

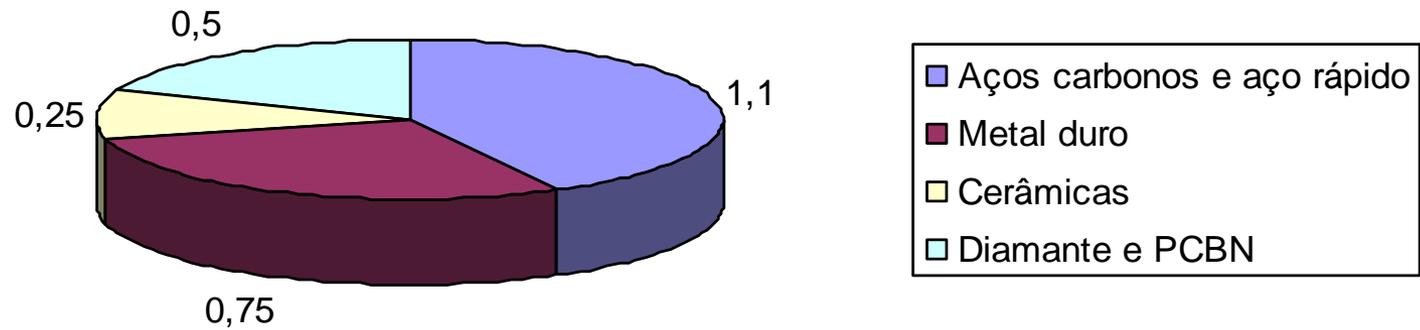
PROCESSOS DE USINAGEM COM GEOMETRIA DEFINIDA

SELEÇÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE

Parte 2: MATERIAIS

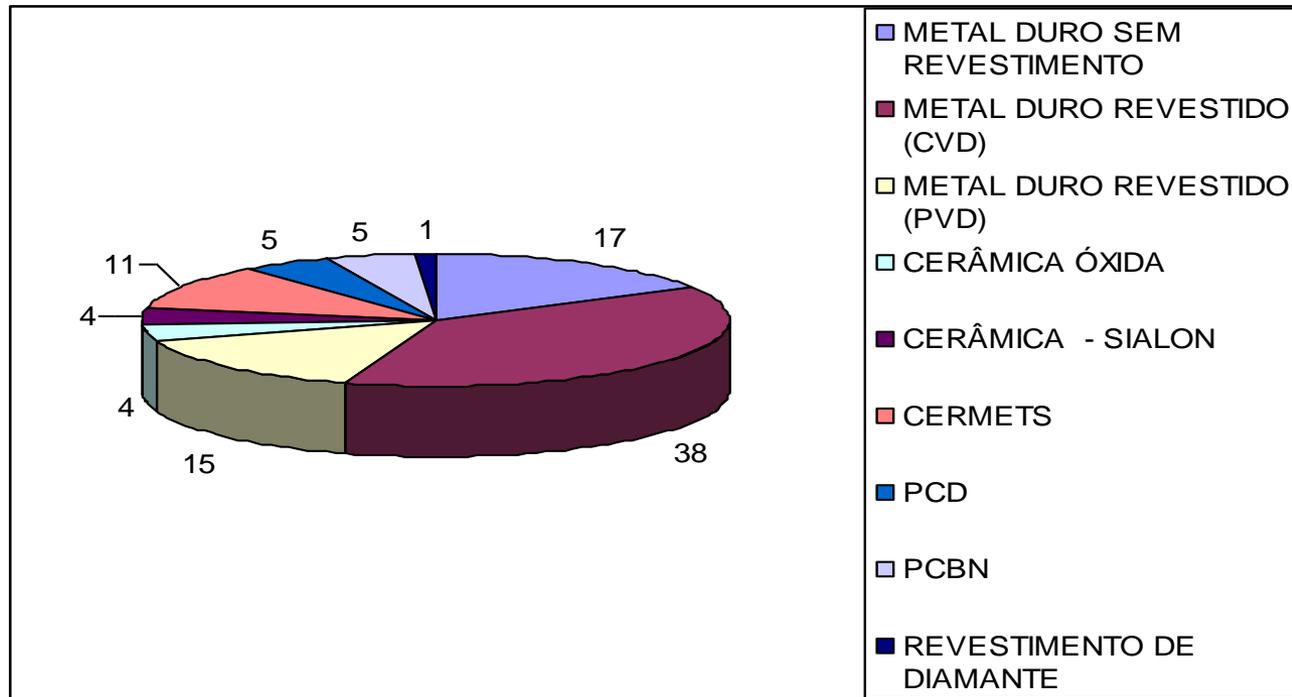
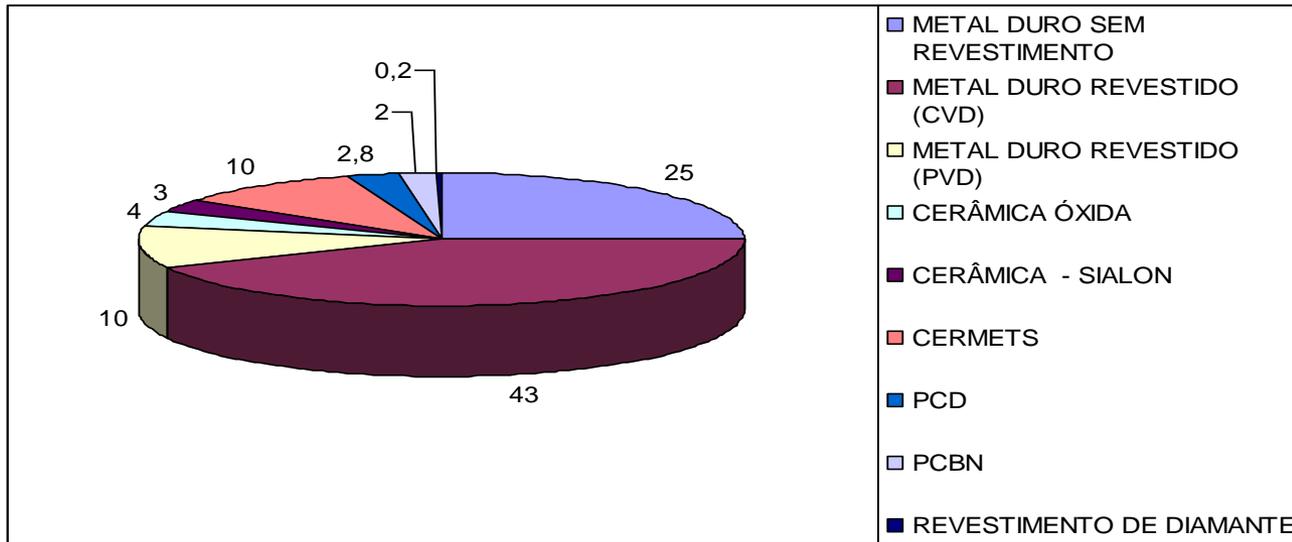


CONSUMO DE FERRAMENTAS NOS ESTADOS UNIDOS - VALORES ESTIMADOS (BILHÕES DE DÓLARES)



Fonte: adaptado de TRENT (2000)

Participação no mercado em (%) de metal duro e ferramentas duras



Fonte: TRENT
(2000)

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DO MATERIAL

MATERIAL DA PEÇA

PROCESSO – OPERAÇÃO

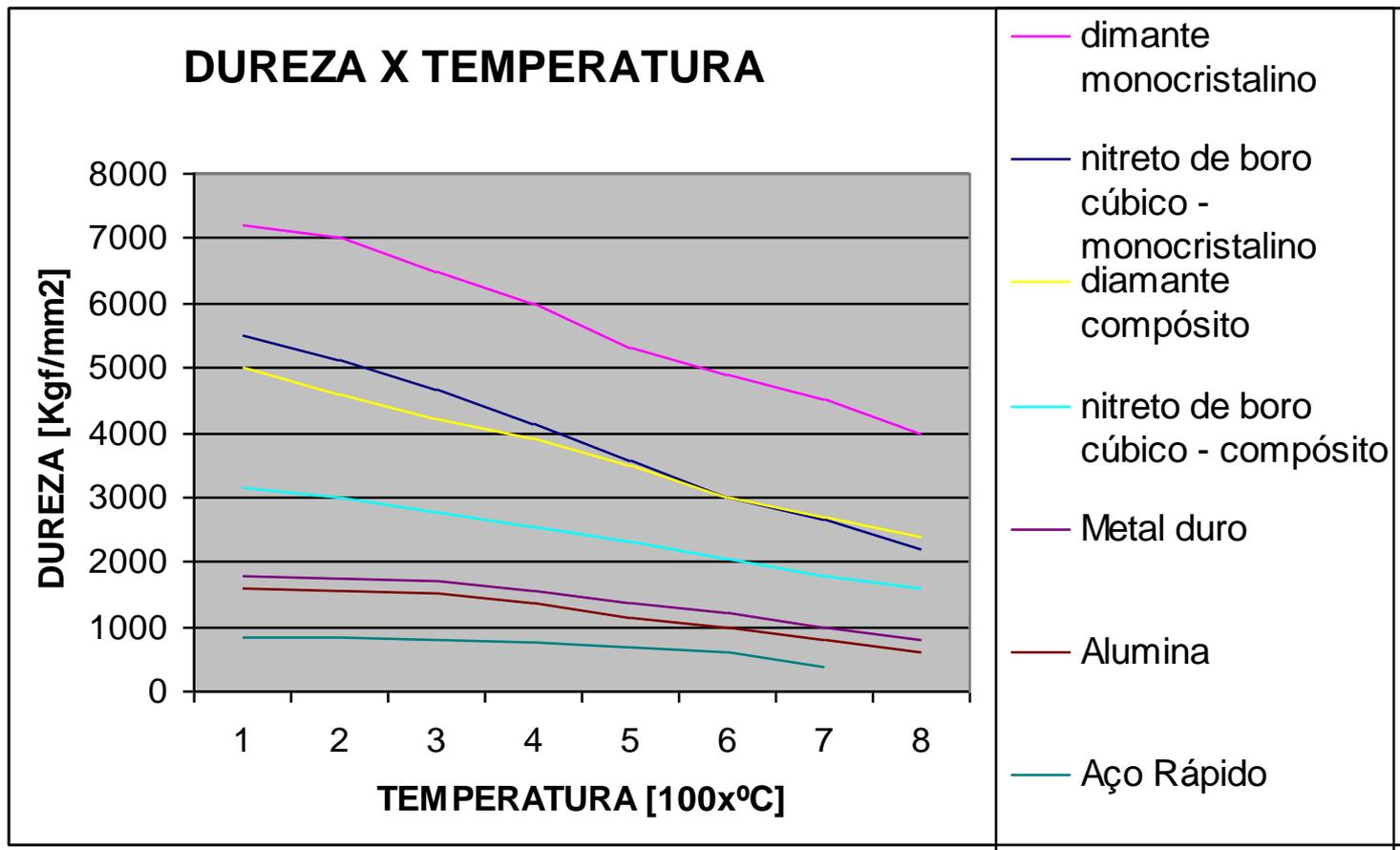
TEMPO E CUSTO

PREÇO E DISPONIBILIDADE DE FORNECIMENTO

	<u>MATERIAIS</u>				
	Bits ¼ x 4”	Metal duro SNGN 120408 (08 arestas)	Cerâmica SNGN 120408 (08 arestas)	PCBN SNGN 120308 (08 arestas)	PCD (01 aresta)
<u>PREÇO</u> [R\$]	18,00	30,00	120,00	850,00	450,00

PROPRIEDADES EXIGIDAS NA SELEÇÃO DOS MATERIAIS

◀ DUREZA e TENACIDADE



Fonte: Adaptado de TRENT (2000)

MEDIDAS DA TENACIDADE

Tipo	Resistência à Ruptura Transversal [GPa]	Tenacidade à Fratura [MPa m ^{-1/2}]	Dureza [HV]
T1	4,6	18	835
M1	4,8	18	835
M2	4,8	17	850
T6	3,0	16	880
M15	4,0	15	880
M42	3,4	10	910

AÇO RÁPIDO

HSS (High speed Steel)

HISTÓRICO

Primeira Patente
(Taylor e White)

1903

Melhorias no
Tratamento térmico
(criogenia)

1940

Fabricação por
metalurgia do pó

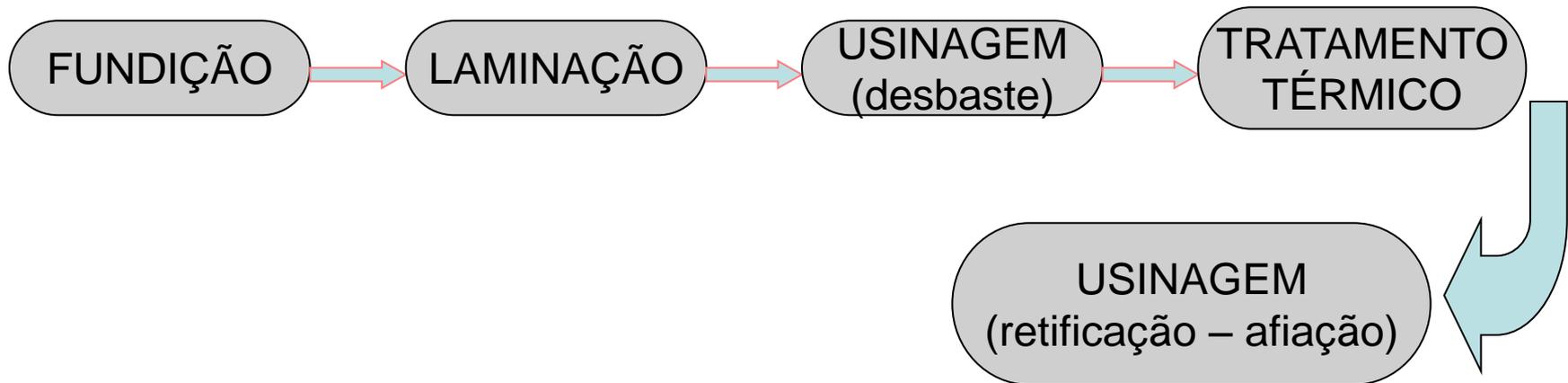
1970

CLASSIFICAÇÃO (ABNT – AISI)	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% em peso)						Dureza (HV)
	C	Cr	Mo	W	V	Co	
T1	0,75	4		18	1		823
T2	0,8	4		18	2		823
T4	0,75	4		18	1	5	849
T5	0,8	4		18	2	9,5	869
T6	0,8	4,5		20	1,5	12	969
T15	1,5	4		12	5	5	890
M1	0,8	4	8	1,5	1	0,8	823
M2	0,85	4	5	6	2	0,85	836
M4	1,3	4	4,5	5,5	4		849
M15	1,5	4	3,5	6,5	5	5	869
M30	0,8	4	8	2	1,25	5	869
M42	1,10	3,75	9,5	1,5	1,15	8	897

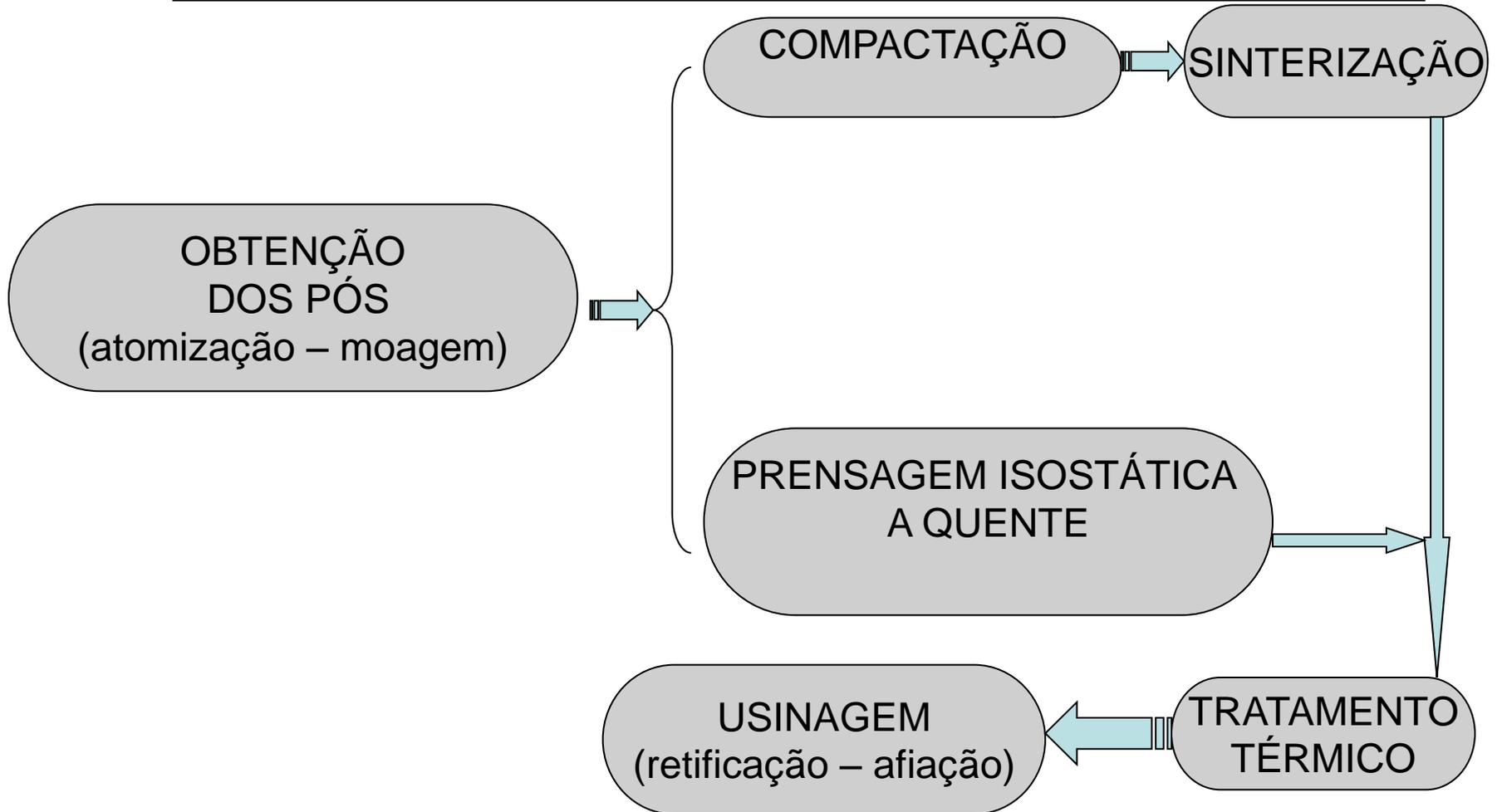
Composição química do aço rápido – fonte: TRENT (2000)

FABRICAÇÃO

PROCESSO CONVENCIONAL



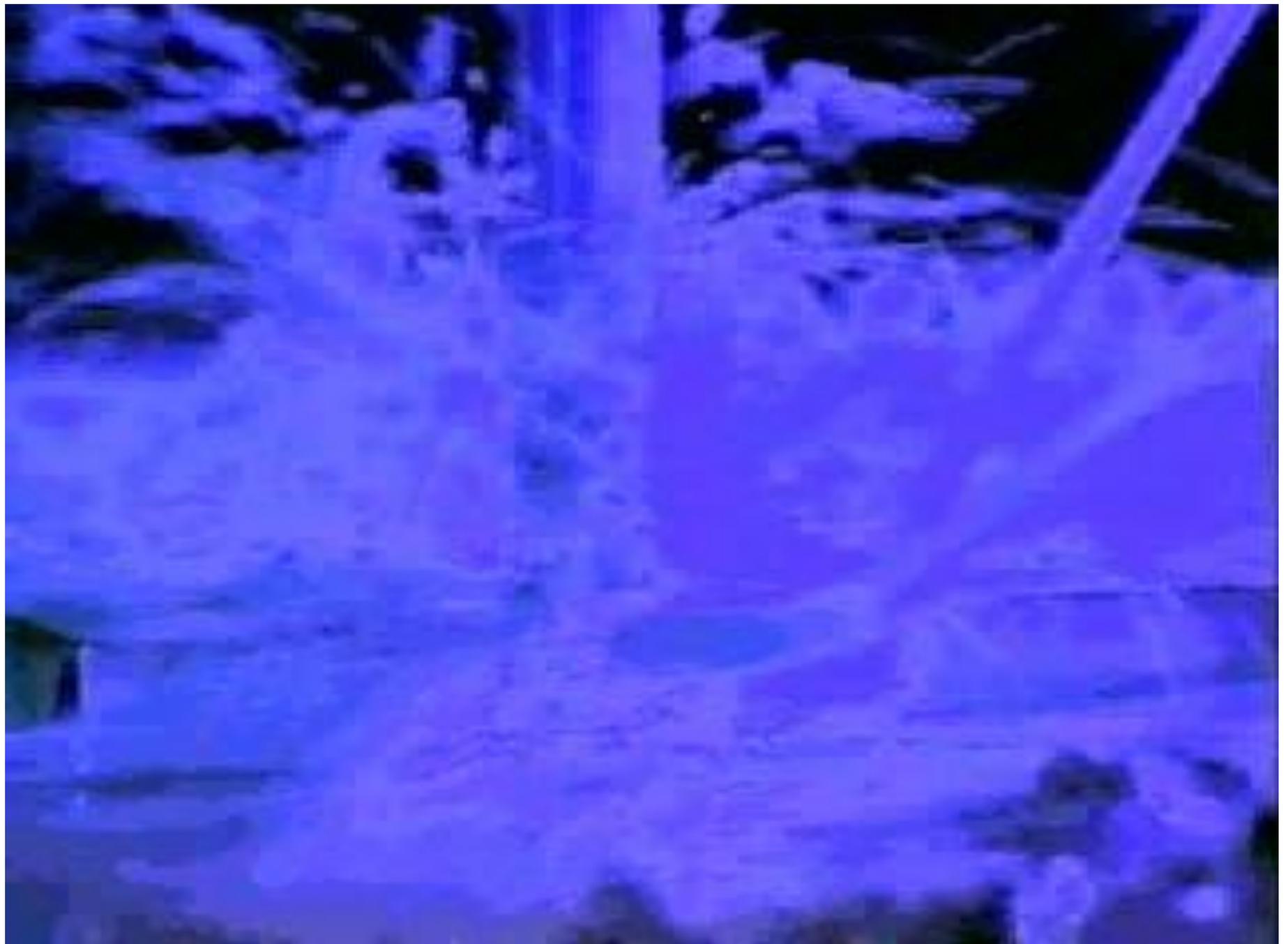
FABRICAÇÃO METALURGIA DO PÓ



CAMPO DE APLICAÇÃO

Ligas de baixa dureza: aços carbono, aço cinzento, ligas Al, bronzes, latões, madeiras

OPERAÇÃO	MÁQUINA	FERRAMENTAS	CONDIÇÕES DE CORTE
Furação	Tornos convencionais, tornos automáticos, furadeiras e centros de usinagem	Brocas helicoidais inteiriças ou soldadas com haste em aço.	Vc (10 a 70 m/min) Com refrigeração
Roscamento	Tornos automáticos e rosqueadeiras	Bits, machos e cossinetes	V (10 a 40 m/min) com lubrificação
serramento	Serras horizontais de mesa	Serras de disco	Vc (10 a 70 m/min) Para alguns materiais (madeira) sem refrigeração.
Brochamento	Brochadeiras (horizontais e verticais)	brocha	Vc (10 a 15 m/min) com lubrificação
Fresamento	Fresadoras convencionais e CNC	Fresas de topo reto ou esférico ou fresas de perfil	V (10 a 60 m/min) com refrigeração/lubrificação
Torneamento (operações de formação)	Torno automático	Bits e (ou) bedames perfilados.	V (10 a 60 m/min) com lubrificação



METAL DURO (cemented carbides)

HISTÓRICO

Primeira Patente
{WC + Co}
(Krupp - widia)

1926

Adição de
Outros
Carbonetos
{WC + TiC + TaC} -Co

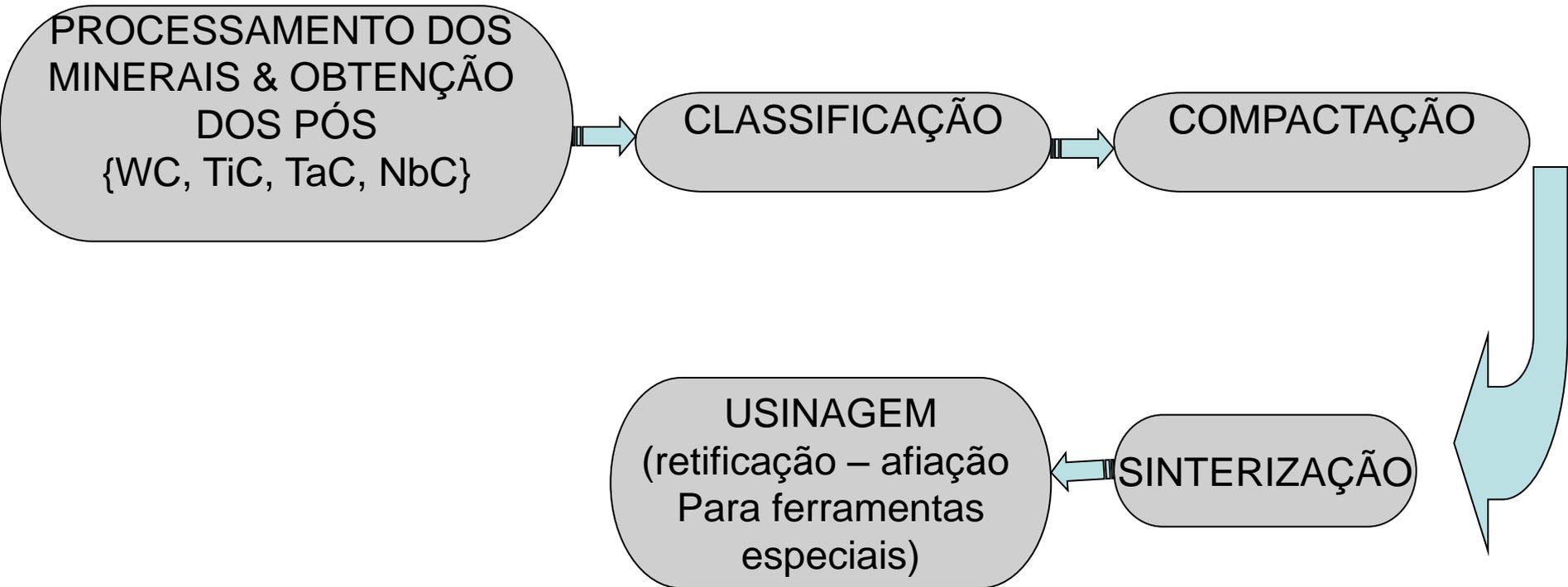
1930 -

CLASSIFICAÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Grupos - ISO	COMPOSIÇÃO (% em volume)			
	WC	TiC	TaC, NbC	Co
P10	36	39	14	11
P20	49,5	27,5	11	12
M40	64	10,5	9	16,5
K20	87	-	3	10

FABRICAÇÃO

SINTERIZAÇÃO CONVENCIONAL



CAMPO DE APLICAÇÃO

ISO GRUPO P

GRUPOS DE MATERIAIS	CLASSE ISO	MATERIAIS USINÁVEIS	CONDIÇÕES DE CORTE
MATERIAIS FERROSOS COM CAVACOS CONTÍNUOS	P01	aços, aços fundidos	Torneamento de acabamento e mandrilamento, velocidade de corte alta, pequena seções de corte e operação livre de vibrações
	P10	aços, aços fundidos	Torneamento, copiagem e roscamento, Vc alta e pequena seção de corte
	P20	Ferro fundido nodular (cavaco contínuo)	Torneamento, copiagem, fresamento Vc alta, seções de corte médias a pequenas
	P30	aços, aços fundidos	Torneamento e fresamento, Vc média a baixa, seção de corte grande e operação instável
	P40	aços, aços fundidos com inclusões de areia e porosidade	Condições operacionais sujeitas a vibrações, baixa Vc, seção de corte variável no torneamento e fresamento

ISO GRUPO M

GRUPOS DE MATERIAIS	CLASSE ISO	MATERIAIS USINÁVEIS	CONDIÇÕES DE CORTE
Metais Ferrosos e não ferrosos Cavacos longos ou curtos	M10	Aços, aços fundidos, fofo cinzento, aços ao manganês	Torneamento, Vc média a alta, seções de corte pequenas
	M20	Aços, aços fundidos, aços austeníticos, fofo cinzento	Torneamento e fresamento. Vc média e seções médias.
	M30	Aços, aços fundidos, aços austeníticos, fofo cinzento, ligas refratárias	Torneamento, fresamento e sagramentos. Vc média e seções de médias a grandes

ISO GRUPO K

<i>GRUPOS DE MATERIAIS</i>	<i>CLASSE ISO</i>	<i>MATERIAIS USINÁVEIS</i>	<i>CONDIÇÕES DE CORTE</i>
<i>MATERIAIS FERROSOS COM CAVACOS DE RUPTURA, NÃO FERROSOS E NÃO METÁLICOS</i>	K01	Ferro fundido duro (branco), ligas Al com alto teor de silício, aços endurecidos, plásticos abrasivos, cerâmicas	Torneamento em acabamento, mandrilamento e fresamento
	K10	Fofo cinzento acima de 200 HBN, ligas de cobre, aços endurecidos, vidro, borrachas e ferro fundido com cavacos curtos.	Torneamento, fresamento, furação, mandrilamento e brochamento
	K20	Fofo cinzento com dureza até 200 BN e metais não ferrosos.	Torneamento, fresamento, furação, mandrilamento e brochamento que demandem ferramentas tenazes
	K30	Fofo de baixa dureza e madeira prensada	Torneamento, fresamento e aplanamento em condições desfavoráveis
	K40	Madeiras macias ou duras metais não ferrosos	Torneamento, fresamento e aplanamento em condições desfavoráveis

CERÂMICAS

HISTÓRICO

Primeiras patentes (Al_2O_3)
(Alemanha Inglaterra)
Descartada comercialmente

1912

2ª guerra – escassez do W
Interesse renovado

1940

Descoberta e processamento
de novas classes
Uso do processo HIP

1968-1987

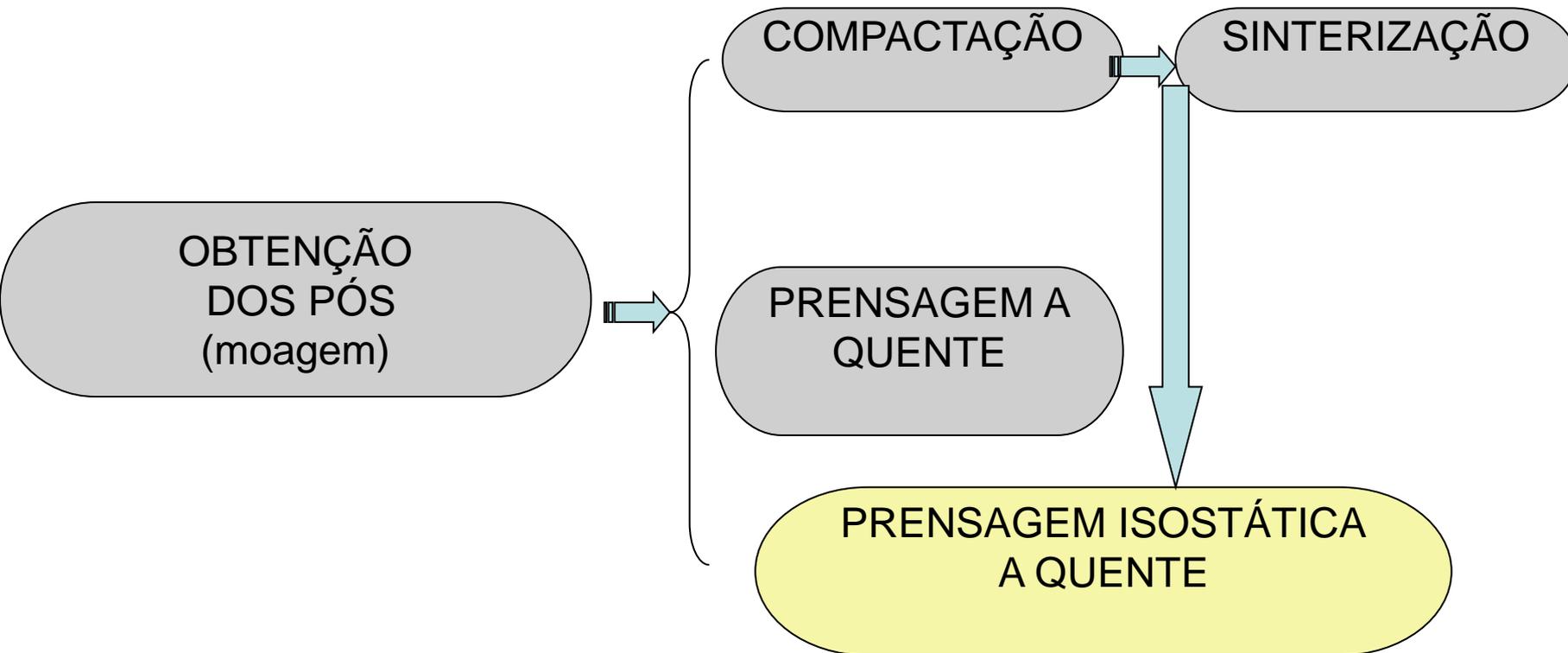
CLASSIFICAÇÃO E PADRONIZAÇÃO

GRUPO	CLASSES	COMPOSIÇÃO QUÍMICA	PROCESSO DE FABRICAÇÃO
Al_2O_3 {ALUMINA}	<i>Mista</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$	HIP
	<i>Óxida</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Zr O}_2$	HP
	<i>Compósitos - whiskers</i>	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}_w$	HP
Si_3N_4 {Nitreto de Silício}	<i>Sialon</i>	$\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$	Sinterização Convencional e HP

HIP- Hot Isostatic Pressing

HP – Hot Pressing

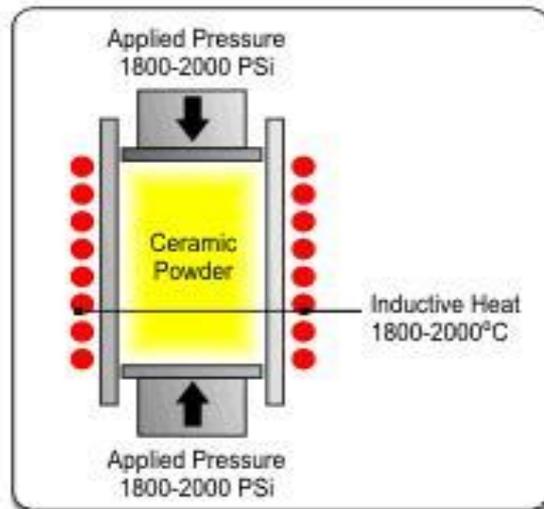
FABRICAÇÃO



PRENSAGEM A QUENTE

Hot Pressing

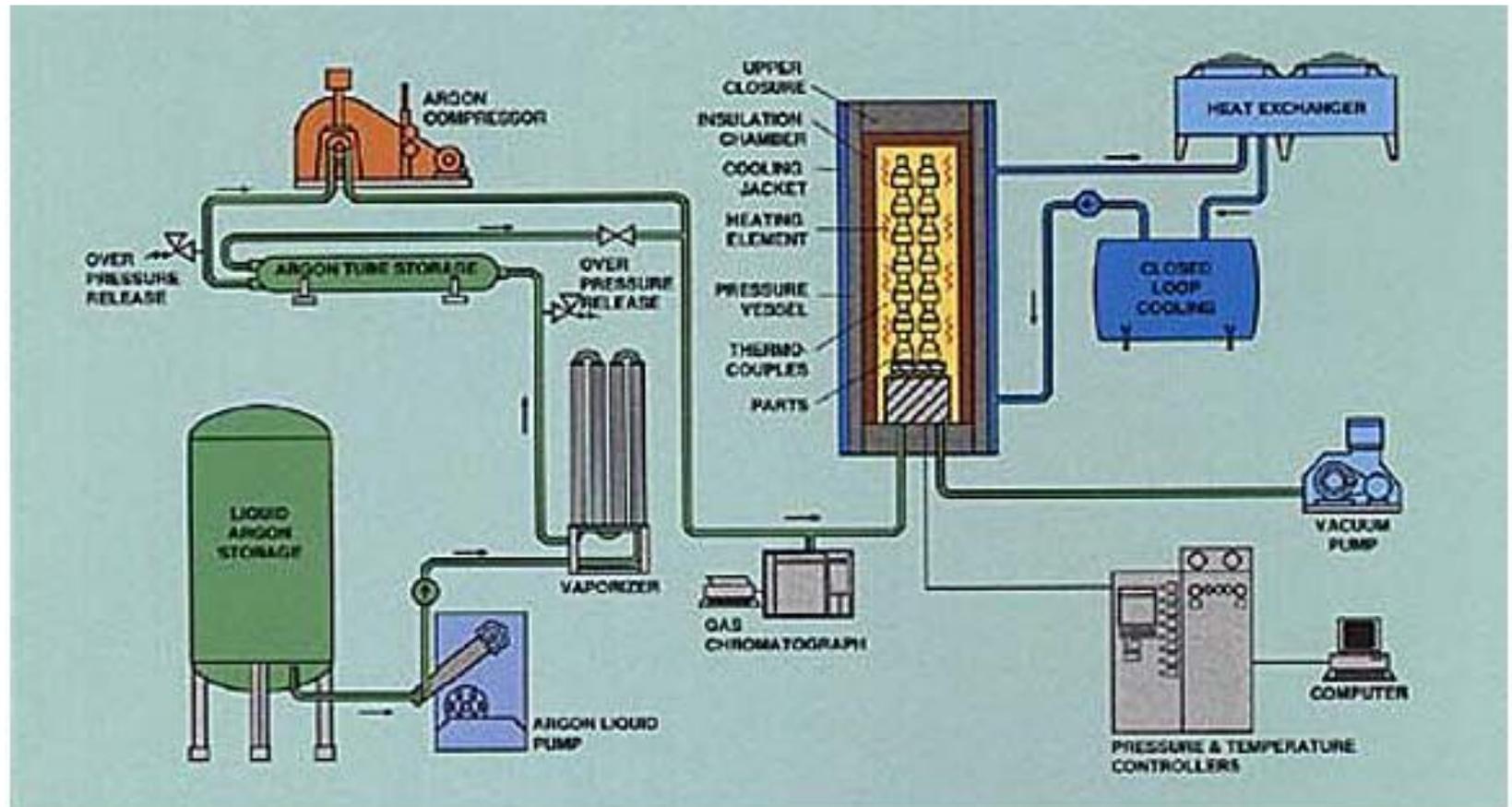
This forming technique is the simultaneous application of external pressure and temperature to enhance densification. It is conducted by placing either powder or a compacted preform into a suitable die, typically graphite, and applying uniaxial pressure while the entire system is held at an elevated temperature, e.g. 2000°C for SiC.



Hot Pressing is only suited to relatively simple shapes, with the components usually requiring diamond grinding to achieve the finished tolerances.

Fonte: Dynamic-ceramic -
http://www.dynacer.com/hot_pressing.htm

PRENSAGEM ISOSTÁTICA A QUENTE



Fonte: Pressure Technology Inc.

<http://www.pressuretechnology.com/page02.htm>



To illustrate the effectiveness of the HIP process a 25mm diameter hole was machined in two halves of a stainless steel block 75mm square. The edges of the block were welded together, the air evacuated from the hole and the evacuation pipe sealed to create a subsurface pore. The block was HIPped and subsequently cut in half to reveal fully dense material and complete absence of any pore.

FONTE: Bodycote - <http://hip.bodycote.com/>

CAMPO DE APLICAÇÃO

torneamento e mandrilamento

MATERIAL	OPERAÇÃO	CLASSE RECOMENDADA	Vc [m/min]	f [mm/v]	ap máx [mm]
Aços de baixo carbono 30 < Rc < 56	D, SD	CC-10, CC-20 (inserto espesso) CC-10, CC-20	100-750	0,30 – 0,61	1,52
	A, SA		100-1300	0,08 – 0,76	0,51
Aços liga Rc < 56	D, SD	CC-10, CC-20 (inserto espesso) CC-10, CC-20	65-750	0,25 – 0,51	1,52
	A, SA		200-1300	0,08 – 0,76	0,51
Aços endurecidos; Ferro fundido branco Rc > 50	A, SA	CC-30 CC-30-C	65-220	0,08 -0,025	0,51
	A, SA		65-220	0,08 -0,025	1,02
Ferro Fundido	D, SD	CC-5XX CC-20, CC-5XX	160-1600	0,25 – 0,64	6,35
	A, SA		250-1600	0,08 – 0,64	1,27
Ductile / Nodular Iron	D, SD	CC-5XX CC-20, CC-5XX	160-750+	0,25 – 0,64	3,81
	A, SA		160-800	0,08 – 0,64	1,02
Ni-based alloys; Non-ferrous metals	D, SD	CC-547 CC-547, CC-20	160-280	0,20 – 0,41	3,81
	SA, A		160-500	0,10 – 0,20	1,02

D – desbaste SD – semidesbaste

A – acabamento

AS – semi-acabamento

CAMPO DE APLICAÇÃO fresamento

MATERIAL	OPERAÇÃO	CLASSE RECOMENDADA	Vc [m/min]	f [mm/v]
Ferro Fundido	D, SD A, SA	CC-5XX CC-20, CC-5XX	100 - 1300 160 - 1600	0,10 – 0,15 0,05 – 0,10
Fofo Nodular	D, SD A, SA	CC-5XX CC-5XX	300-2,500 650-5,000	0,05 – 0,15

D – desbaste SD – semidesbaste

A – acabamento

AS – semi-acabamento

Fonte: Romay Corporation
<http://www.romaycorp.com/>

NITRETO DE BORO CÚBICO POLICRISTALINO (PCBN)

HISTÓRICO

Primeira patente
(General Electric)
Síntese do CBN por R. H. Wentorf

1957

Lançamento comercial
do PCBN como
Material para ferramentas

1972

Torneamento de aços
endurecidos visando
substituir operações de
retificação

1974

CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL E CONSTITUINTES PRINCIPAIS

FABRICANTES PRINCIPAIS:

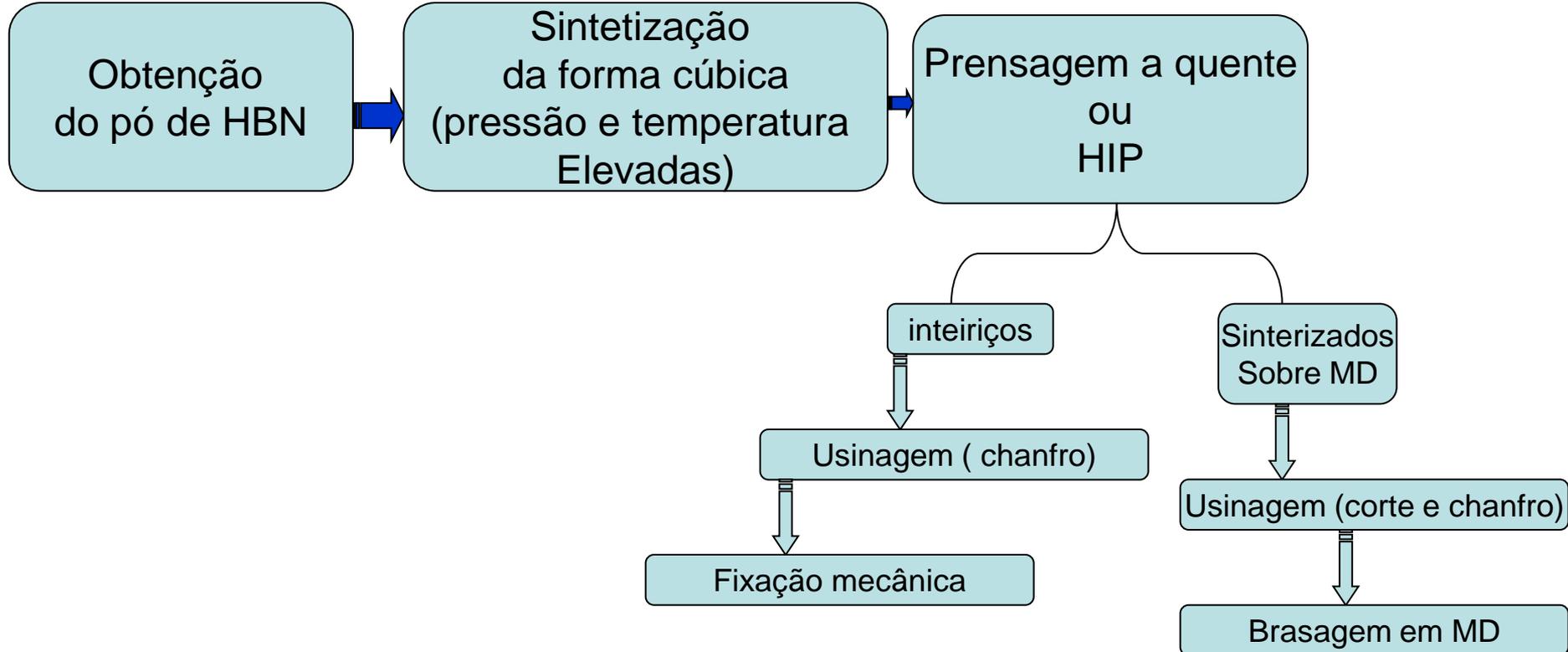
GE – BORAZON
DE BEERS – AMBORITE
SUMITOMO - SUMIBORON

Composição, propriedades e aplicação do PCBN SUMIBORON

CLASSE	BN100	BN250	BN300	BN500	BN600	BNX20 (US300)
CBN (%)	85	60	60	65	90	60
CBN tamanho dos cristais	3	1	0.5	4	2	3
Material ligante 2ª fase	TiN	TiN	TiN	TiC	Co-Al	TiN
Dureza (Hv)	3900-4200	3200-3400	3300-3500	3800-3500	3900-4200	3200-3400
Resistência à ruptura (kg./mm ²)	85	105	115	105	105	105
Materiais recomendados para usinagem	<ul style="list-style-type: none"> • ferro fundido • metais sinterizados 	<ul style="list-style-type: none"> • aços endurecidos (corte interrompido leve) 	<ul style="list-style-type: none"> aços endurecidos (corte interrompido severo) 	<ul style="list-style-type: none"> Fofo nodular Fofo cinzento 	<ul style="list-style-type: none"> Fofo cinzento metais sinterizados fofo branco ligas Ni/Co seperligas 	<ul style="list-style-type: none"> Torneamento em alta velocidade (corte não interrompido)

Fonte: sumitomo –
<http://www.sumitomodiamond.com/boron.htm>

FABRICAÇÃO



DIAMANTE POLICRISTALINO (PCD)

HISTÓRICO

Primeira patente
(General Electric)
Síntese a partir do grafite sob
Temperatura e pressão elevadas

1957

Lançamento comercial
do PCD como
Material para ferramentas

1972

Usinagem de materiais
compósitos

1976

CLASSIFICAÇÃO COMERCIAL E CONSTITUINTES PRINCIPAIS

FABRICANTES PRINCIPAIS:

GE – COMPAX
DE BEERS – SYNDITE

Property		Compax Diamond Grade				Effect of increasing particle size
		1600	1300	1500	1800	
Compressive Strength	(GPa)	7.5	7.5	7.5	7.5	constant
Elastic Modulus	(GPa)	850	950	1100	1150	increases
Transverse Rupture Strength	(GPa)	1.7	1.4	0.85	0.90	decreases
Thermal Conductivity	(W/mk ^o)	500	525	600	600	increases
Electrical Resistivity	(ohm-mx 10 ⁻²)	1.5	2.0	4.0	4.5	increases
Density	(g/cc)	4.1	4.0	3.9	4.0	decreases
Knoop Hardness - 3 kg load	(kg/mm ²)	4000	4000	4000	4000	constant

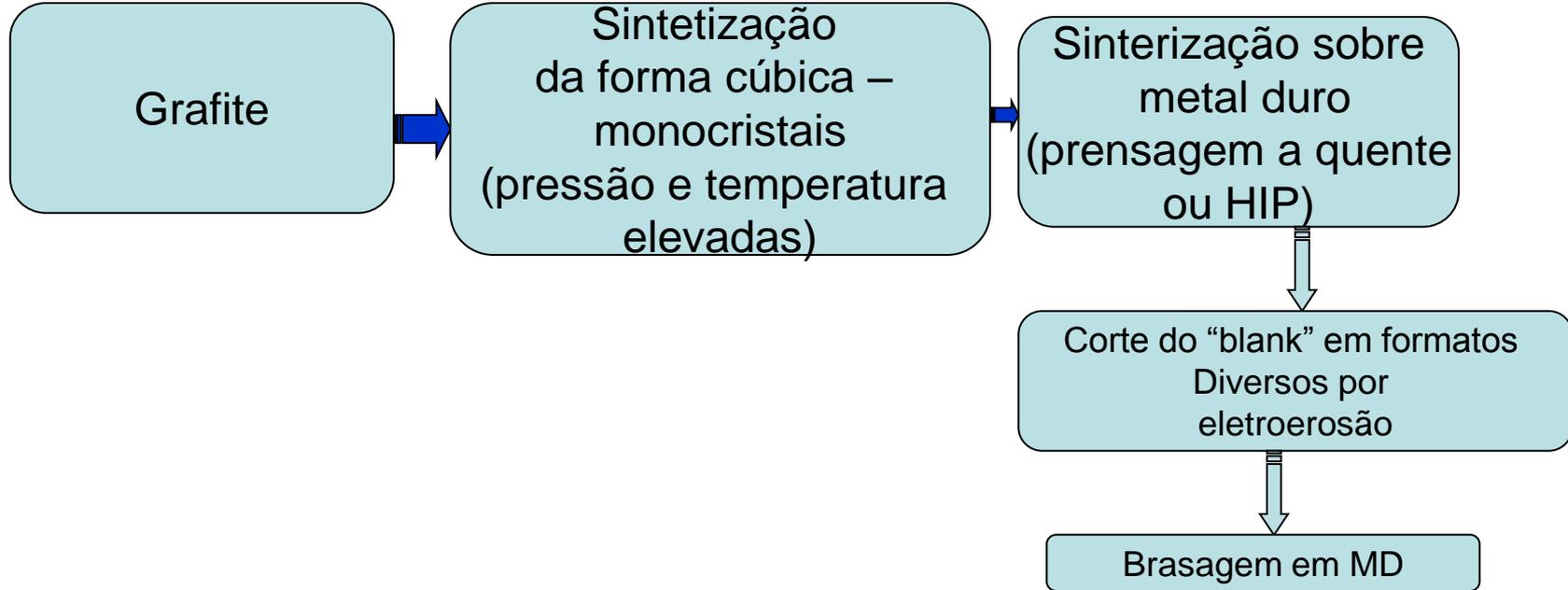
Abrasion resistance and impact resistance increase with diamond grain size.

Propriedades do GE_Compax

Fonte: Diamond Innovations

<http://www.abrasivesnet.com/en/product/mbs/compax/index.htm>

FABRICAÇÃO



Exemplo de aplicação do PCD

O.D. Turning of Alumium Pistons

Compax 1500



Conditions

Work material	390 Al (GD-Al Si 17)
Tool	CPG-424 (CCMW 12 03 16) Compax 1500 Tool Blanks
Turning conditions	machining speed: 730 m/min feed rate: 0.2 mm/rev depth of cut: 0.25 mm
Coolant	emulsion
Cutting mode	continuous
Result	8000 pistons per cutting edge

[top](#)

Grooving of Aluminum Pistons

Compax 1300



Conditions

Work material	390 Al (GD-Al Si 17)
Tool	Three grooving tool sets Compax 1300 Tool Blanks
Grooving conditions	machining speed: 370 m/min feed rate: 0.45 mm/rev
Coolant	emulsion
Result	10000 pistons per tool setup

Torneamento de pistões - torneamento externo e sangramento de canais

Fonte: Diamond Innovation

<http://www.abrasivesnet.com/en/product/mbs/compax/b.htm>

**Surface Milling of
Aluminum
Cylinder Head Face**

Compax 1500



Conditions

Work material	GK-Al Si9Cu3
Tool	Milling head 250 mm Ø, 18 inserts tipped with Compax 1500 Tool Blanks
Milling conditions	machining speed: 3500 m/min feed rate: 0.15 mm/rev per tooth spindle speed: 4460 rev/min depth of cut: 0.5 mm
Coolant	emulsion
Result	40000 heads per tool setup

[top](#)

**Slot Milling/Edge
Contouring
Glass Fiber
Reinforced Plastic
Composite**

Compax 1300



Conditions

Work material	Glass fibre reinforced plastic composite, 40 Vol % fibre filled
Tool	6.0 and 8.0 mm, 2 cutting edges Compax 1300 Tool Blanks
Machining conditions	speed: 850 m/min, 1130 m/min feed rate: 0.065 mm/rev, 0.05 mm/rev spindle speed: 45000 rev/min
Result	Compax 1300 Tool Blanks: 800 parts per cutting edge Tungsten Carbide: 60 - 80 parts per cutting edge

**Fresamento com PCD - cabeçote em Al-Si e compósito
(plástico reforçado com fibra)**

Fonte: Diamond Innovation

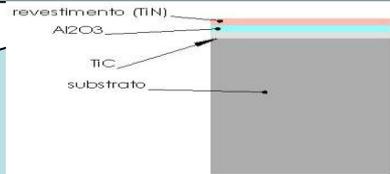
<http://www.abrasivesnet.com/en/product/mbs/compax/b.htm>

REVESTIMENTOS

CVD

(Chemical Vapor Deposition)

Reação química da cobertura, na fase gasosa, sobre um substrato



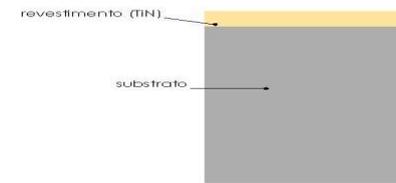
Coberturas múltiplas
(TiN + TiC + Al₂O₃)

Deposição de diamante

- Requer temperaturas elevadas
- Não aplicado em substratos de aço

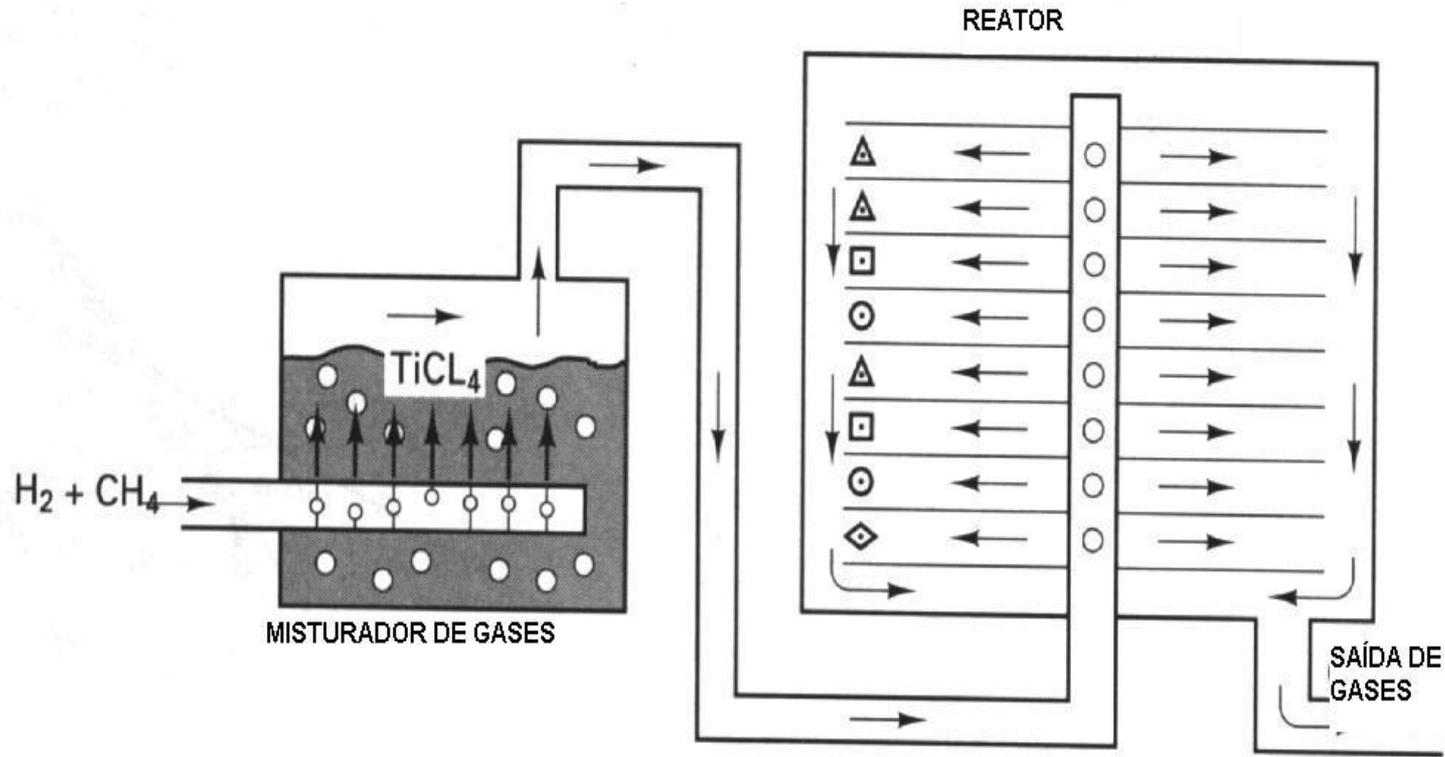
PVD

(Physical Vapor Deposition)



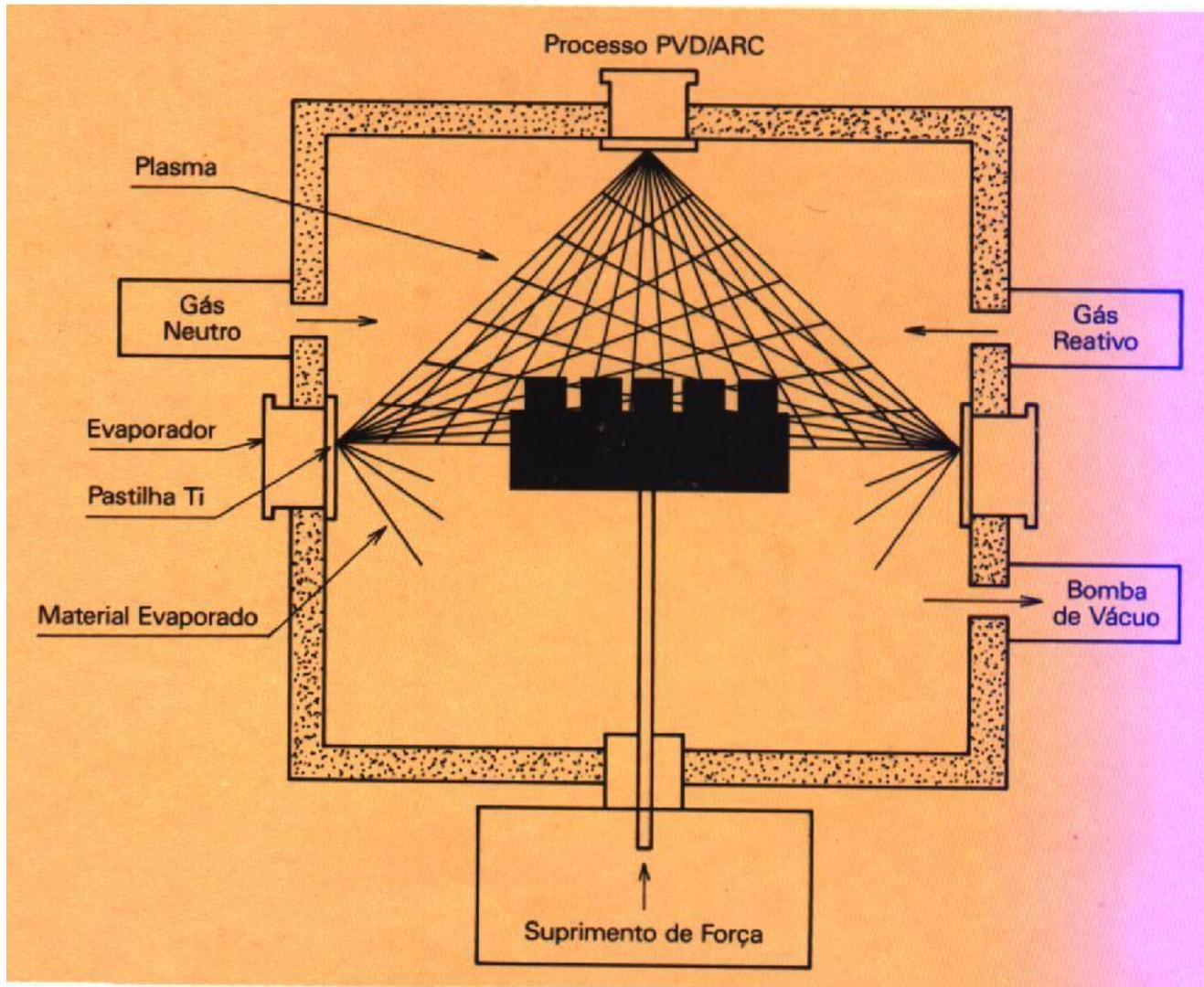
Limitado a alguns materiais
Operação em baixa temperatura
Menores velocidades de corte

CHEMICAL VAPOR DEPOSITION PROCESSO - ESQUEMÁTICO



Esquema do processo CVD
Fonte: Degarmo

PHYSICAL VAPOR DEPOSITION PROCESSO - ESQUEMÁTICO



Product name	Coating material	Microhardness HV*	Friction coefficient against steel (dry)*	Internal stress (GPa)*	Max. service temperature (°C)*	Coating color	Coating structure
BALINIT® A	TiN	2300	0,4	-2,5	600	gold-yellow	Monolayer
BALINIT® ALCRONA	AlCrN	3200	0,35	-3	1100	blue-grey	Monolayer
BALINIT® B	TiCN	3000	0,4	-4,0	400	blue-grey	multilayer, gradiert
BALINIT® C	WC/C	1000 / 2000	0,10 - 0,20	-1,0	300	black-grey	lamellar
BALINIT® D	CrN	1750	0,5	-1,5 / -2,0	700	silver-grey	Monolayer
BALINIT® DIAMOND	polycrystalline diamond	8000 - 10000	0,15 - 0,20		600	light-grey	Monolayer
BALINIT® FUTURA NANO	TiAlN	3300	0,30 - 0,35	-1,3 / -1,5	900	violet-grey	Nano structured
BALINIT® FUTURA TOP	TiAlN	3300	0,25	-1,3 / -1,5	900	violet-grey	Nano structured
BALINIT® G	TiCN + TiN	3000	0,4	-4,0	400	gold-yellow	multilayer, gradiert
BALINIT® HARDLUBE	TiAlN + WC/C	3000	0,15 - 0,20	-1,7 / -2,0	800	dark-grey	multilayer, lamellar
BALINIT® TRITON	DLC (a-C:H)	2500	0,1 - 0,2		350	black-grey	Monolayer
BALINIT® X.CEED	TiAlN	3300	0,4	-3,0 / -3,5	900	blue-grey	Monolayer
BALINIT® X.TREME	TiAlN	3500	0,4	-4,0	800	violet-grey	Monolayer

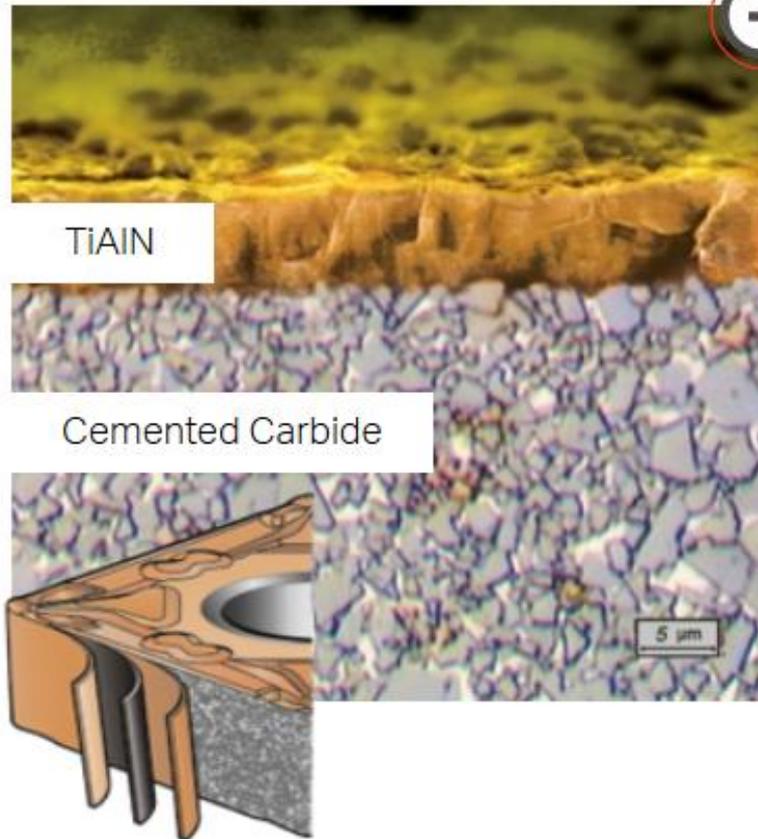
PVD - revestimentos comerciais para Metal duro e aço rápido

Fonte: Balzers

<http://www.balzers.com>

PVD

Physical Vapour Deposition

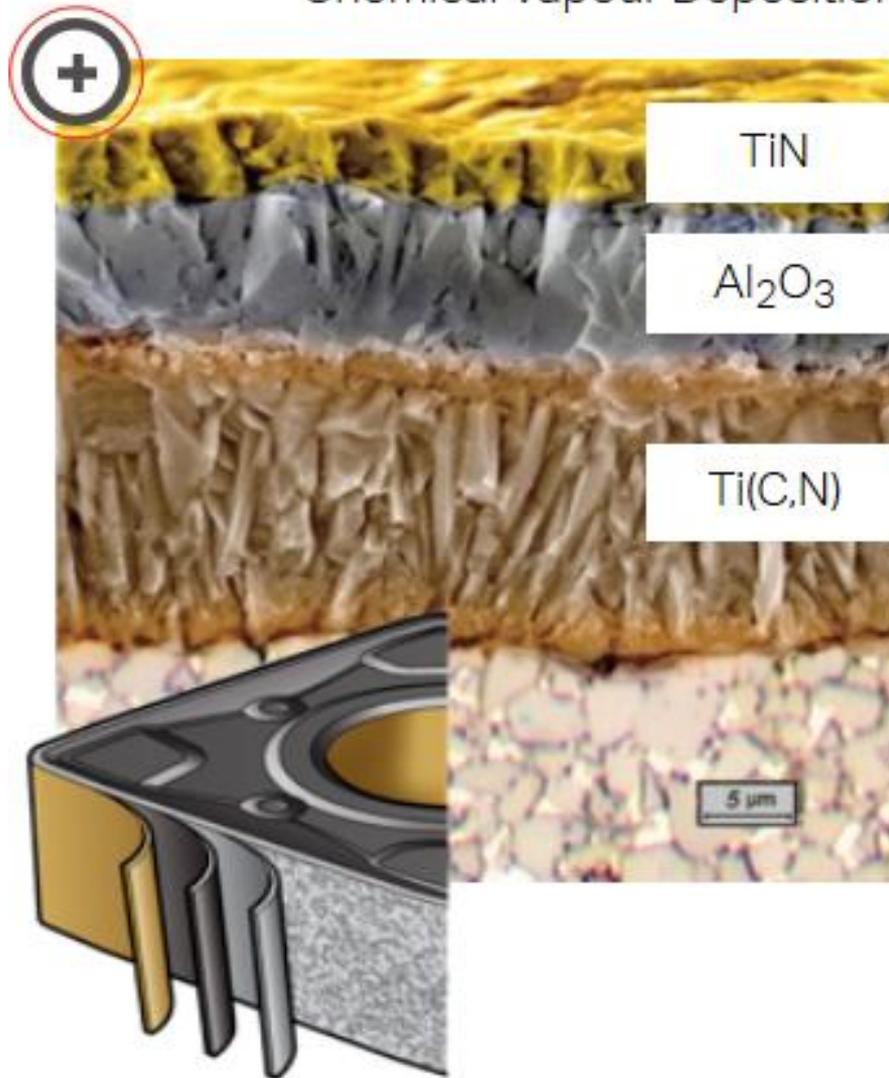


Aplicação do processo PVD em ferramentas de metal duro.

Fonte: Sandvik

CVD

Chemical Vapour Deposition



Aplicação do processo CVD em ferramentas de metal duro.

Fonte: Sandvik

