

Metalurgia do pó

Processo de compactação e sinterização do pó

O processo, denominado de metalurgia do pó (M/P), foi inicialmente usado pelos egípcios, 3000 A.C, para fazer ferramentas de ferro.

O uso moderno ocorreu no início do século XX (1900), para fazer filamentos de tungstênio para lâmpadas incandescentes.

Os metais mais comumente usados em M/P são Al, Cu, Sn, Ni Ta, Ag, Be, Ti, Fe, Co.

Tamanho de peças 2,5 a 50 kg.

PORQUE ESCOLHER A METALURGIA DO PO COMO PROCESSO?

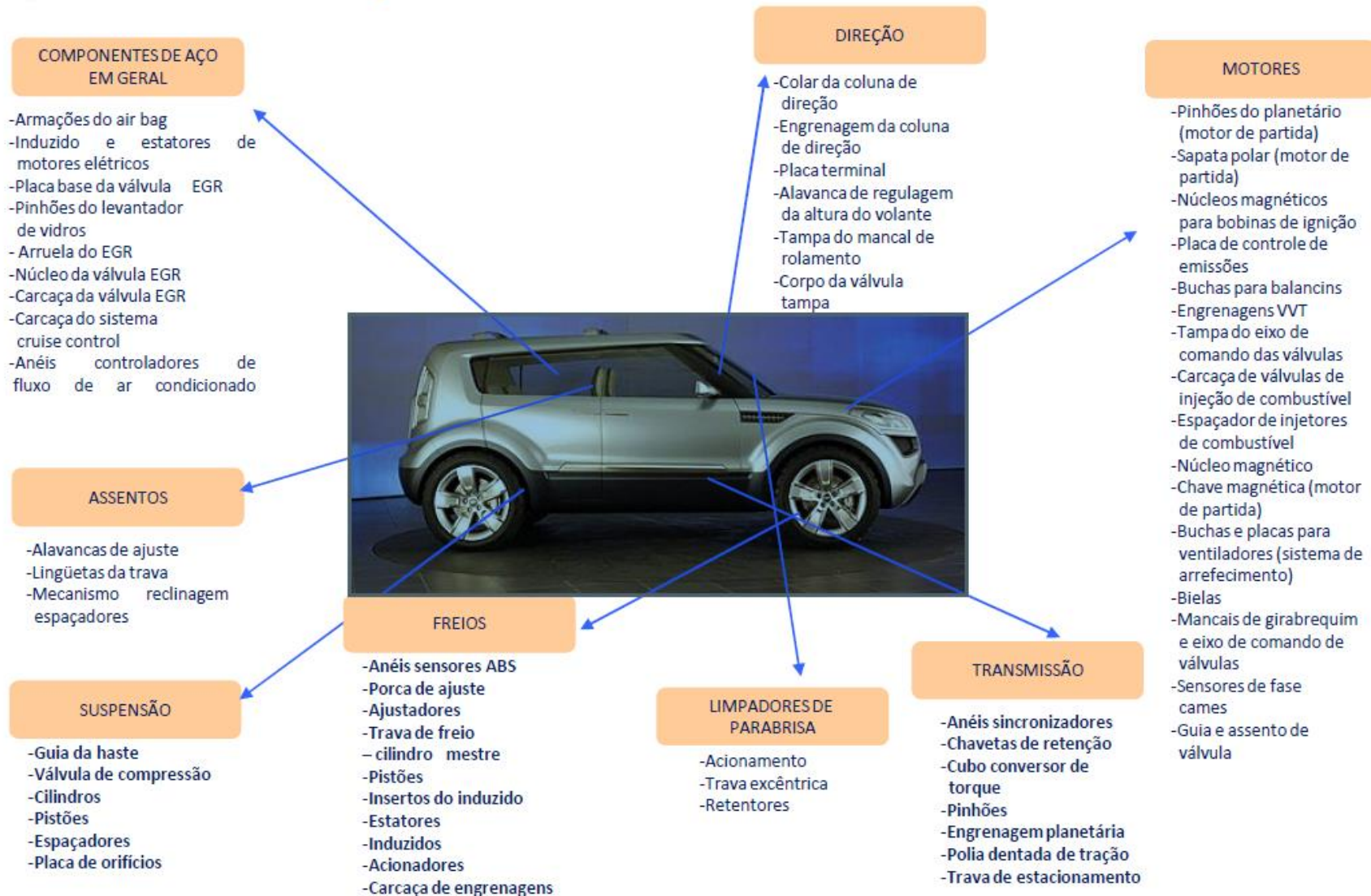


Aplicação de M/P para Produtos

Application	Metals	Uses
Abrasives	Fe, Sn, Zn	Cleaning, abrasive wheels
Aerospace	Al, Be, Nb	Jet engines, heat shields
Automotive	Cu, Fe, W	Valve inserts, bushings, gears
Electrical/electronic	Ag, Au, Mo	Contacts, diode heat sinks
Heat treating	Mo, Pt, W	Furnace elements, thermocouples
Joining	Cu, Fe, Sn	Solders, electrodes
Lubrication	Cu, Fe, Zn	Greases, abradable seals
Magnetic	Co, Fe, Ni	Relays, magnets
Manufacturing	Cu, Mn, W	Dies, tools, bearings
Medical/dental	Ag, Au, W	Implants, amalgams
Metallurgical	Al, Ce, Si	Metal recovery, alloying
Nuclear	Be, Ni, W	Shielding, filters, reflectors
Office equipment	Al, Fe, Ti	Electrostatic copiers, cams

Source: R. M. German.

UTILIZAÇÃO DE SINTERIZADOS EM UM CARRO ATUAL



Vantagens usar M/P

Econômicas:

- Um componente sinterizado com qualidade comparável a um fundido ou trabalhado normalmente é mais barato que estes. M/P tipicamente usa mais de 97% da matéria prima original na peça acabada;
 - Produz peças com excelente acabamento;
 - M/P é adequada a componentes com alto volume de consumo (permite automação), com formas intrincadas, com tolerâncias dimensionais fechadas;
 - Peças sinterizadas tem bom desempenho em aplicações críticas de longa duração.
-

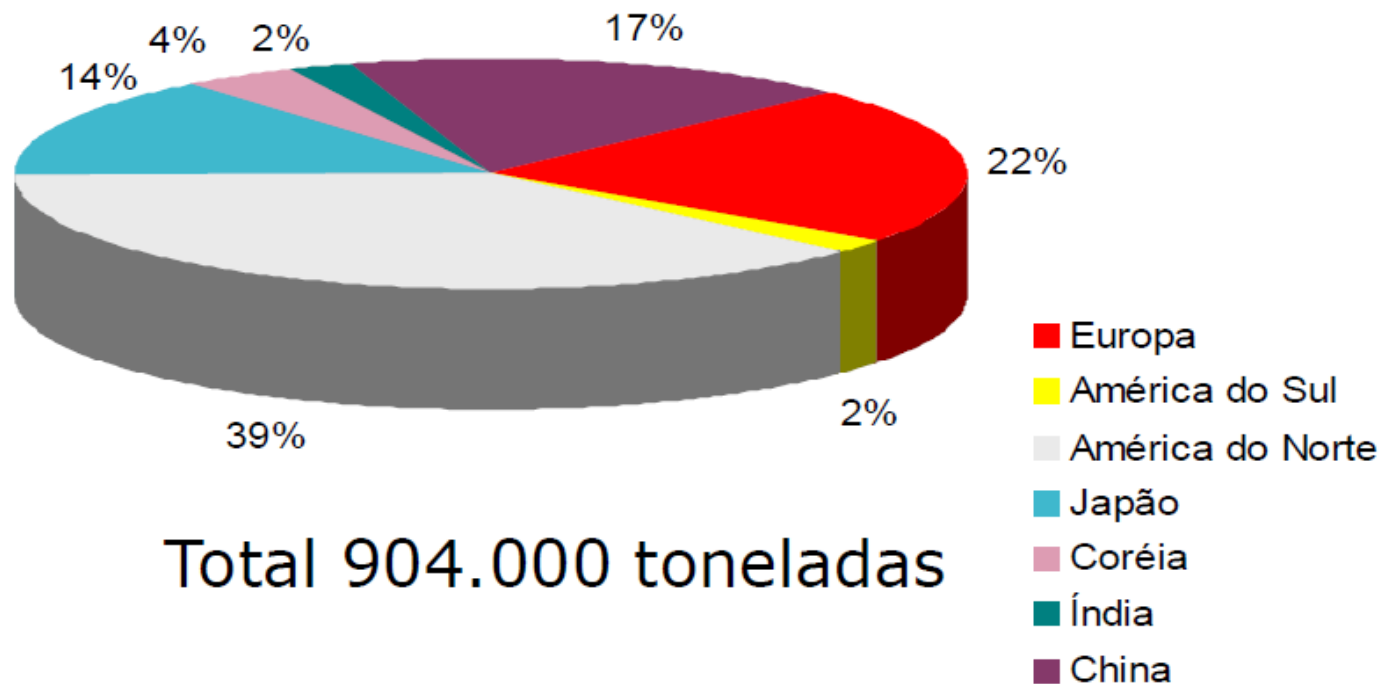
Vantagens usar M/P

Peças podem ser feitas próximo a dimensões (“near net shape”)

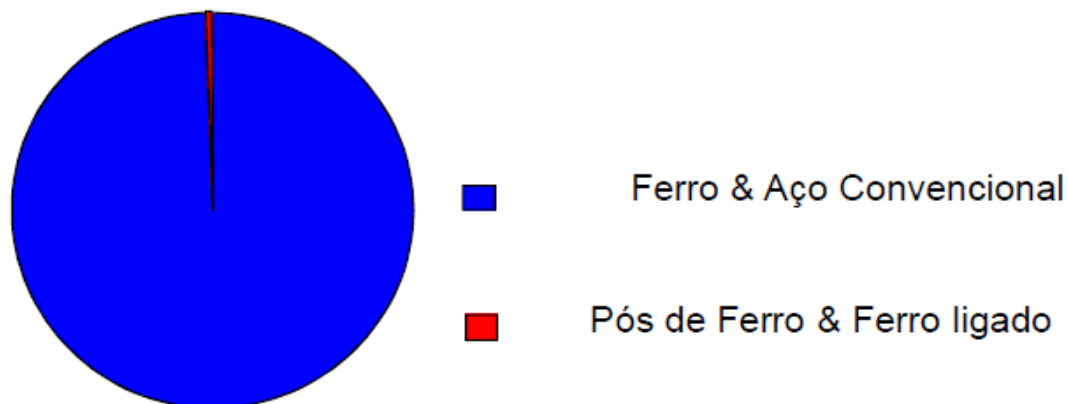
Quando produzidos em grandes quantidades, engrenagens e mancais, a M/P torna-se ideal porque:

- A geometria é definida em duas dimensões.
 - Existe necessidade de porosidade na peça para ser aproveitada como reservatório de óleo lubrificante.
-

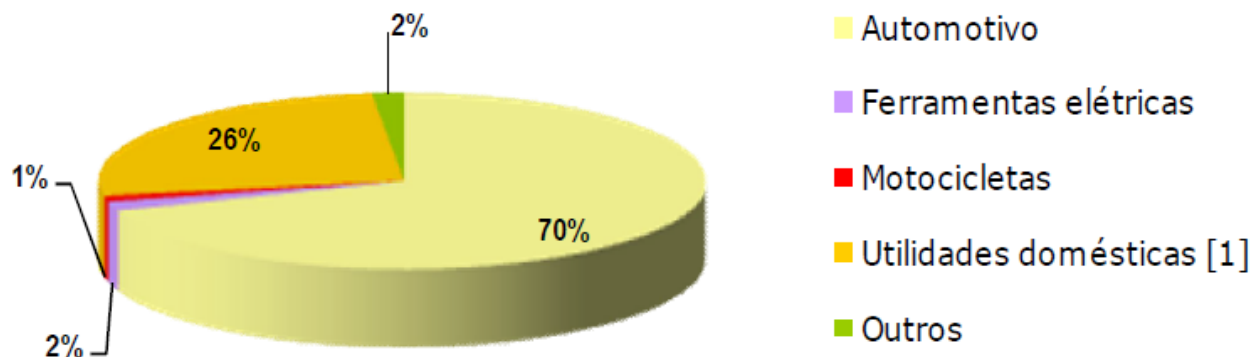
VENDA DE PÓ DE FERRO POR REGIÃO EM 2006



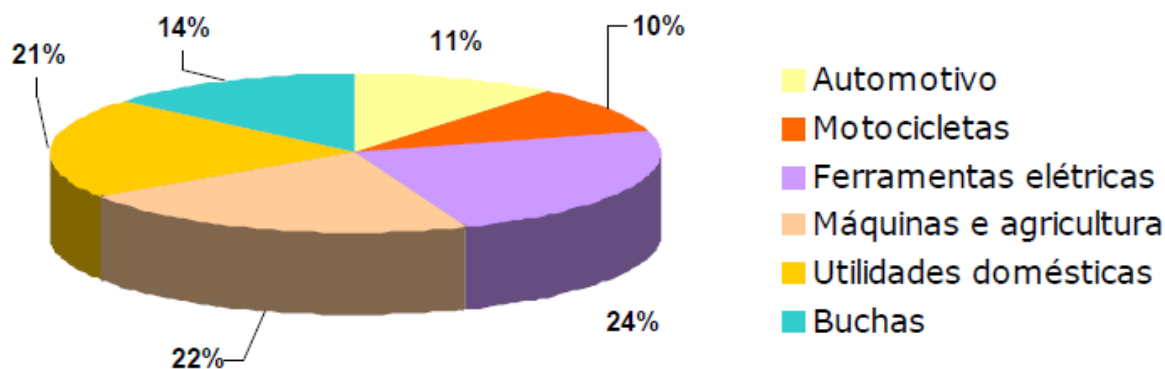
Total 904.000 toneladas



UTILIZAÇÃO DE SINTERIZADOS NO BRASIL 2008 [2]



UTILIZAÇÃO DE SINTERIZADOS NA CHINA 2008

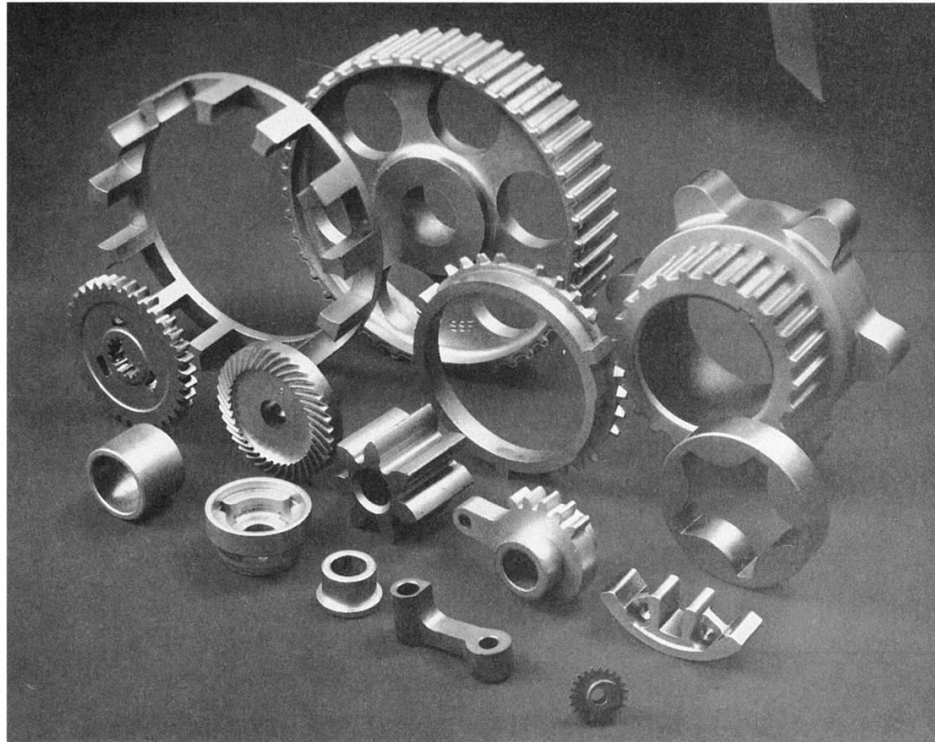


[1] Utilidades domésticas inclui compressores herméticos

[2] Dados obtidos de sinterizadores

Metalurgia do pó

Produtos obtidos através de M/P



A collection of powder metallurgy parts (photo courtesy of Dorst America, Inc.).

Produtos obtidos através de M/P

Ferramentas de corte



Produtos obtidos através de M/P

Moldes e Matrizes



Produtos obtidos através de M/P

Matrizes



Metalurgia do pó

Processo de Metalurgia do pó consiste das seguinte sequência de operações:

1. Produção do pó;
 2. Mistura (“blending”: composição química igual; “mixing”: composição química diferente);
 3. Compactação;
 4. Sinterização
 5. Operações de acabamento
-

Metalurgia do pó

Em geral, quem fabrica os póis não as empresas que fabricam as peças através de M/P

Qualquer metal pode ser transformado em pó

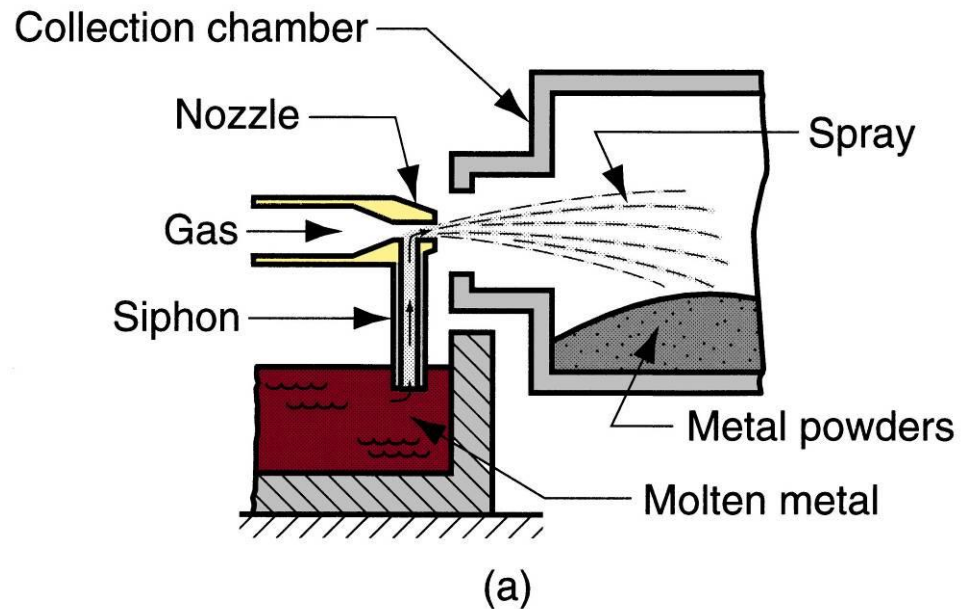
Os 2 principais métodos usados comercialmente para fabricar póis são:

1. Atomização
 2. Eletrolítico
-

Método de atomização com gás

Uma corrente de gás em alta velocidade escoo através de um bico nebulizador, juntamente com metal fundido que é nebulizado em um tanque

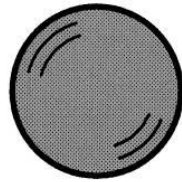
(a) Método de atomização com Gás



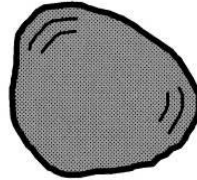
Eletrólise

- Eletrólise: nesse método o metal desejado é o anodo que é lentamente dissolvido sob tensão (V), e transportado através dos eletrólitos e depositado no cátodo.
 - Metal depositado é removido, lavado e seco formando pó com altíssima pureza.
 - Os principais metais obtidos por esse método são: Be, Cu, Fe, Ag, Ta, e Ti.
-

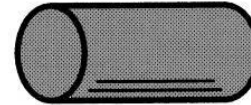
Formas das partículas na Metalurgia do pó



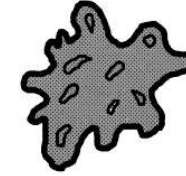
Spherical



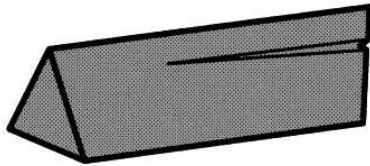
Rounded



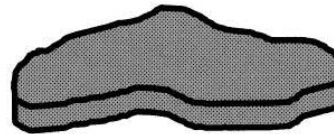
Cylindrical



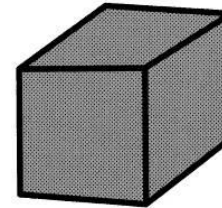
Spongey



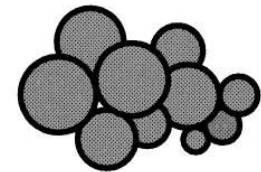
Acicular



Flakey



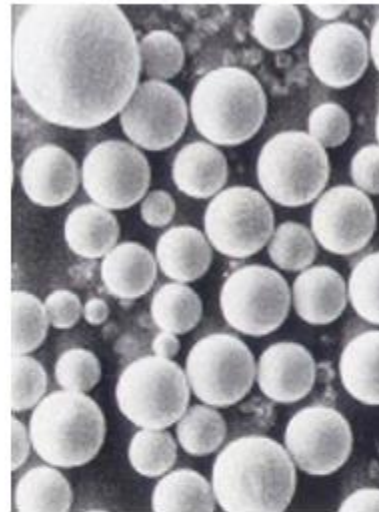
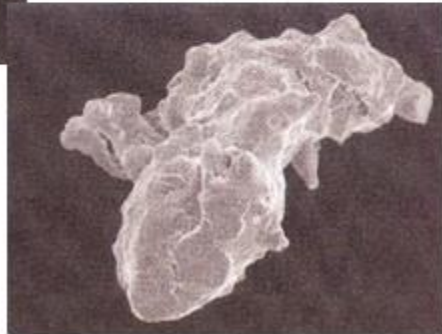
Cubic



Aggregated

Figura. Diversos formas possíveis de partículas usadas na MP.

Formas das partículas na Metalurgia do pó



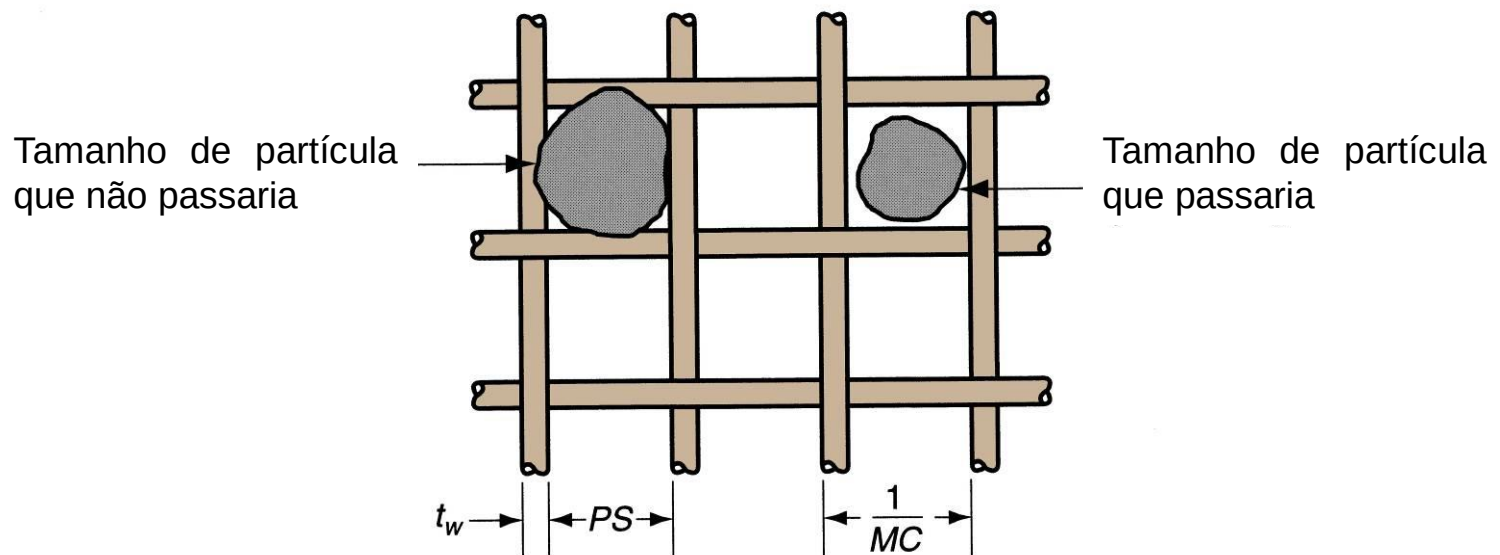
Etapas do processo – Tamanho do pó

Os métodos mais comuns usam peneiras de diferentes aberturas da malha (*mesh sizes*)

Mesh count – refere-se ao número de aberturas por polegada linear na peneira

- ⑩ Um *mesh count* de 200 significa que existem 200 aberturas por polegada linear
 - ⑩ Uma vez que a malha é quadrada, a contagem é igual em todas as direções, e o número total de aberturas por polegada quadrada é $200^2 = 40,000$
 - ⑩ Quanto maior a contagem de mesh = menor o tamanho das partículas
-

Etapas do processo – Tamanho do pó



Screen mesh para classificar tamanho de partículas

Medidas de densidade de partículas

Densidade real – densidade do volume real do material

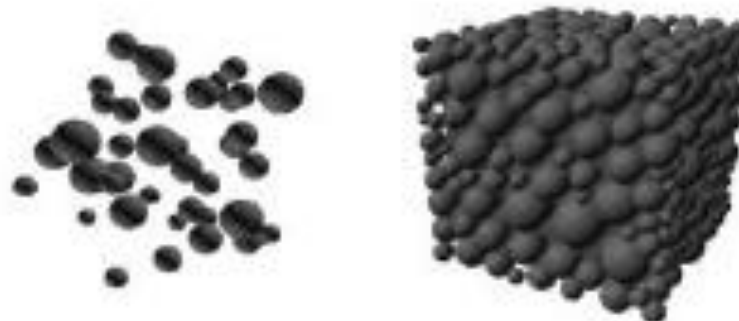
A densidade do material se o material fosse fundido em uma massa sólida

Densidade do substrato (*Bulk density*) – densidade dos pós no estado solto após a sua formação

Por causa dos poros entre partículas, a densidade do substrato é menor do que a densidade real

Fator de empacotamento

Processo de Compactação e Sinterização do pó



Raw powder

Formed product



Sintered product

Etapas do processo - Mistura

Etapas do Processo



Mistura

- Feita com base na especificação do material definido para peça.
- Os componentes da mistura, todos na forma de pó, são pesados e colocados no misturador de forma a obter uma mistura homogênea.
- Adiciona-se também um pó lubrificante necessário na etapa de compactação. Este pó evita que o ferramental seja desgastado e facilita a compactação e a extração da peça.

Misturadores

Duplo - Cone



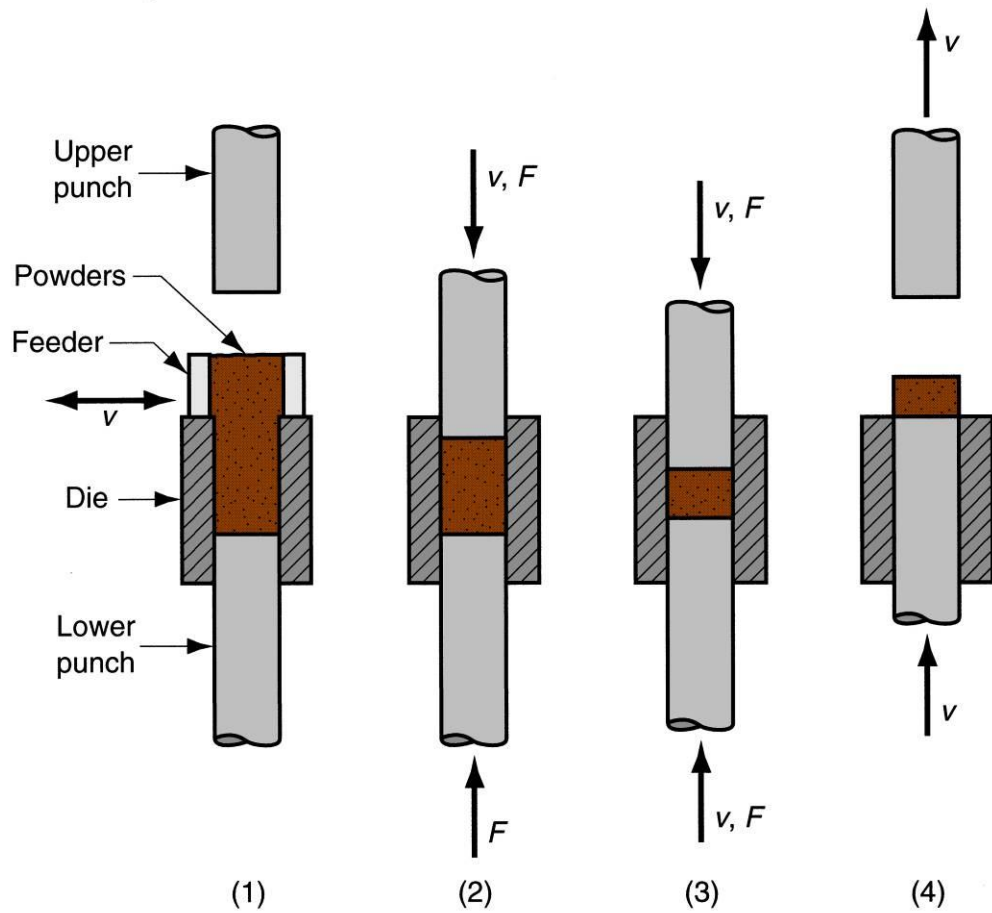
“Y”



Metalurgia do pó

• Compactação

Pressing in PM: (1) filling die cavity with powder by automatic feeder; (2) initial and (3) final positions of upper and lower punches during pressing, (4) part ejection.



Metalurgia do pó

- Prensa
Mecânica

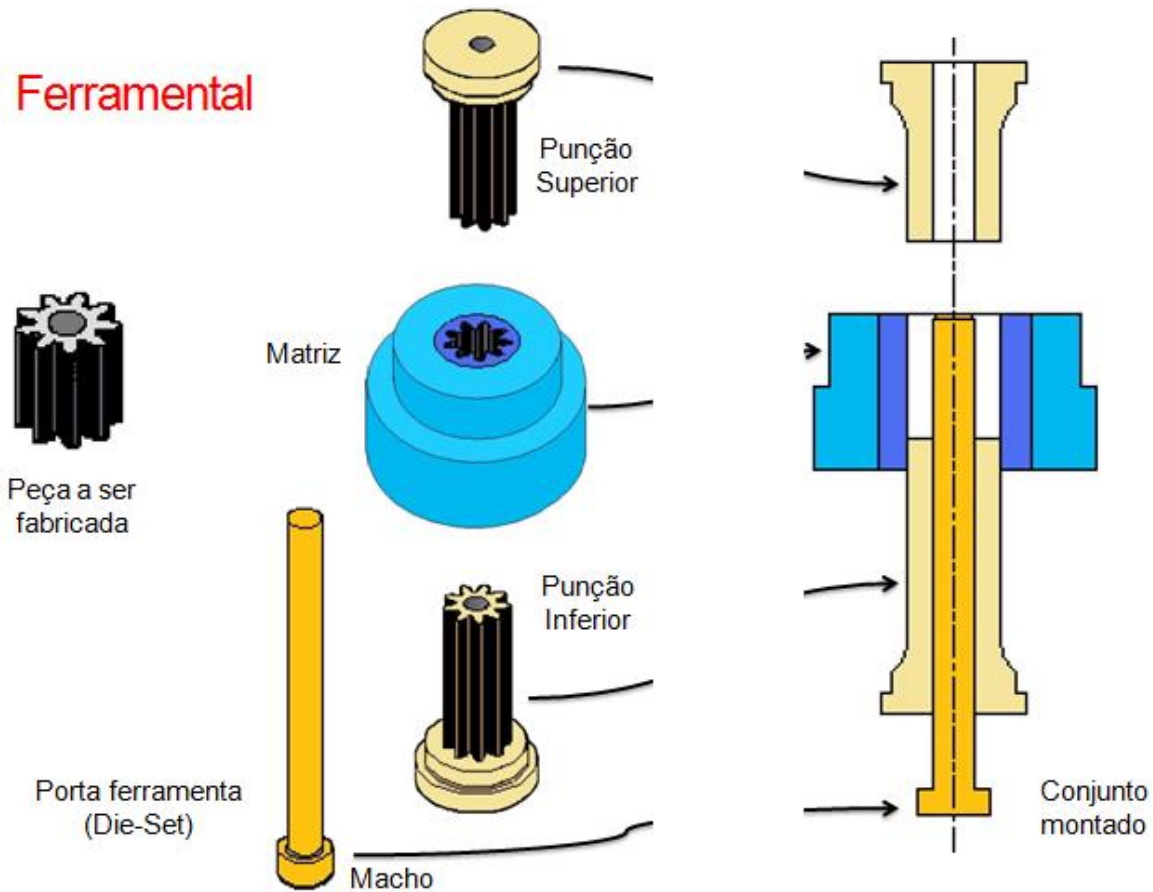
200 a 300
Tons

As hidráulicas
podem
chegar a
5000 tons



A 7.3 MN (825 ton) mechanical press for compacting metal powder. Source: Courtesy of Cincinnati Incorporated.

Ferramental



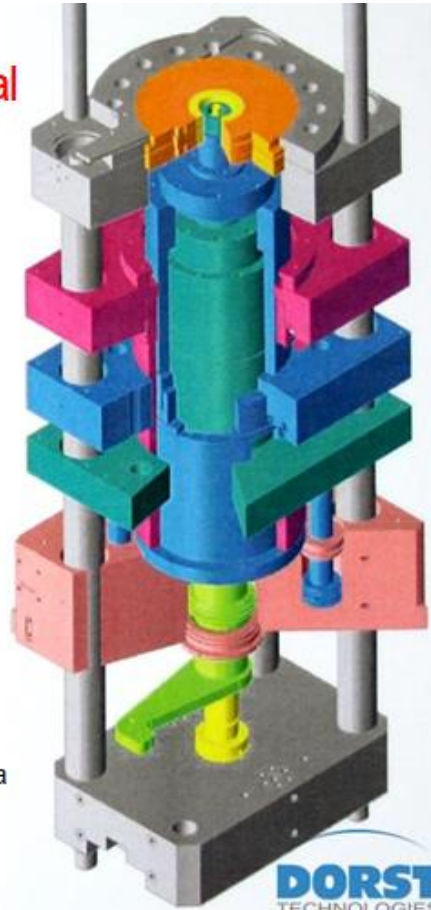
Ferramental

Ferramental



Peça a ser fabricada

Porta ferramenta
(Die-Set)



Ferramental



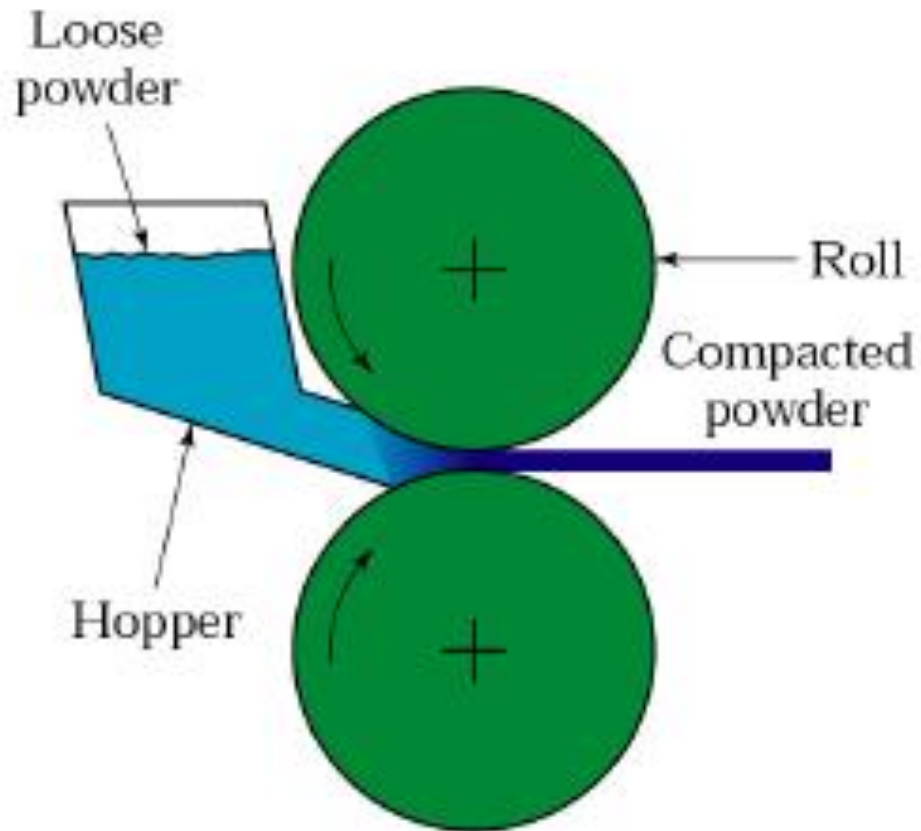
Metalurgia do pó

- Pressão de compactação para diversos tipos de pós

Metal	Pressure (MPa)
Aluminum	70–275
Brass	400–700
Bronze	200–275
Iron	350–800
Tantalum	70–140
Tungsten	70–140
Other materials	
Aluminum oxide	110–140
Carbon	140–165
Cemented carbides	140–400
Ferrites	110–165

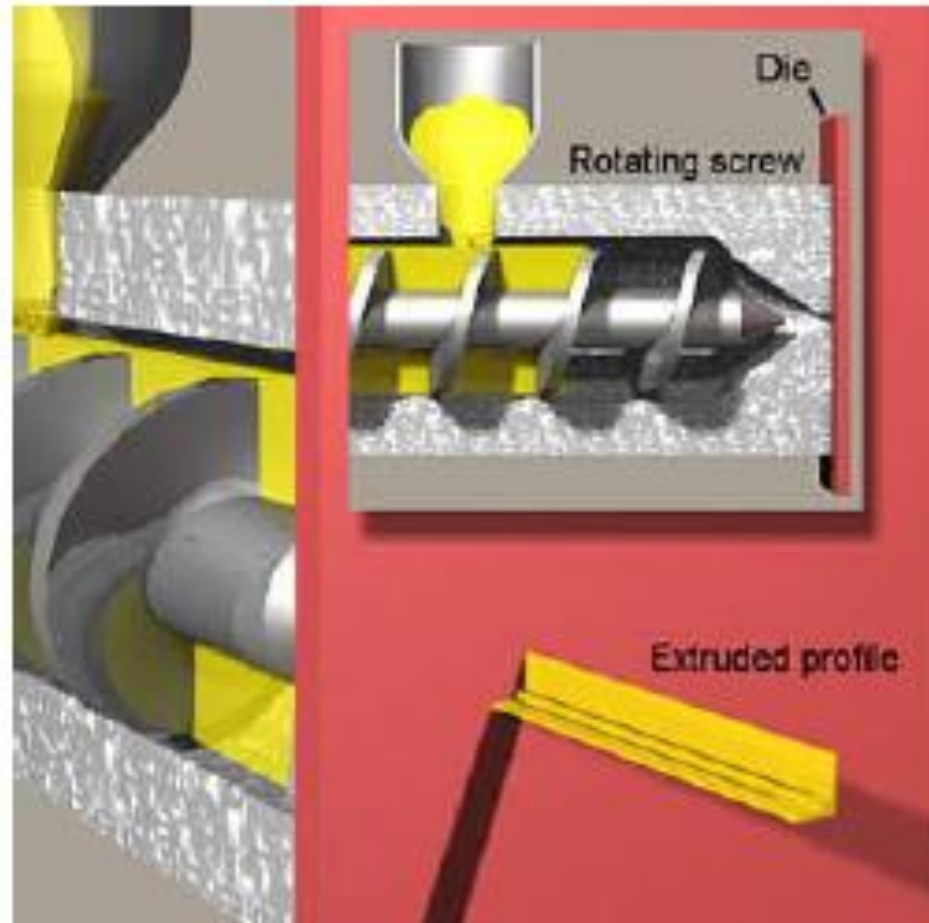
Metalurgia do pó

- Laminação
de pó



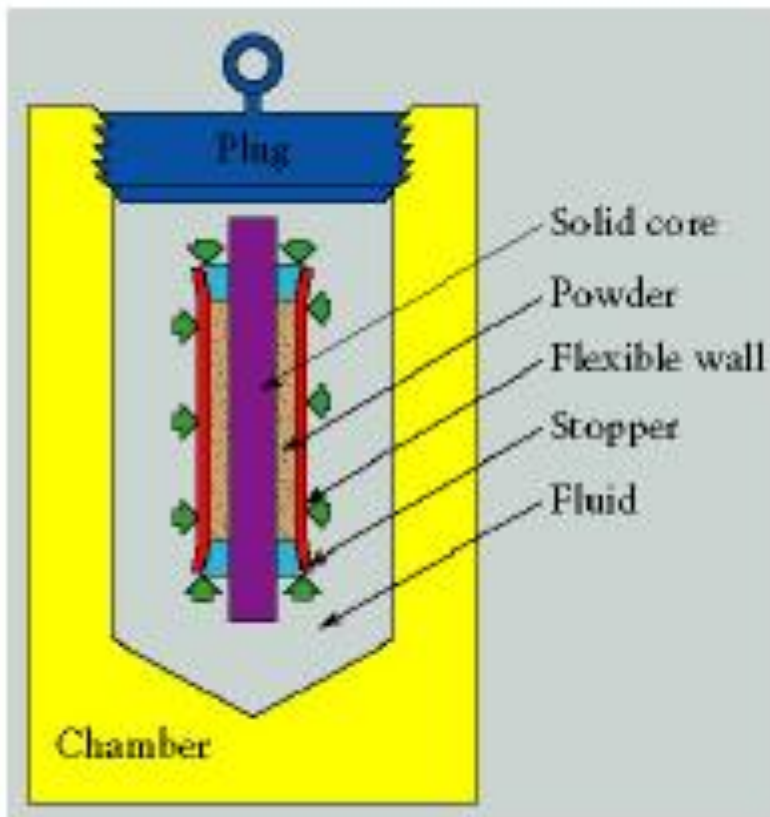
Metalurgia do pó

- Extrusão
de pó



Metalurgia do pó

- Prensagem hidrostática a frio (CIP)



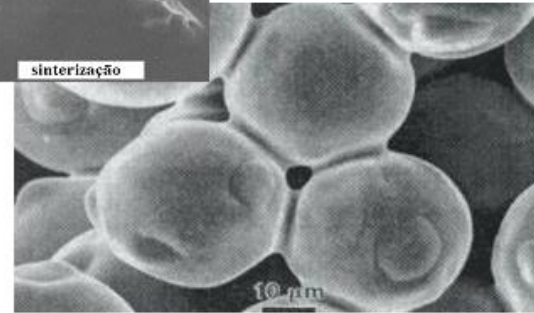
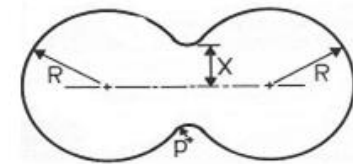
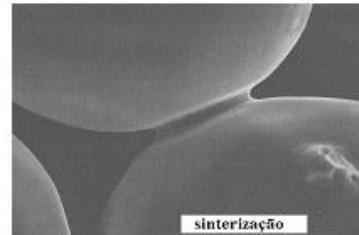
Metalurgia do pó

- Sinterização – *Aquecimento sem fundir o material*

SINTERIZAÇÃO

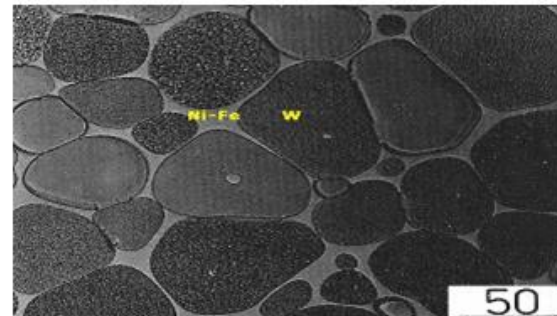
SINTERIZAÇÃO POR FASE SÓLIDA:

“Pescoço” de ligação entre as partículas de Pó



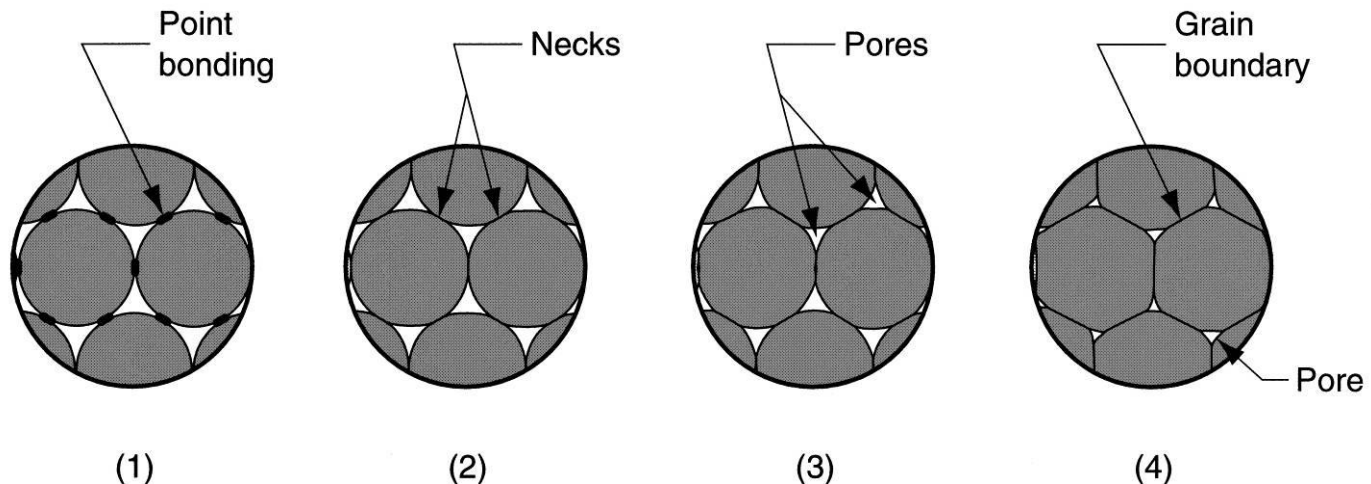
SINTERIZAÇÃO POR FASE LÍQUIDA:

O material com menor ponto de fusão se liquefaz e interconecta a partícula do outro Pó.



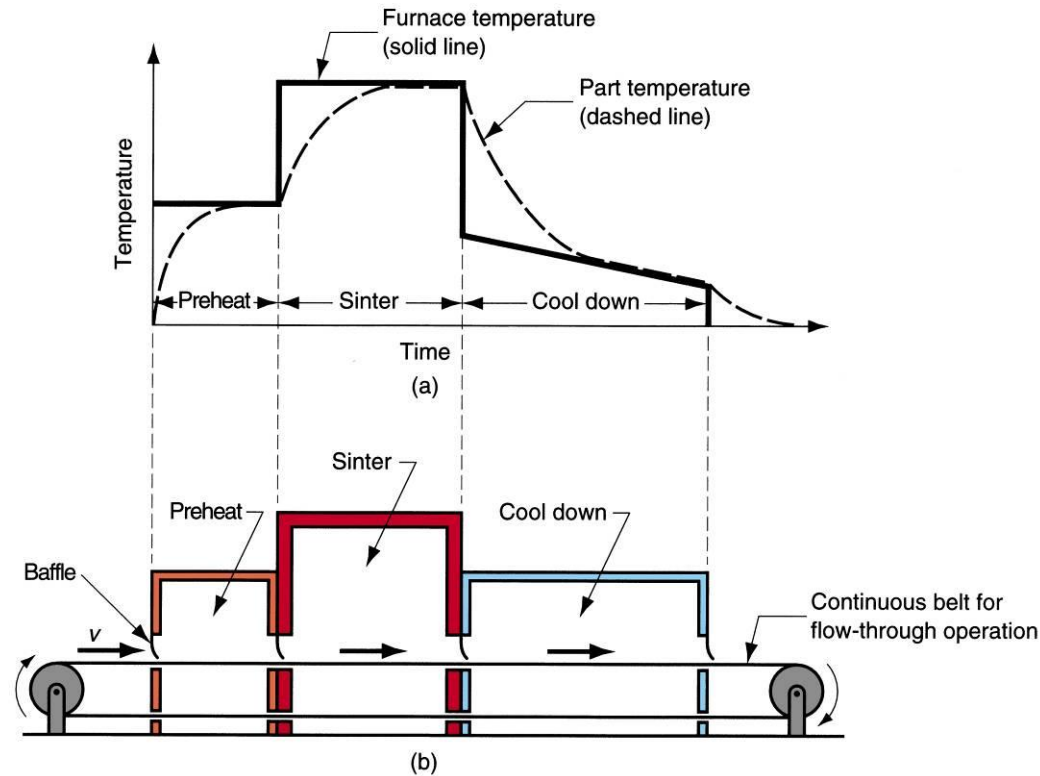
Metalurgia do pó

- Sinterização – *Sequência*



Sintering on a microscopic scale: (1) particle bonding is initiated at contact points; (2) contact points grow into "necks"; (3) the pores between particles are reduced in size; and (4) grain boundaries develop between particles in place of the necked regions.

Ciclo de sinterização e fornos



(a) Typical heat treatment cycle in sintering; and (b) schematic cross section of a continuous sintering furnace.

Metalurgia do pó

- Tempo e temperatura de sinterização para diversos materiais metálicos

Material	Temperature (° C)	Time (Min)
Copper, brass, and bronze	760–900	10–45
Iron and iron-graphite	1000–1150	8–45
Nickel	1000–1150	30–45
Stainless steels	1100–1290	30–60
Alnico alloys (for permanent magnets)	1200–1300	120–150
Ferrites	1200–1500	10–600
Tungsten carbide	1430–1500	20–30
Molybdenum	2050	120
Tungsten	2350	480
Tantalum	2400	480

Metalurgia do pó

- Comparação das propriedades mecânicas para Ti6V4Al

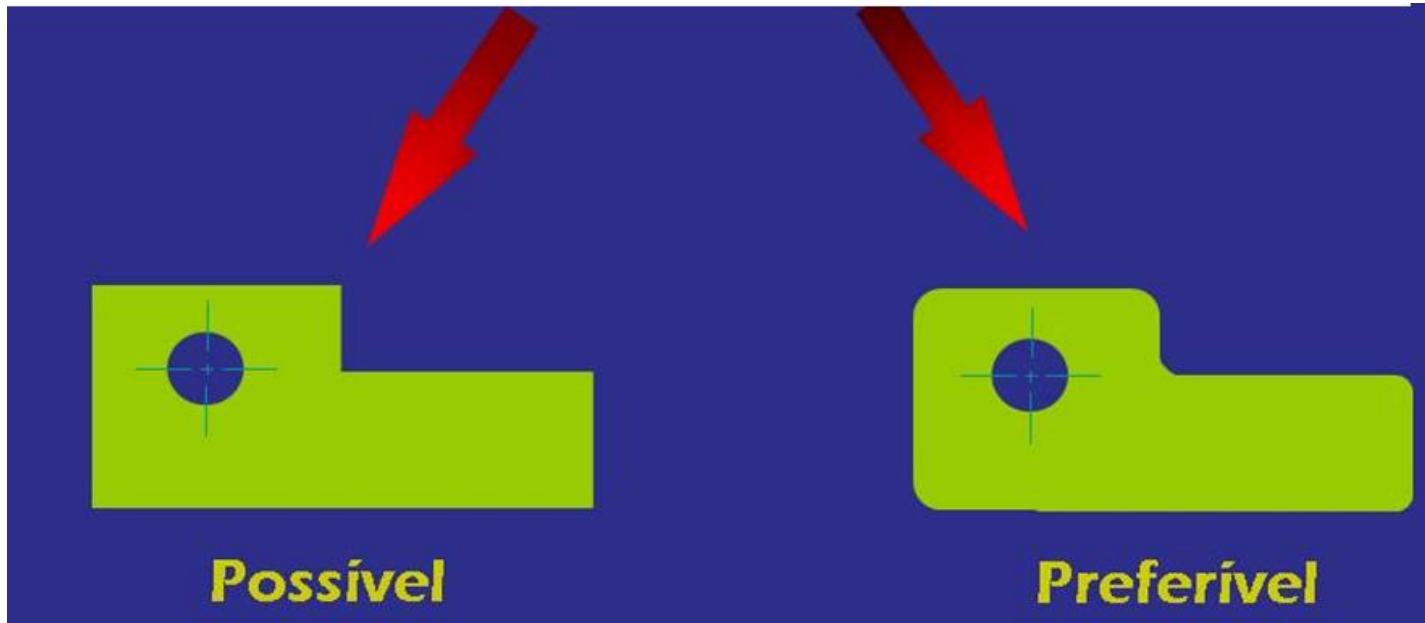
Process(*)	Density (%)	Yield strength (MPa)	Ultimate strength (MPa)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
Cast	100	840	930	7	15
Cast and forged	100	875	965	14	40
Blended elemental (P+S)	98	788	875	8	14
Blended elemental (HIP)	> 99	805	875	9	17
Prealloyed (HIP)	100	880	975	14	28

(*) P+S = pressed and sintered, HIP = hot isostatically pressed.

Source: R.M. German.

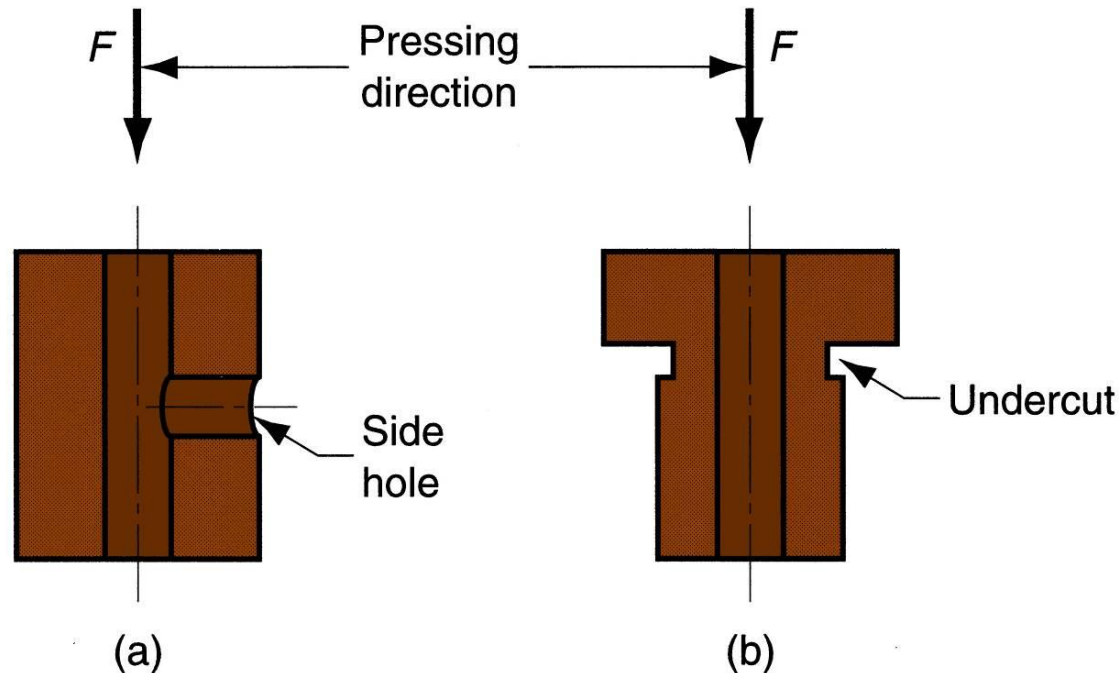
Metalurgia do pó

- Regras para projeto de peças para M/P



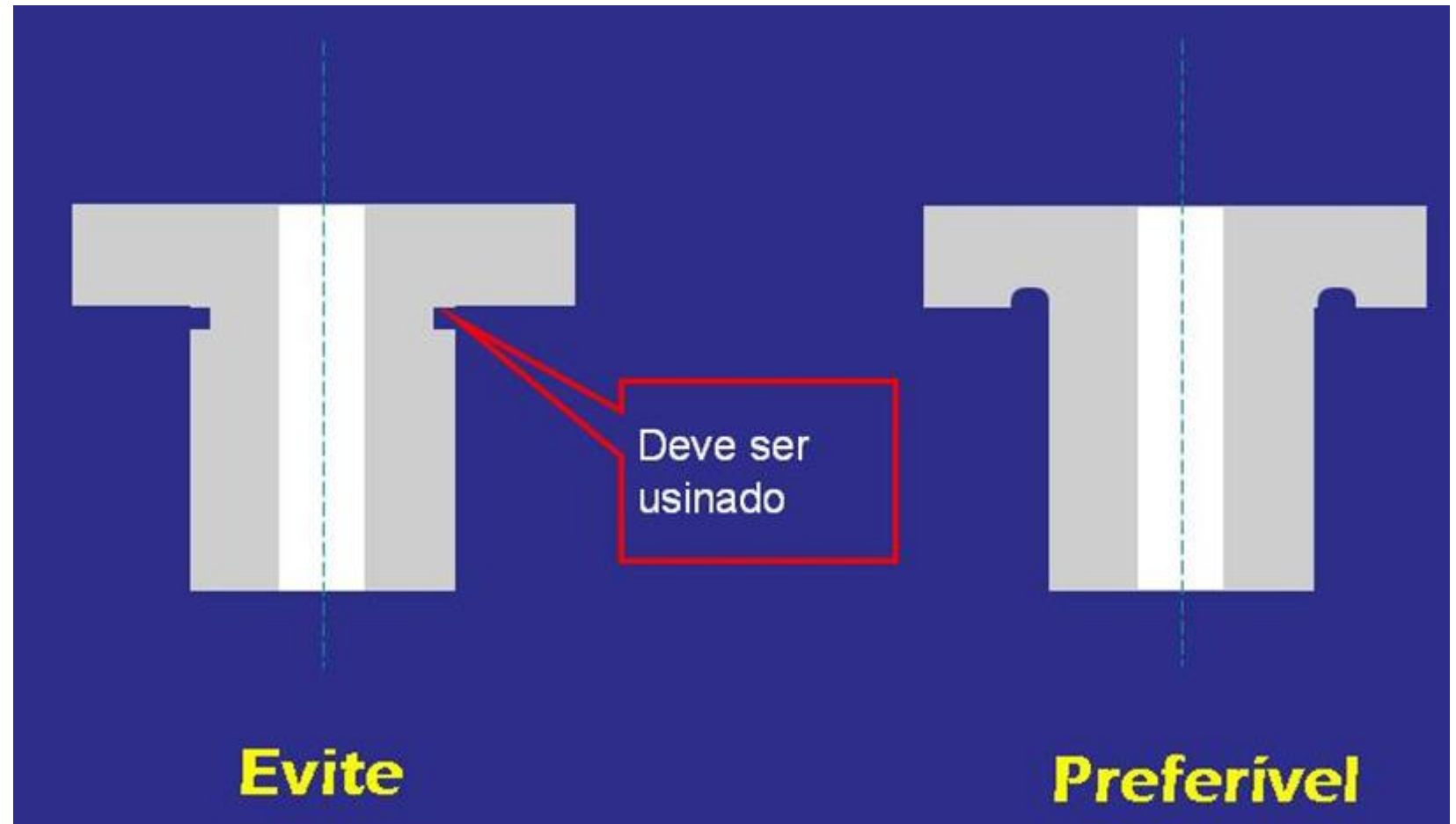
Furos laterais e canal

- Regras para projeto de peças para M/P

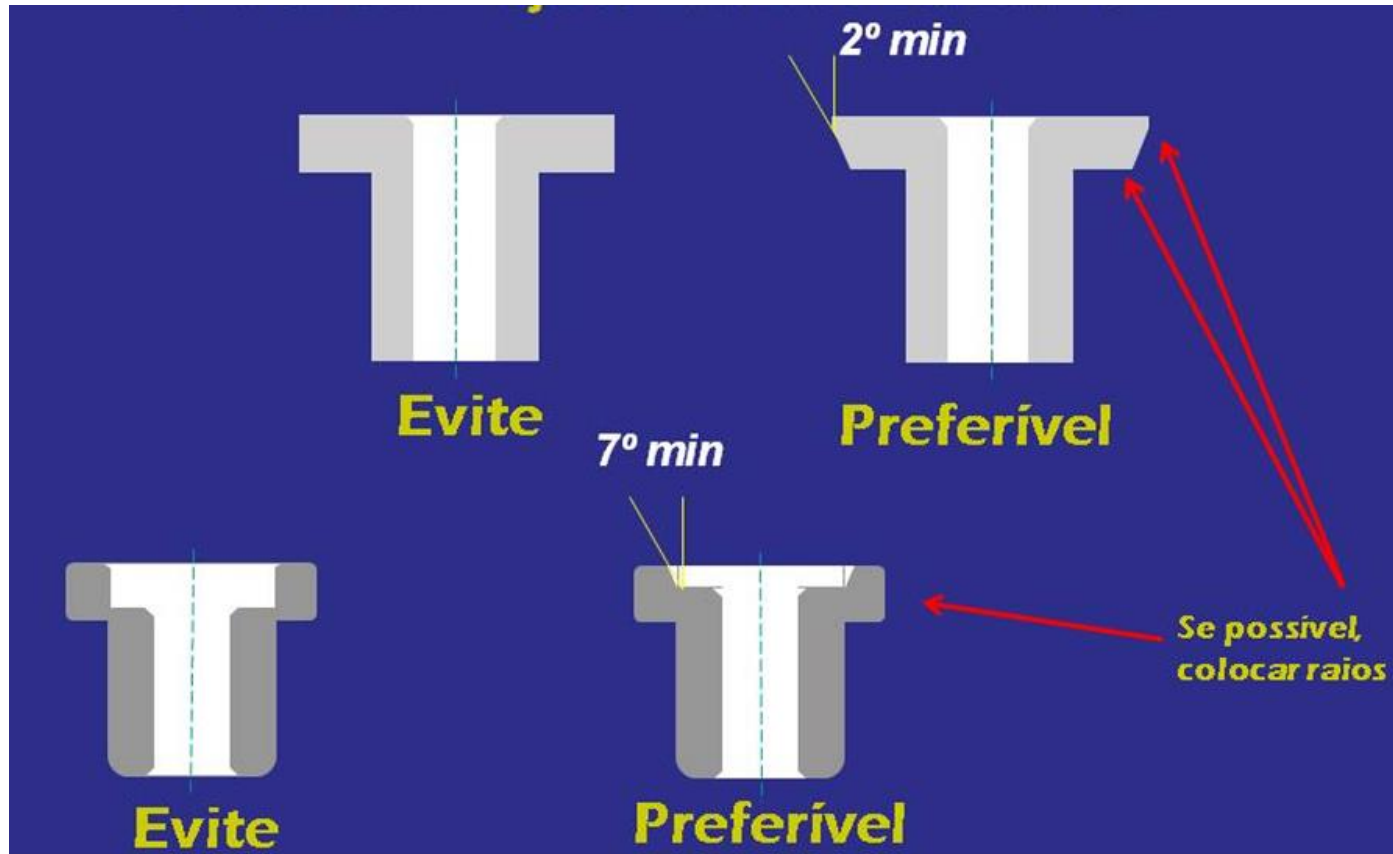


Part features to be avoided in P/M: side holes and (b) side undercuts since part ejection is impossible.

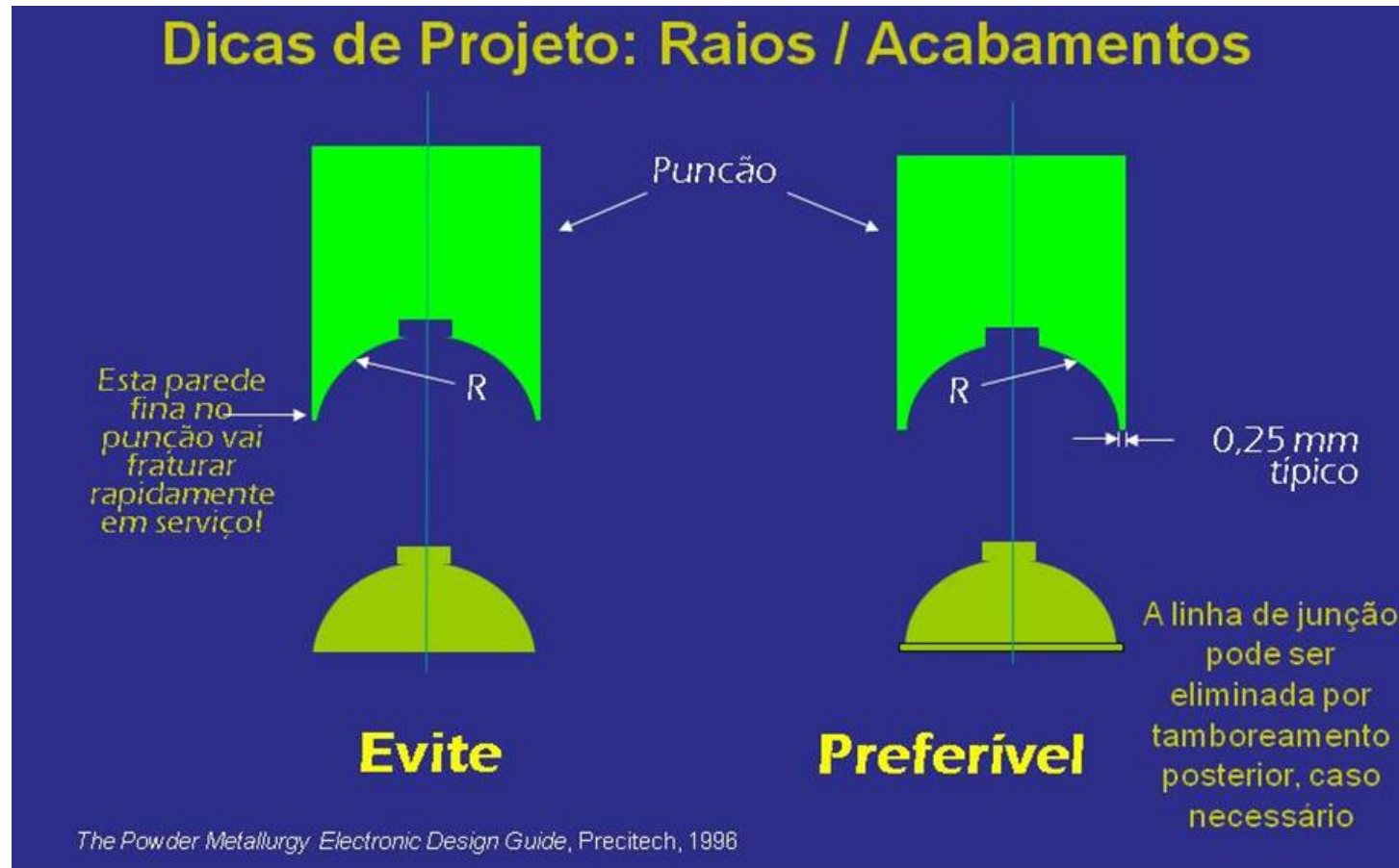
- Regras para projeto de peças para M/P



- Regras para projeto de peças para M/P



Regras para projeto de peças para M/P



Exemplos de conversão

Aplicação:

Automobilística - Caixa de mudanças (câmbio).

Projeto original:

Ferro fundido.

Usinado.

Conversão para o sinterizado:

Aço sinterizado DIN 30910 Sint D39

Compactado, sinterizado, calibrado, usinado.

Comentários:

Redução de custo em função da eliminação de operações de usinagem. Menor variabilidade das propriedades mecânicas e tribológicas.



Garfo de engate do reverso

Exemplos de conversão

Aplicação:

Automobilística – Amortecedor de suspensão.

Projeto original:

Material: aço ABNT 12L14

Processo: usinagem em 4 operações a partir de barra.

Conversão para o sinterizado:

Material: aço sinterizado MPIF F-0005-15

Processo: compactação, sinterização, usinagem (1 operação), ferrox.

Comentários:

Vantagens na maior precisão dimensional e eliminação da operação de lavagem antes da montagem da peça.



Arruela suporte