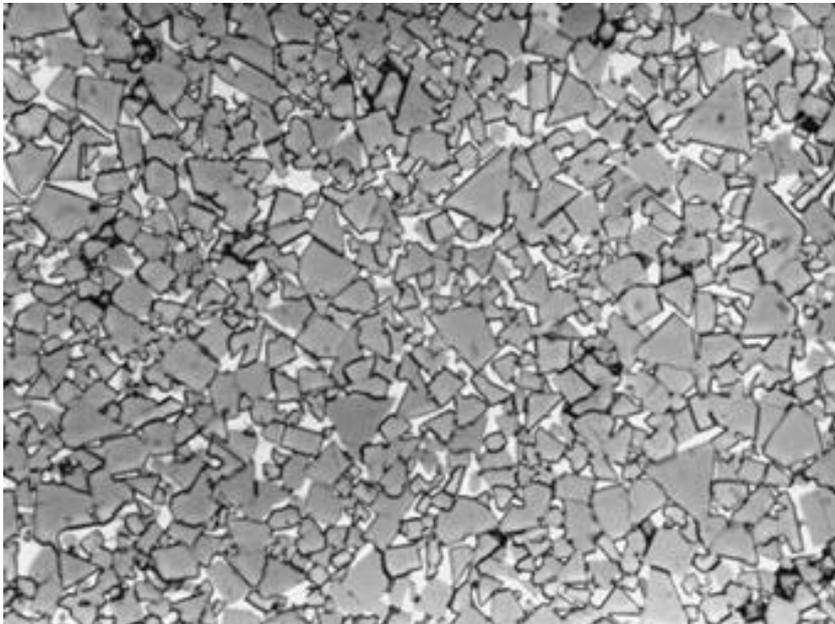
- Ligas fundidas são materiais de ferramentas que surgiram na mesma época que os aços rápidos, mas tiveram grandes aplicações somente mais tarde, durante a Segunda Guerra Mundial.
- São ferramentas a base de Co, contendo W e Cr em solução sólida.
- São mais duras do que os aços rápidos e mantém esta dureza a temperaturas mais elevadas.
- Velocidades de corte podem ser em torno de 25% maiores



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

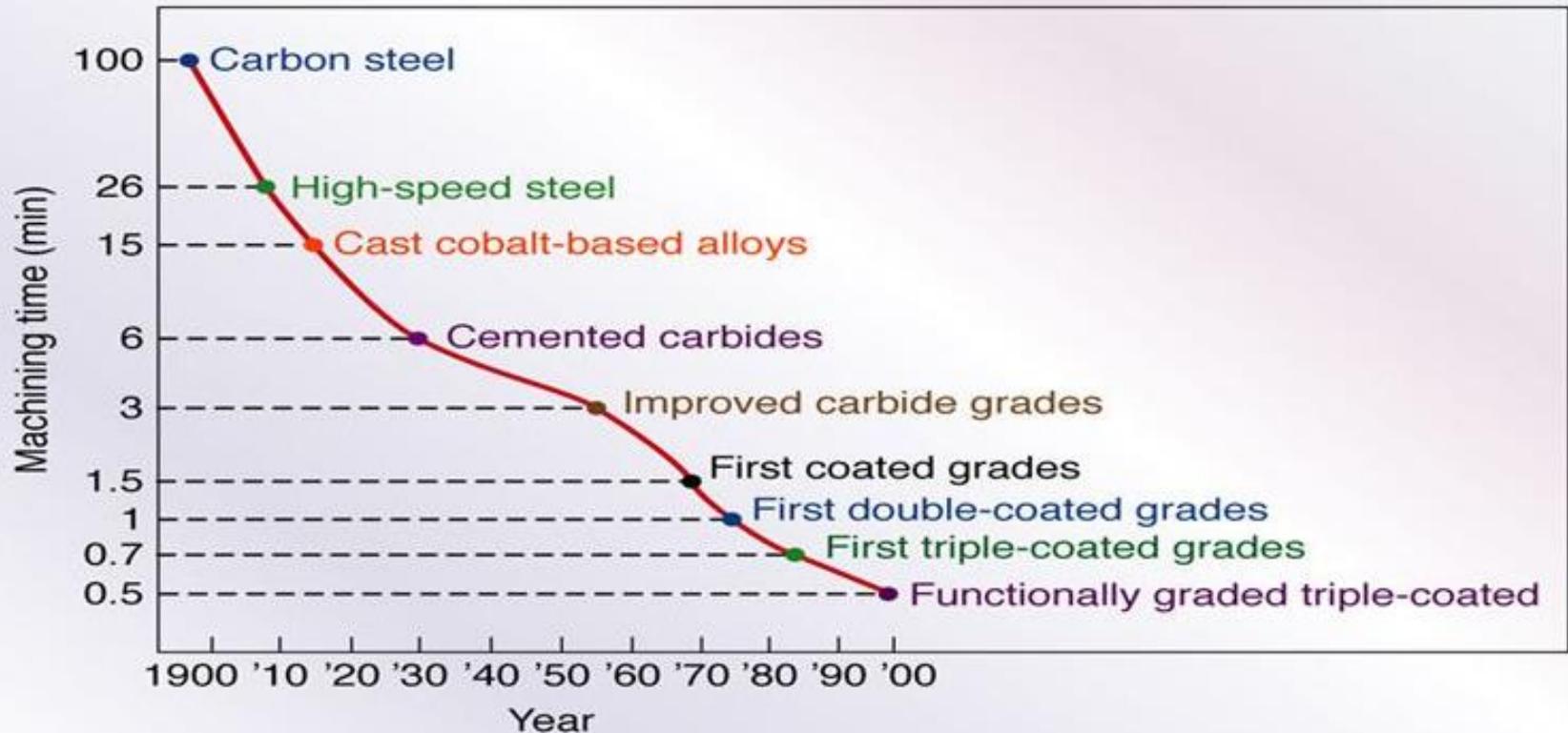
## Metal Duro (WC, WiDia, Carbetos)

- Com o metal duro as velocidades de corte puderam ser aumentadas em praticamente dez vezes (de 35 m/min com os aços-rápidos para 250 - 300 m/min).
- A descoberta aconteceu por volta de 1920, na Alemanha, quando Schröter conseguiu produzir em laboratório o carboneto de tungstênio, WC, em pó pela primeira vez.
- A mistura deste pó com o cobalto, também em pó trouxe ao mercado, em 1928, este que é um dos mais revolucionários grupos de materiais para ferramentas de corte.



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Metal Duro (WC, WiDia, Carbetos)



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

---

## Metal Duro (WC, WiDia, Carbetos)

- Norma ISO padronizou a classe K como contendo WC+Co. Classe dos ferros fundidos ou classe aplicada a materiais que produzem cavacos curtos. Coloração vermelha.
- Quando se adiciona TiC, TaC e/ou NbC, a ISO os designa de classe P. Classe dos aços, ou dos materiais que produzem cavacos longos. Coloração azul.
- Quando o WC+Co possui adições de TiC, TaC e/ou NbC, mas em menores quantidades que aqueles apresentados pela Classe P tem-se a classe M. Classe dos aços inoxidáveis, tendo em vista a sua maior aplicação na usinagem dos aços inoxidáveis austeníticos. Coloração amarelo.
- Há ainda a classe N, para os metais e ligas não ferrosas (principalmente, cobre e alumínio). Coloração verde.
- A classe S, para as superligas ou ligas resistentes ao calor (ferro, titânio, níquel e cobalto). Coloração marrom.
- A classe H, para os aços endurecidos (aços fundidos e aços e ferros fundidos temperados). Coloração cinza.

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Padrão ISO

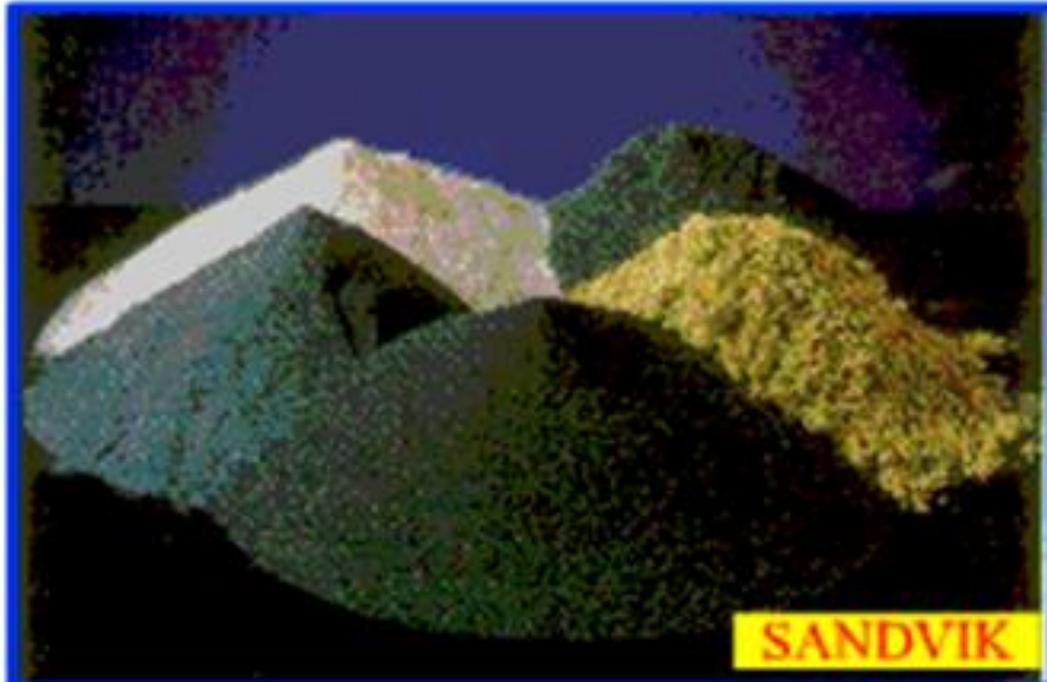
Principais classes			Classes de aplicação			
Letra de identificação	Cor de identificação	Materiais a serem usinados	Metais duros			
P	Azul	<b>Aços:</b> Todos os tipos de aços e aços fundidos, excetos aços inoxidáveis com estrutura austenítica	P01 P10 P20 P30 P40 P50	P05 P15 P25 P35 P45	a ↑	b ↓
M	Amarelo	<b>Aço Inoxidável:</b> aço inoxidável austenítico e aço duplex (austenítico/ferrítico) e aço fundido	M01 M10 M20 M30 M40	M05 M15 M25 M35	a ↑	b ↓
K	Vermelho	<b>Ferro Fundido:</b> Ferro fundido cinzento, ferro fundido com grafita esferoidal, ferro fundido maleável	K01 K10 K20 K30 K40	K05 K15 K25 K35	a ↑	b ↓
N	Verde	<b>Metais não-ferrosos:</b> Alumínio e outros metais não ferrosos, materiais não metálicos	N01 N10 N20 N30	N05 N15 N25	a ↑	b ↓
S	Marron	<b>Superligas e titânio:</b> Ligas especiais resistentes ao calor a base de ferro, níquel e cobalto, titânio e ligas de titânio	S01 S10 S20 S30	S05 S15 S25	a ↑	b ↓
H	Cinza	<b>Materiais duros:</b> Aços endurecidos, ferros fundidos endurecidos, ferros fundidos resfriados	H01 H10 H20 H30	H05 H15 H25	a ↑	b ↓

a – Aumento da velocidade de corte, aumento da resistência ao desgaste do material da ferramenta  
b – Aumento do avanço, aumento da tenacidade do material da ferramenta

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

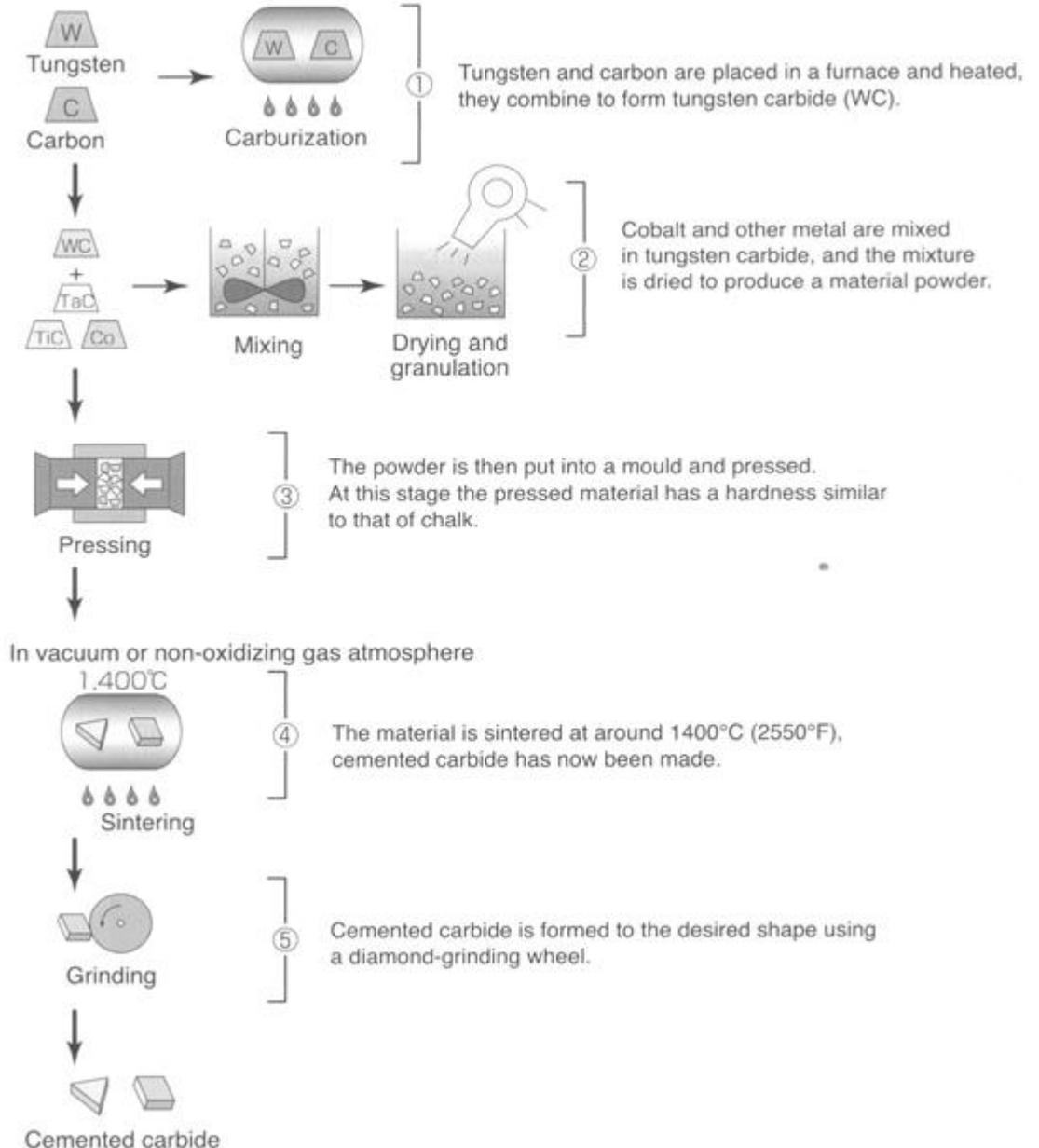
## Fabricação do Metal Duro

- Tungstênio se encontra na natureza nos minérios *scheelita* e *wolframita*. Após uma série de reações em meio ácido (ácido clorídrico) ele é transformado em trióxido de tungstênio, ( $WO_3$ ).
- Por meio de reações de desoxidação em atmosfera rica em hidrogênio é obtido o tungstênio puro, que é misturado com o carbono, também puro, e levado a um forno para formar o WC a temperaturas elevadas ( $1375^{\circ}C$  a  $1650^{\circ}C$ )



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Fabricação do Metal Duro



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

---

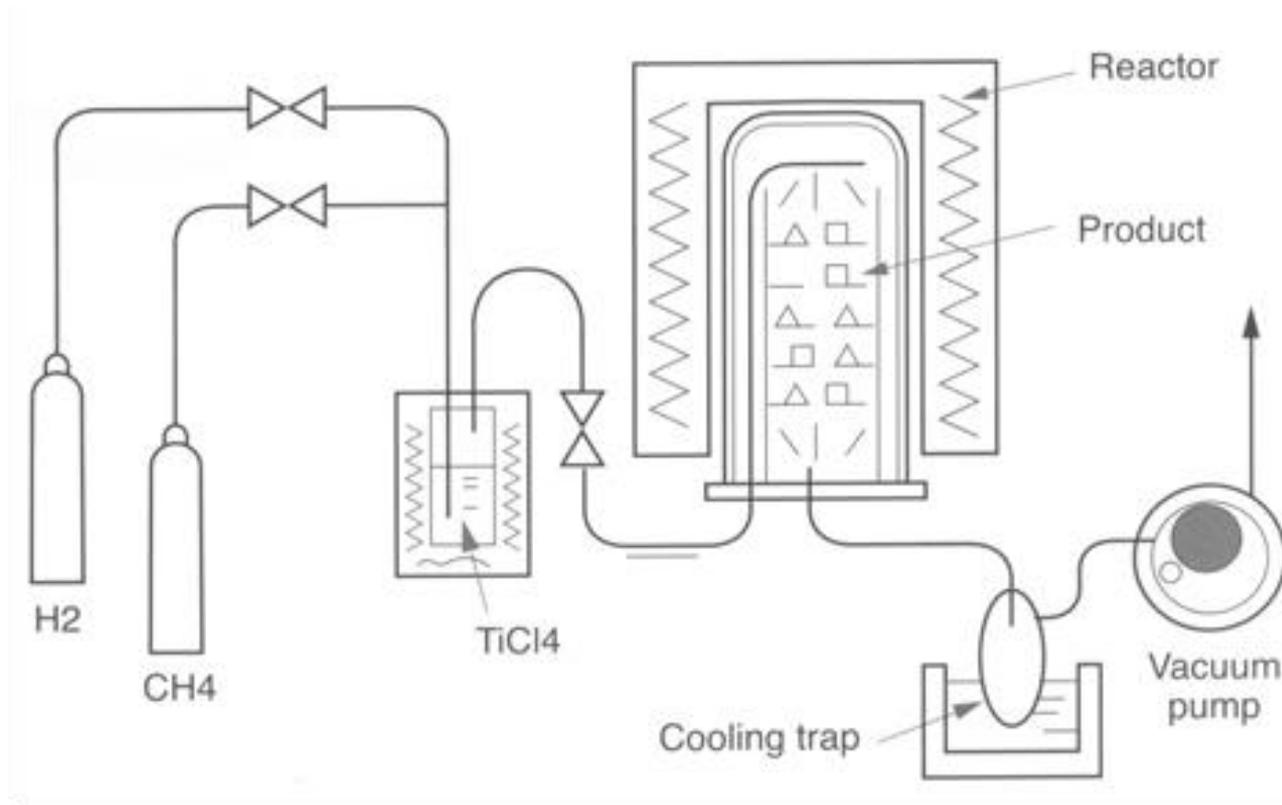
Fabricação do  
Metal Duro



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Metal Duro Revestido PVD e CVD

- Os MDs revestidos representam mais de 95% com tendência ao crescimento contínuo.



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

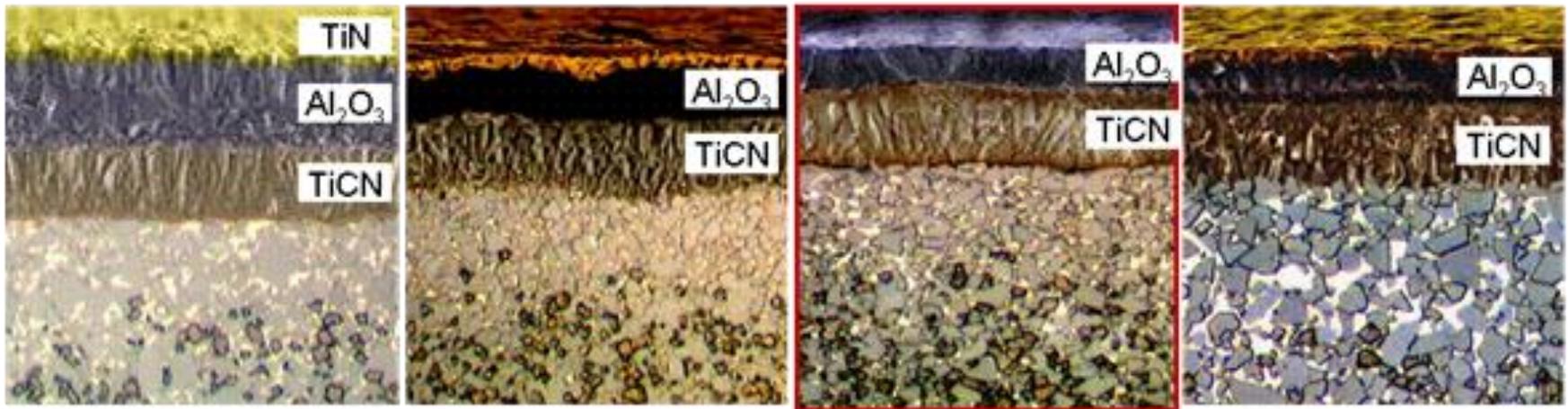
## Metal Duro Revestido PVD e CVD

	CVD - DEPOSIÇÃO QUÍMICA DE VAPOR	PVD - DEPOSIÇÃO FÍSICA DE VAPOR
TEMPERATURA DE REVESTIMENTO	APROX 1000°C	APROX 500°C
TENACIDADE	REDUZIDA	NÃO É AFETADA
ARESTA DE CORTE	ARREDONDAMENTO REQUERIDO	PODE SER QUINA VIVA
ESPESSURA DO REVESTIMENTO	ATÉ 12 µm	ATÉ 4 µm
CAMADAS	MULTICAMADAS TiC-TiN, TiN-TiCN-TiN, TiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiN, TiCN, TiAl
PRINCIPAIS APLICAÇÕES	TORNEAMENTO E MANDRILAMENTO	FRESAMENTO, ROSCAMENTO E FURAÇÃO
VANTAGENS	MAIOR RESISTÊNCIA AO DESGASTE MAIOR RESISTÊNCIA À CRATERIZAÇÃO GRANDE VIDA DA FERRAMENTA	SUBSTITUI FERRAMENTAS SEM REVESTIMENTO: COM MESMA TENACIDADE, MESMA CONFIGURAÇÃO DE ARESTA E MESMA PRECISÃO REDUZ APC MAIOR VIDA NA FERRAMENTA



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Metal Duro Revestido PVD e CVD



ISO P01 – P15

ISO P05 – P30

ISO P10 – P35

ISO P20 – P45

Nestas o TiN foi removido total ou parcialmente por jateamento

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

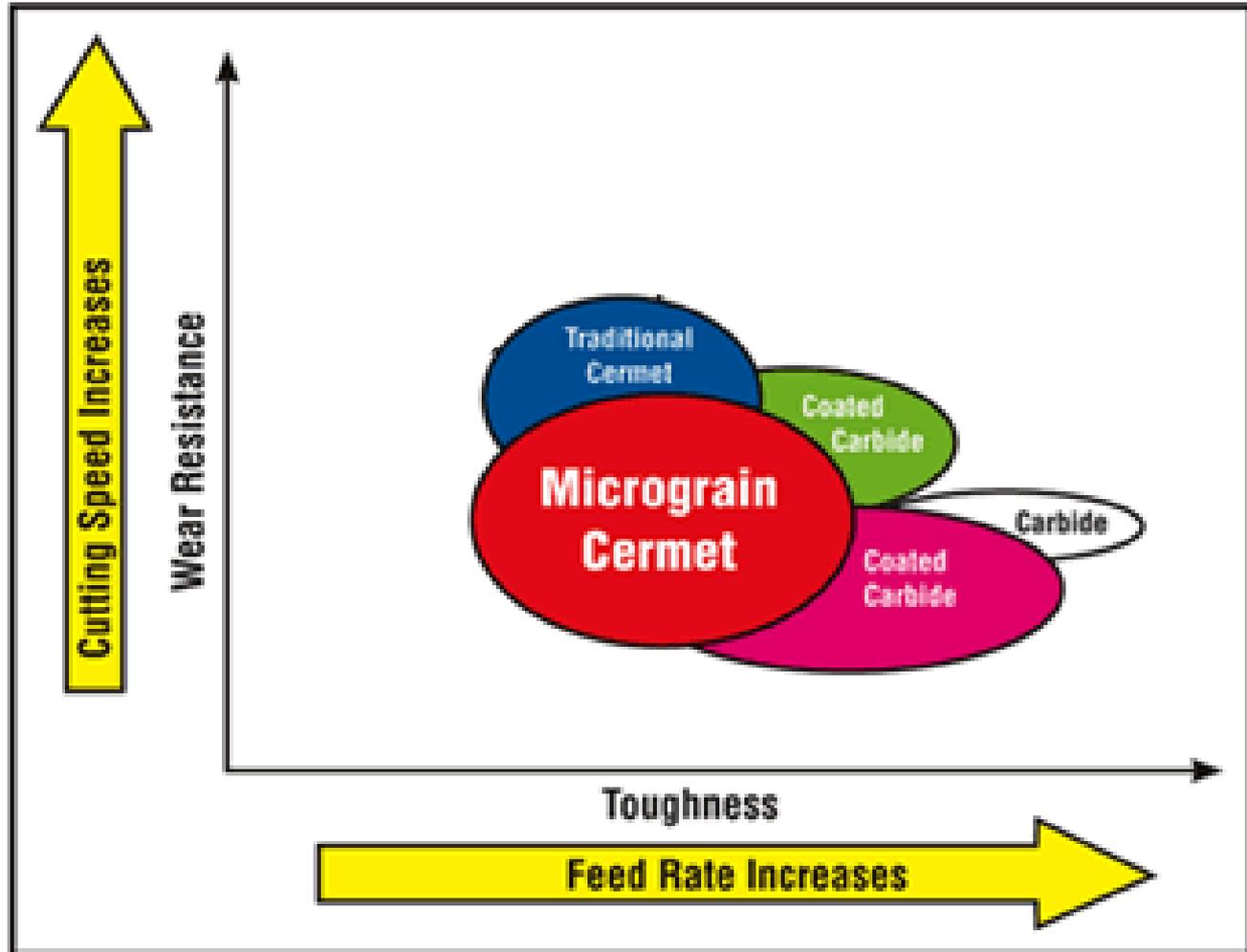
## Cermets

- Constatou-se que a adição de TiC aumentava muito a resistência ao desgaste, principalmente na superfície de saída, dos metais duros, quando usinando aços.
- Houve escassez de tungstênio durante a segunda guerra mundial.
- Isso levou em 1931 (Kolaska e Dreyer, 1990) a usar materiais constituídos por TiC, TiN e geralmente tem o Ni como elemento de ligação.
- Pode contar também com a presença de outros elementos, tais como Al, Co, Mo ou compostos de Mo<sub>2</sub>C, TaC, NbC, WC, AlN, TaN e outros.

PROPRIEDADES FÍSICAS	CERMET	METAL DURO
DUREZA (HV)	3200	2100
ENERGIA LIVRE DE FORMAÇÃO (kcal/g - atm 1000°C)	-35	-10
SOLUBILIDADE NO FERRO (wt% a 1250°C)	0,5	7
TEMPERATURA DE OXIDAÇÃO (°C)	1100	700
CONDUTIVIDADE TÉRMICA (cal/cm·s·°C)	0,052	0,42
COEFICIENTE DE DILATAÇÃO TÉRMICA (10 <sup>-6</sup> /°C)	7,2	5,2
COEFICIENTE DE CHOQUE TÉRMICO*	1,9	27,1

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

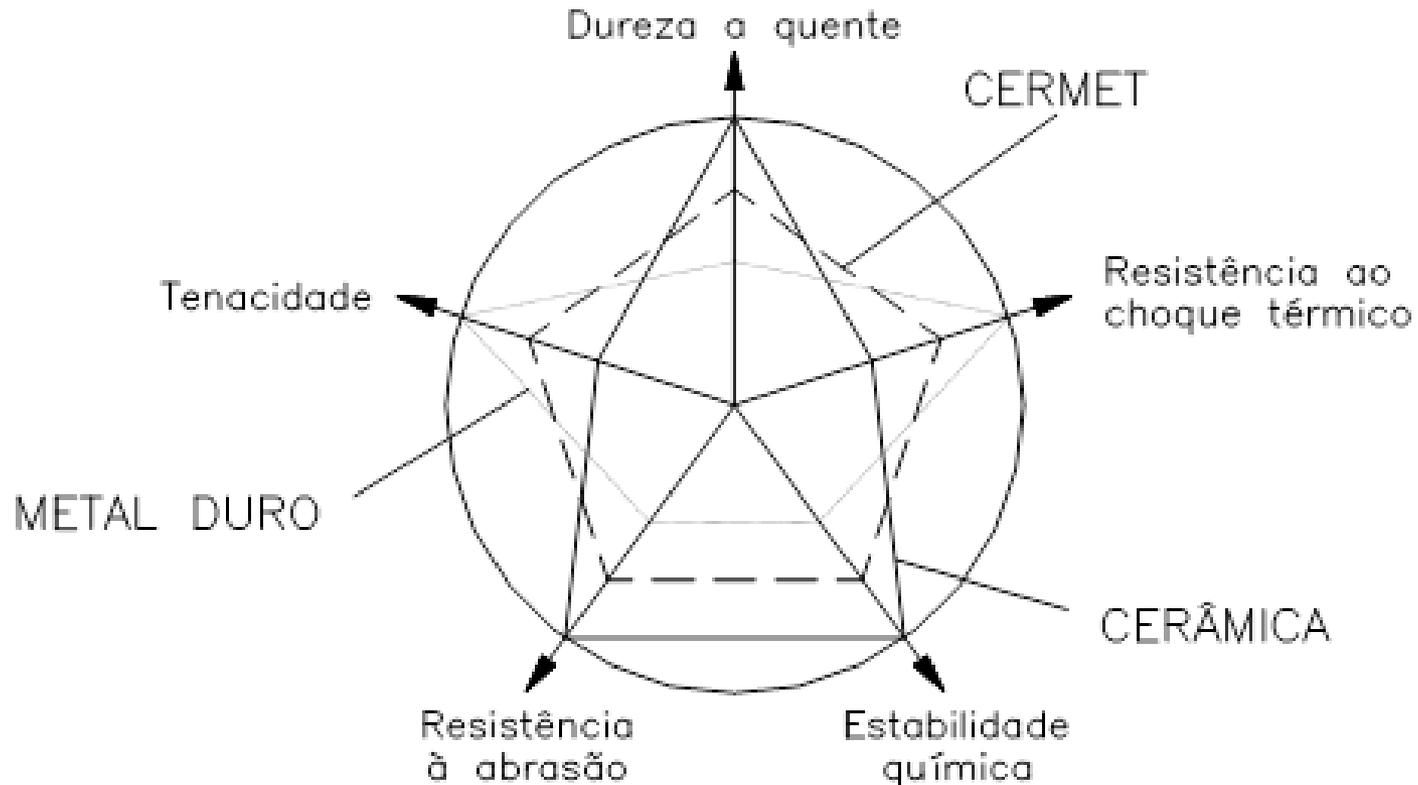
## Cermets



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Cerâmicas

*As cerâmicas são compostas de elementos metálicos e não-metálicos, geralmente na forma de óxidos, carbonetos ou nitretos. A maioria tem estrutura cristalina, mas em contraste com os metais as ligações entre os elementos são iônicas, ou covalentes*



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Cerâmicas

Material	Módulo de elasticidade (GPa)	Dureza (GPa)	Tenacidade $K_{IC}$ (MPa·m <sup>1/2</sup> )	Coefficiente de dilatação térmica (10 <sup>-6</sup> ·K <sup>-1</sup> )	Condutividade térmica (Wm <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>400</b>	<b>17,2</b>	<b>4,3</b>	<b>8,0</b>	<b>10,5</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiC	<b>420</b>	<b>20,6</b>	<b>4,5</b>	<b>8,5</b>	<b>13,0</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>2</sub>	<b>390</b>	<b>16,5</b>	<b>6,5</b>	<b>8,5</b>	<b>8,0</b>
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> / SIALON	<b>300</b>	<b>15,6</b>	<b>6,5</b>	<b>3,1</b>	<b>9,7</b>
SiC / WHISKER	<b>390</b>	<b>18,5</b>	<b>8,0</b>	<b>6,4</b>	<b>32,0</b>

# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

---

Cerâmicas

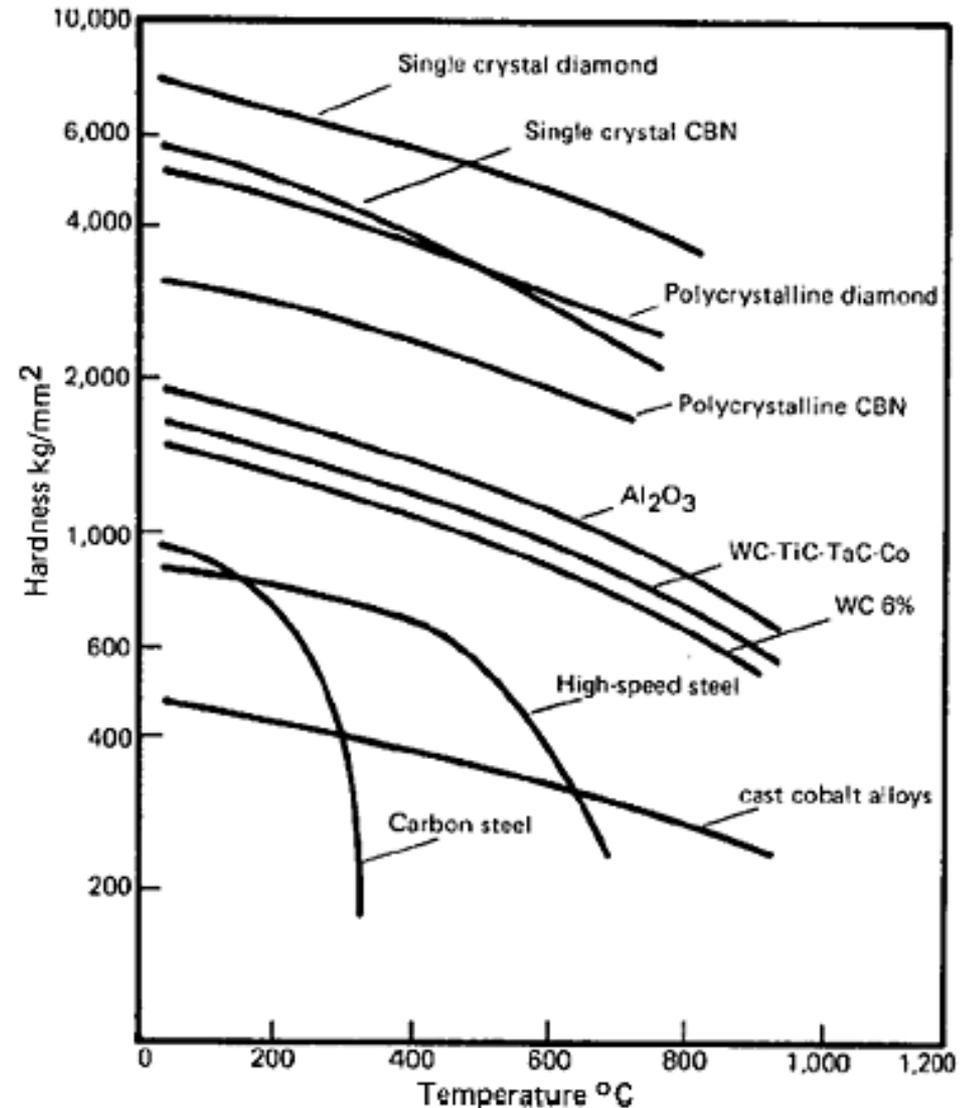


# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Materiais Ultraduros

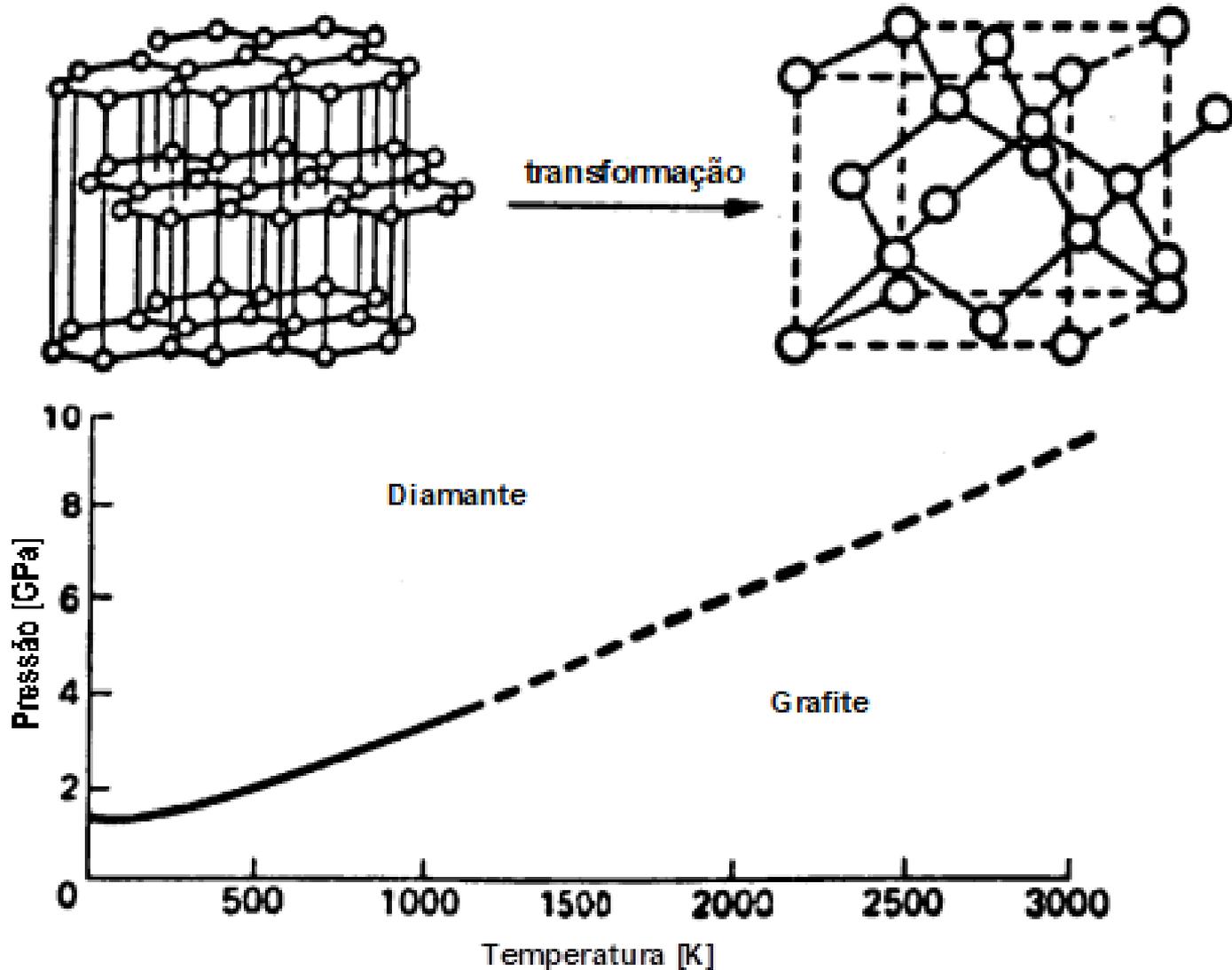
Materiais com dureza superior a 3000 HV:

- Diamantes naturais mono- e policristalino;
- Diamante sintético monocristalino;
- Diamante sintético policristalino (PCD- *polycrystalline diamond*);
- Nitreto cúbico de boro (cBN) monocristalino;
- Nitreto cúbico de boro policristalino (PcBN).



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Materiais Ultraduros

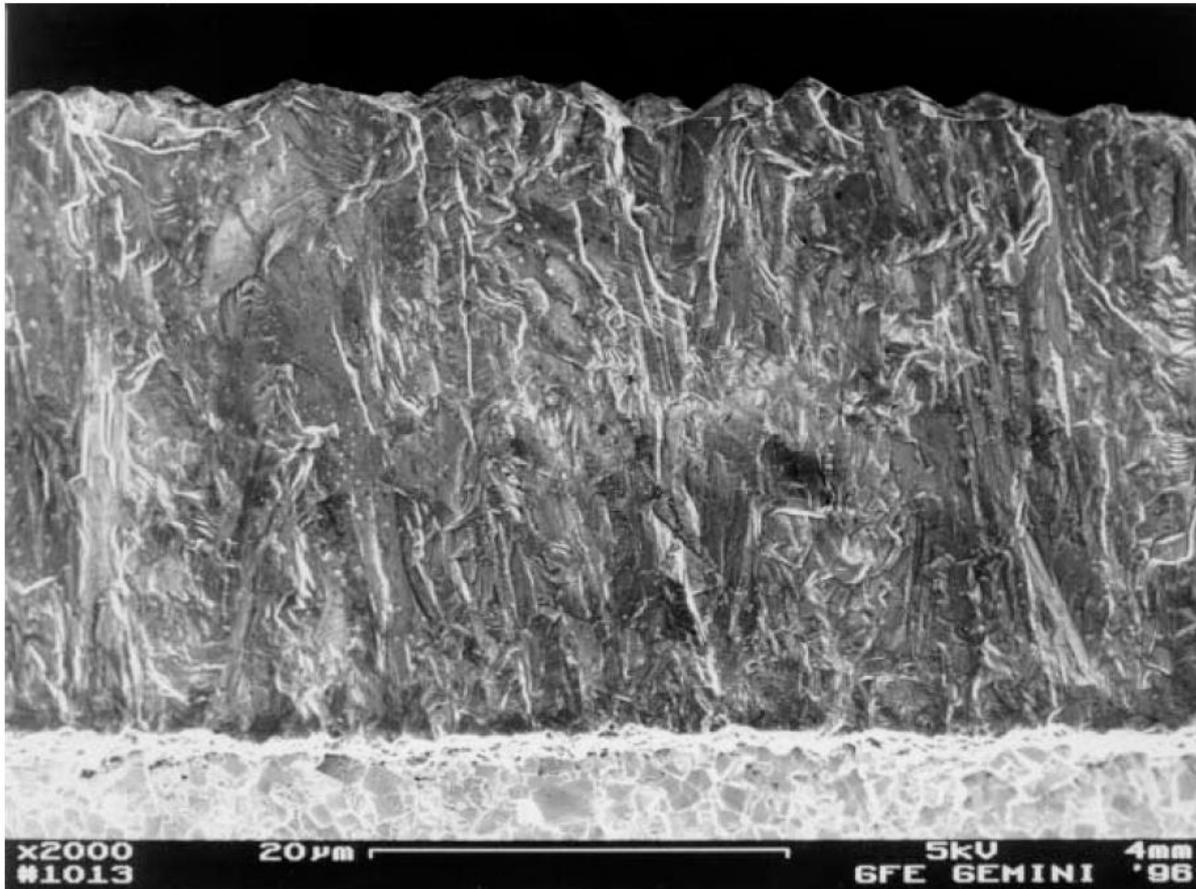


# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

---

## Materiais Ultraduros

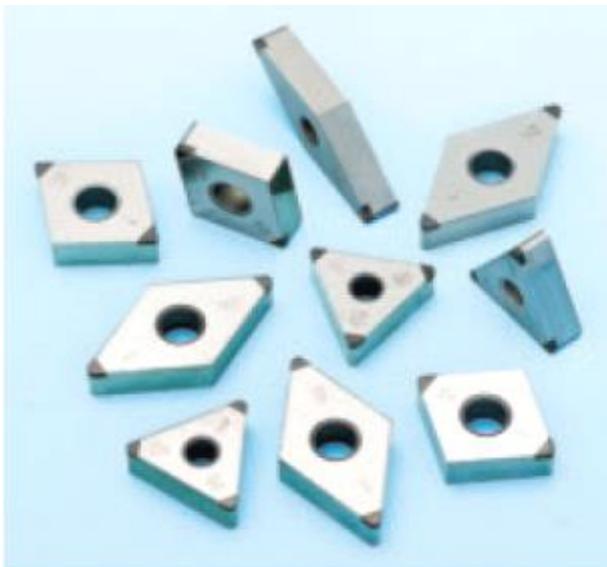
Camada de diamante desenvolvida em substrato de metal duro pelo processo CVD



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Materiais Ultraduros

- O diamante tem a limitação de não poder ser utilizado na usinagem de aços ou qualquer outro material ferroso.
- Está sujeito à reversão a grafite quando as temperaturas ultrapassam cerca de 700°C na presença de oxigênio.
- Mas, as ligas de alumínio, cobre puro, metais duros e materiais compostos, principalmente os compósitos de matrizes metálicas, têm-se beneficiado pelo uso do diamante.
- Ao contrário, o PcBN é excelente na usinagem dos aços, ligas de níquel e ferros fundidos.
- O PcBN é termicamente mais estável até temperaturas da ordem de 1200°C, apresentando uma resistência ao ataque químico bem maior que o diamante.



# MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

## Seleção de condições de corte em usinagem

