

PMR3101 – INTRODUÇÃO À MANUFATURA MECÂNICA

Aula 8: METALURGIA DO PÓ (SINTERIZAÇÃO)



A Metalurgia do pó (sinterização), vem a ser um processo de manufatura de peças metálicas ferrosas e não ferrosas.

Basicamente, os pós metálicos são configurados (moldados) a frio em ferramental apropriado com posterior aquecimento sob condições controladas a temperaturas abaixo do ponto de fusão do metal base para promover **ligação metalúrgica entre as partículas.**

Definição

Ramo da engenharia voltado a produção de pós (metálicos, cerâmicos, entre outros) e a fabricação de peças acabadas ou semiacabadas (*near net shape*) através da mistura de pós para a obtenção de ligas ou compósitos.

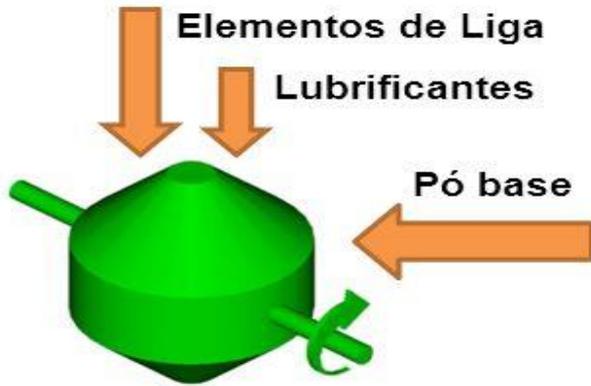


- **Etapas de Fabricação:**

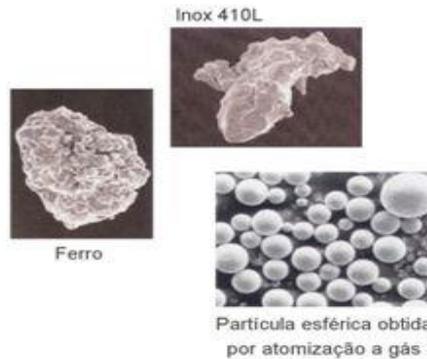
- **Obtenção dos pós;**
- **Mistura;**
- **Compactação – moldagem;**
- **Sinterização;**
- **Calibração, e**
- **Operações complementares (limpeza, rebarbação, etc.).**



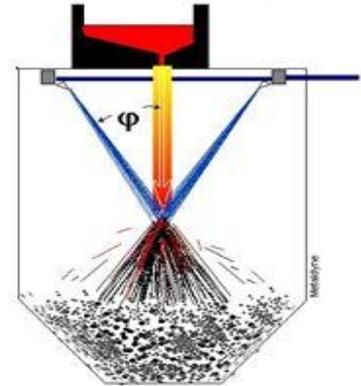
2-Mistura



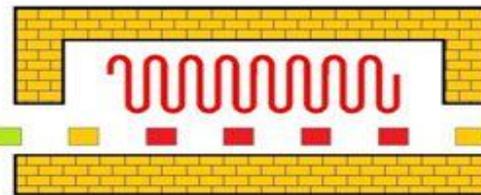
Processo Básico



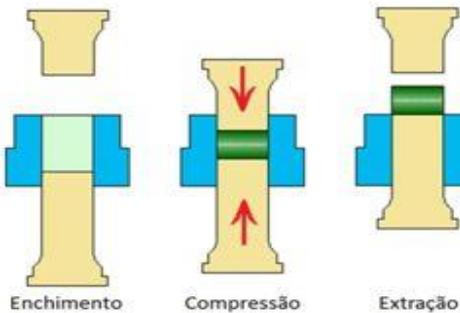
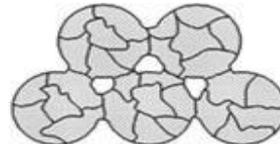
1-Atomização



4-Sinterização



Bronze: 780 - 840°C
Aço: 1050 - 1150°C
Ligação metalúrgica das partículas de pó



3-Compactação

5- OPERAÇÕES COMPLEMENTARES

- Calibragem
- Cunhagem
- Usinagem
- Forjamento
- Tratamento térmico
- Tratamento de superfície
- Rebarbação
- Impregnação
- Infiltração
- Jateamento

5- Produto acabado





Características importantes dos pós metálicos:

- **Forma e o tamanho das partículas individuais: esféricas, aciculares, dendríticas, etc.**
- **Distribuição granulométrica das partículas é outra informação importante.**
- **Os vários métodos de obtenção de pó metálicos conduzem a diversas formas, tamanhos, distribuição e outras características dos pós, sendo imprescindível o domínio do processo de obtenção e caracterização dos pós para se chegar a uma peça final que atenda os quesitos de engenharia.**

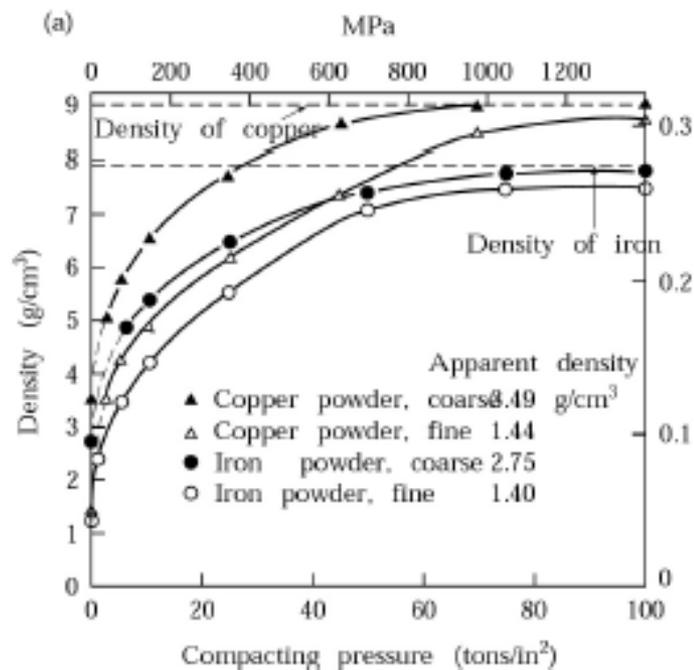


Metalurgia do pó

Compactação

Densidade a verde

- A densidade a verde depende da pressão aplicada
- Um fator importante são o tamanho e a forma das partículas
- Se todas as partículas forem do mesmo tamanho, então a porosidade sempre será maior.



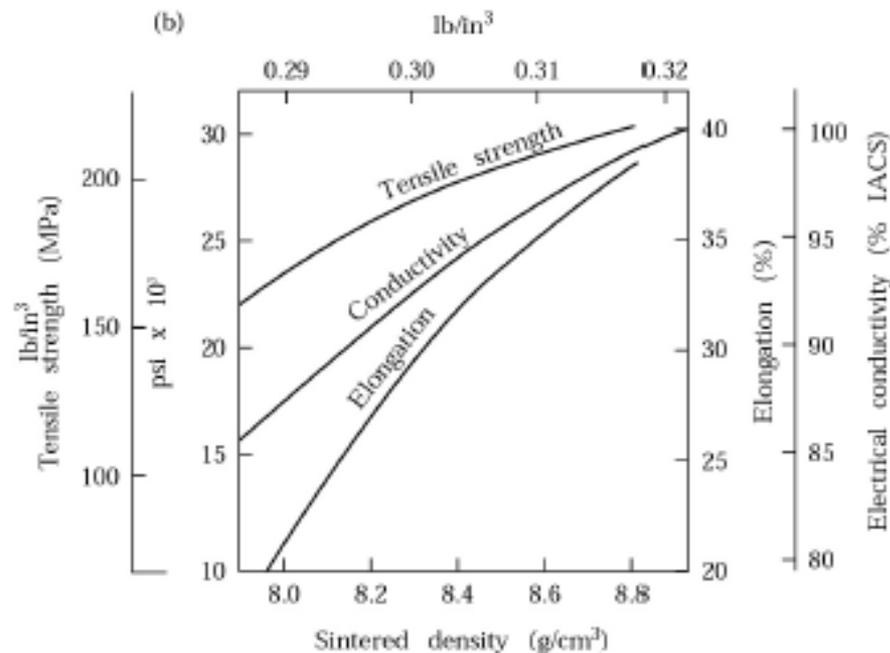


Metalurgia do pó

Compactação

Densidade, resistência e Módulo de Elasticidade

Quanto maior a densidade, maior a quantidade de material no mesmo volume maior a resistência e o Módulo de Elasticidade.



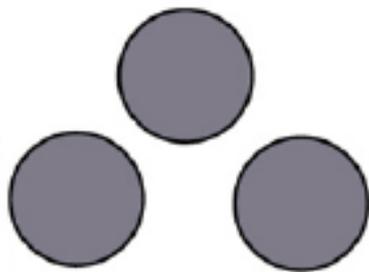
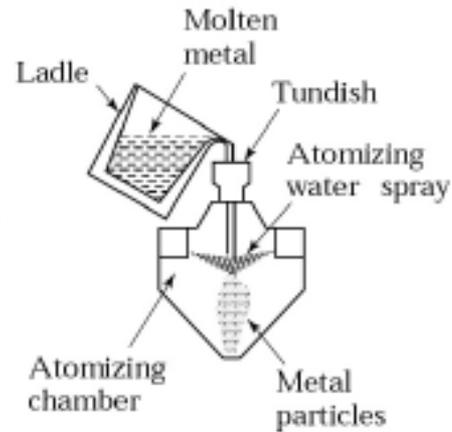


Metalurgia do pó

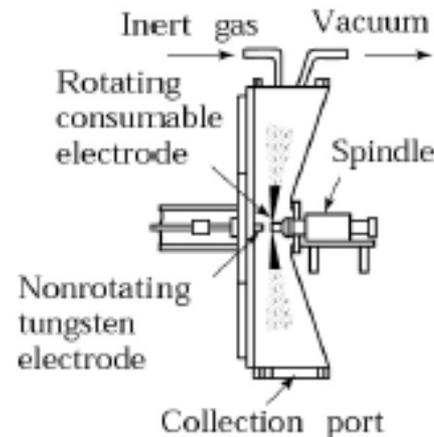
Produção dos pós



Atomização



Formas dos pós



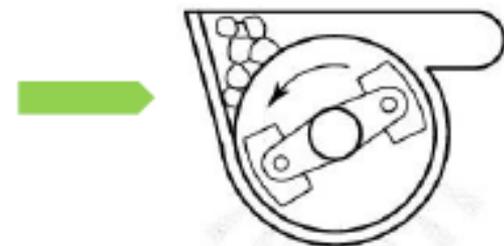
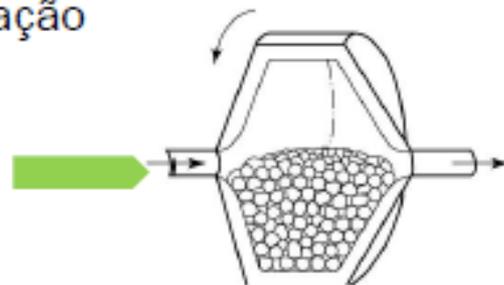


Metalurgia do pó

Produção dos pós

Cominuição mecânica ou pulverização

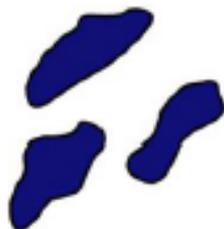
Processo de obtenção de pós que envolve o esmagamento por rolos, moinhos, moinhos de bolas. Para materiais frágeis ou de baixa ductilidade utiliza-se a retificação



Formas dos pós



irregular com cantos angulares



irregular com cantos arredondados



Flocos irregulares



Metalurgia do pó

Sinterização

Tipos

Sinterização por fase sólida

A temperatura promove a união das partículas do pó. Isto ocorre a temperaturas abaixo do ponto de fusão do material, porém suficiente para criar um "pescoço" de ligação entre as partículas de pó.

Sinterização por fase líquida

Outra maneira de sinterizar-se o material é utilizando-se dois materiais com ponto de fusão diferentes. O material com menor ponto de fusão se funde e interconecta as partículas do outro pó.

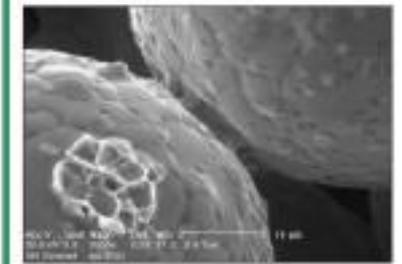
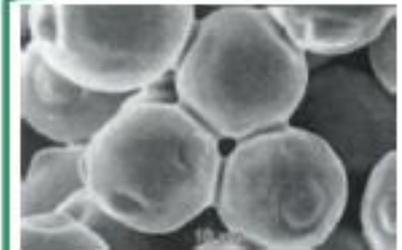
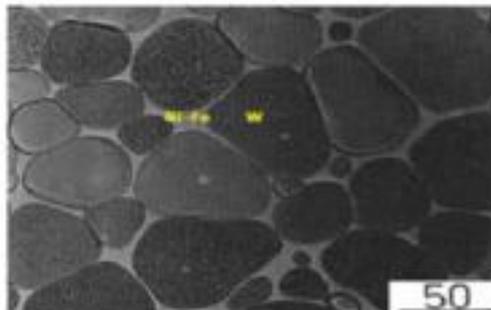


FIGURE 5. Electron micrograph showing a bimodal powder through sintering to give predictable strength and dimensions. Source: Lecture Notes by Ashby, 2003.



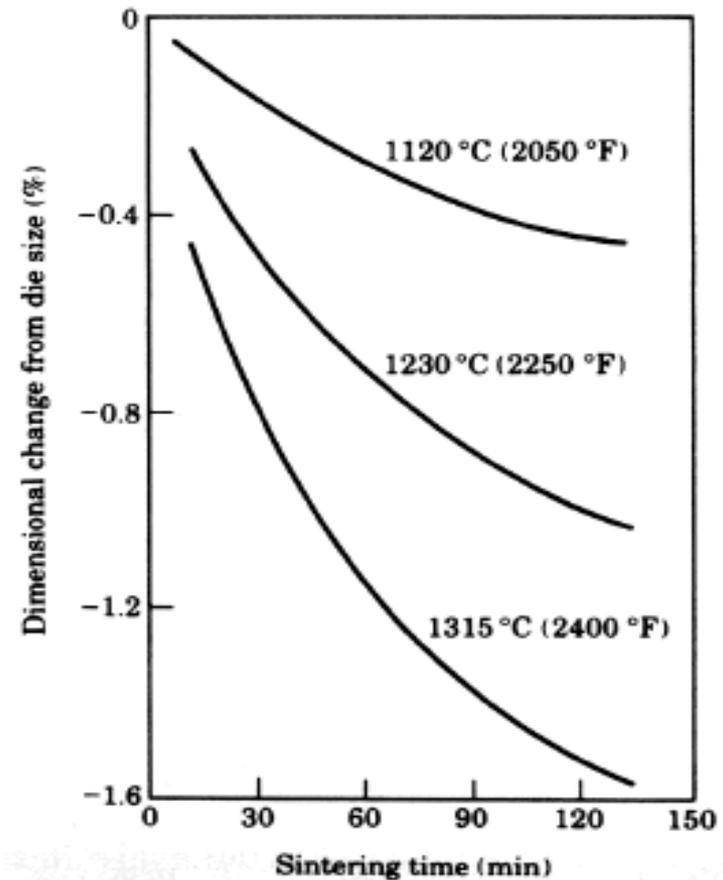
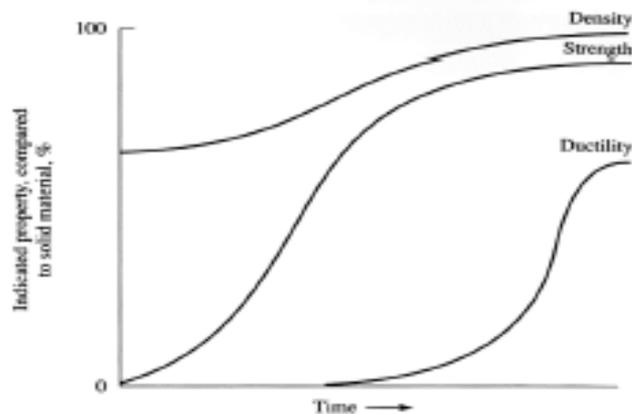
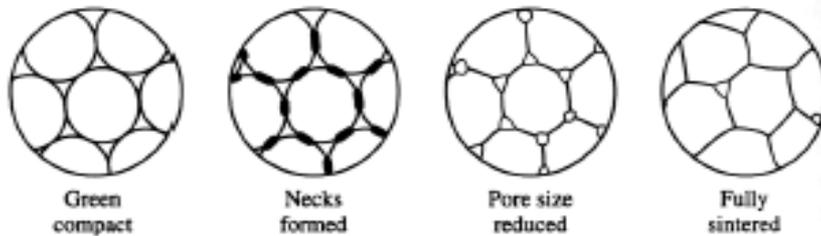
50



Metalurgia do pó

Sinterização

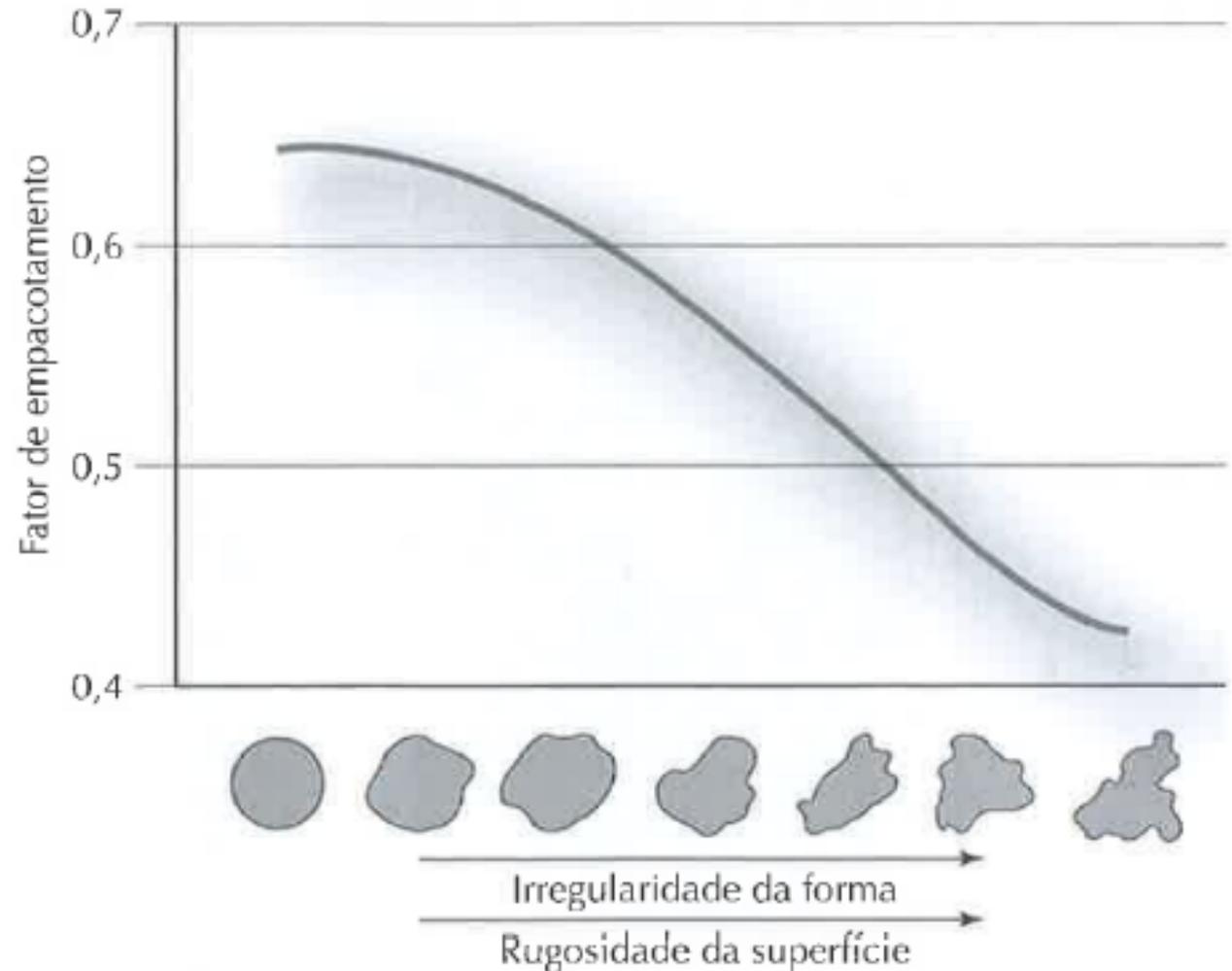
Variações dimensionais, contração do material durante a sinterização





Compactação

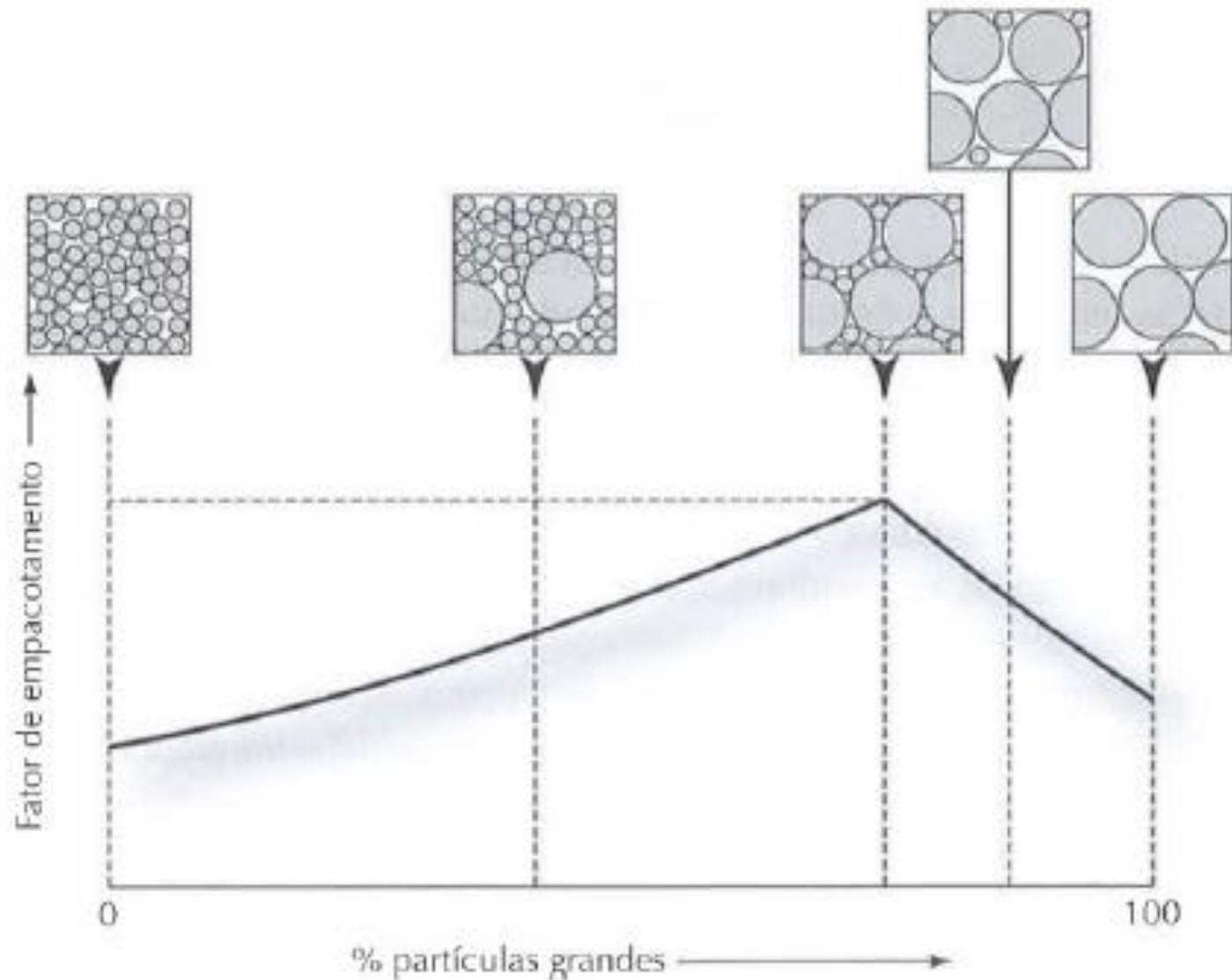
Fator de empacotamento de partículas de mesmo tamanho de acordo com a sua rugosidade superficial e irregularidade de forma.





Compactação

Fator de empacotamento de uma mistura homogênea entre partículas esféricas de tamanhos diferentes de acordo com a quantidade relativa entre elas.





A composição química desejada para o produto final é bastante controlável na metalurgia do pó:

Pós de diferentes metais podem ser misturados nas proporções especificadas, pode-se partir diretamente de pós pré-ligados ou pode-se, ainda, misturar pós pré-ligados a pós de metais, para se chegar à composição desejada.

Essa grande versatilidade no manuseio e combinação de pós diferentes é uma das grandes vantagens de metalurgia do pó, visto que uma gama enorme de composições químicas pode ser obtida industrialmente através dessa técnica.



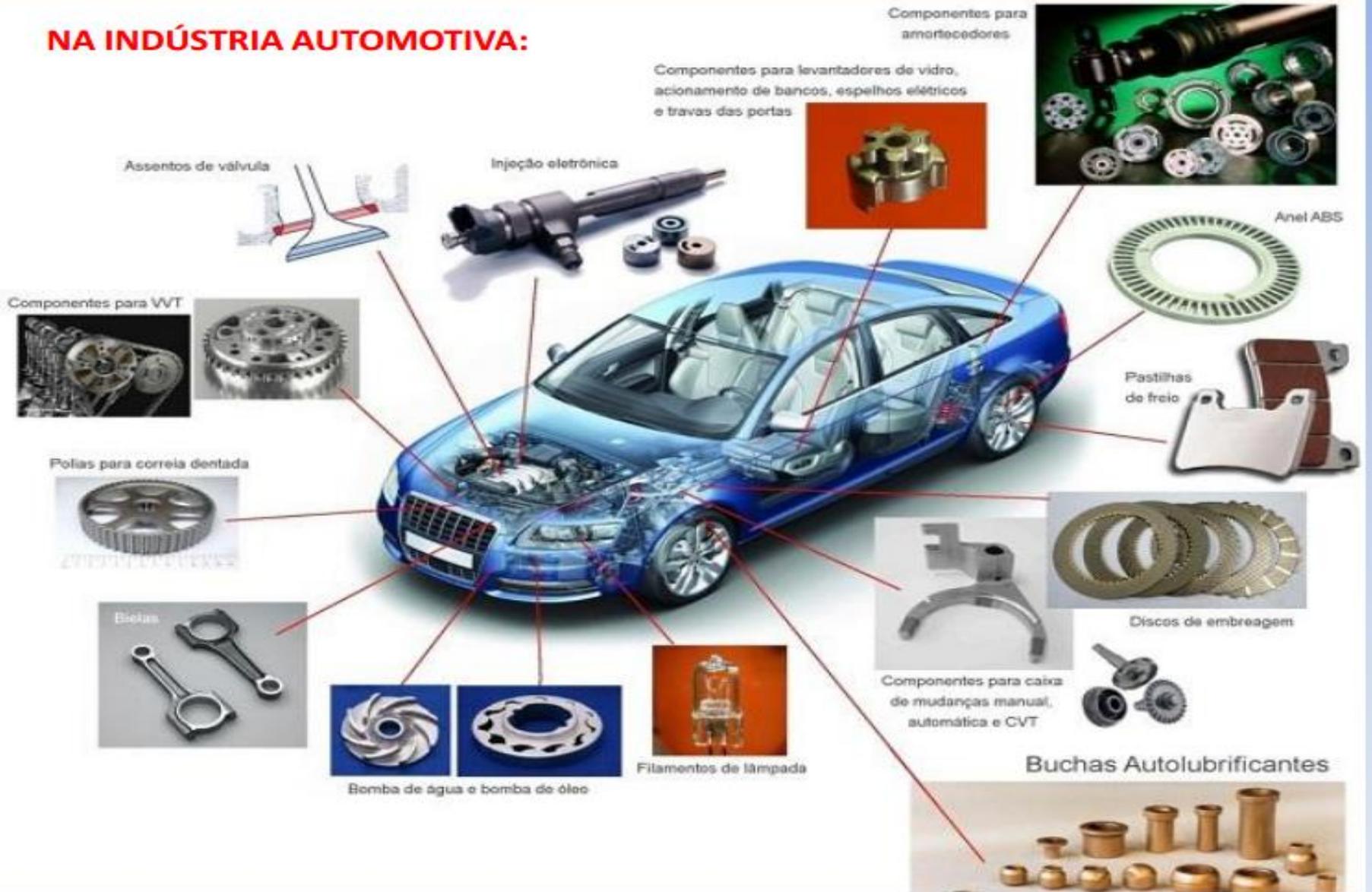
Fabricação por Metalurgia do Pó

A Metalurgia do Pó é um processo de conformação metálica que possui um vasto campo de aplicações que inclui, por exemplo, a fabricação de peças para componentes automotivos, eletrodomésticos, ferramentas de corte, ferramentas elétricas, fabricação de braquets para aparelhos dentários entre outros.





NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA:



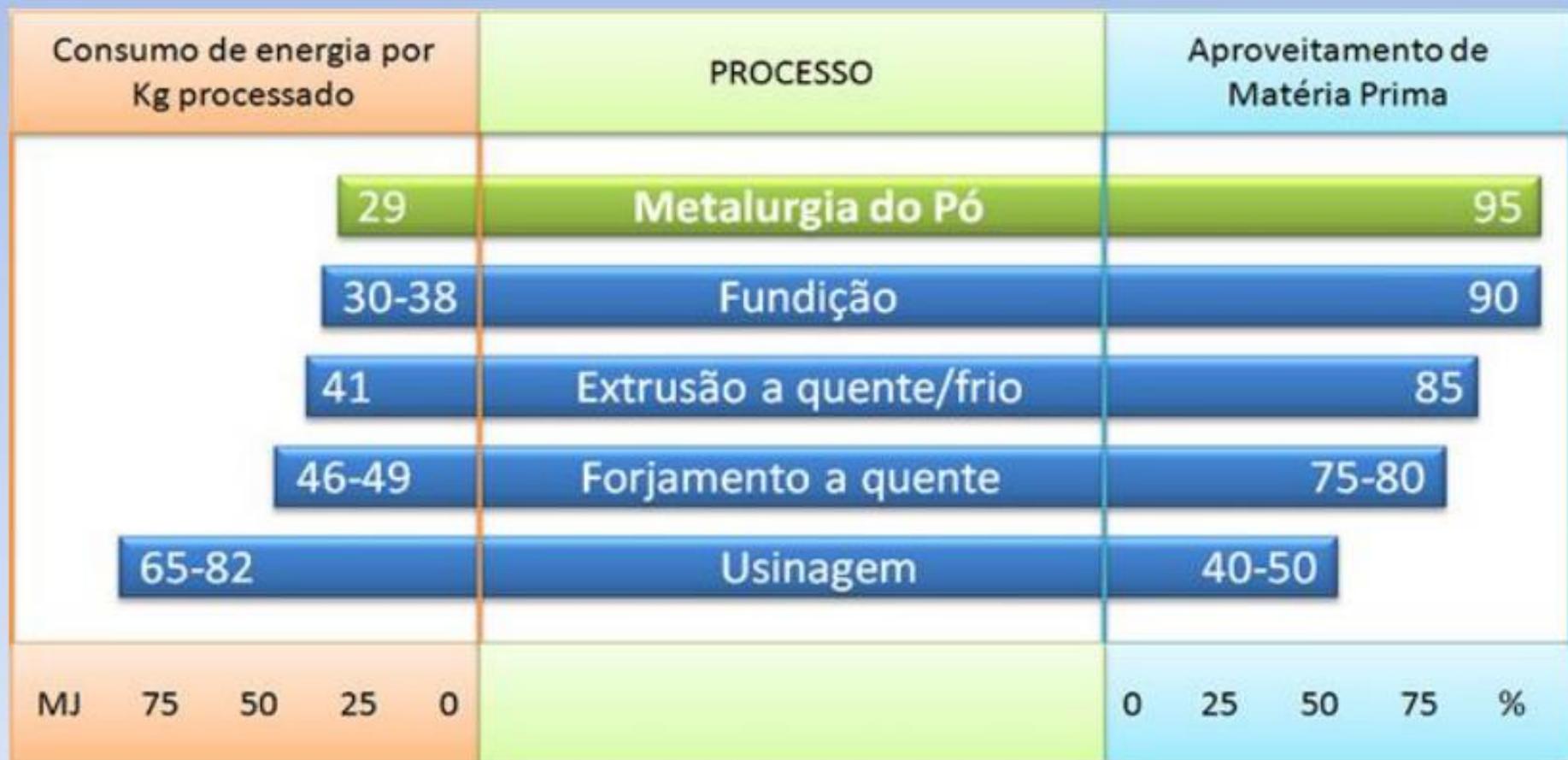


Vantagens da Metalurgia do Pó

- Baixo custo para produção de peças em larga escala e um baixo impacto ambiental quando comparada com as tecnologias concorrentes, pois exige um menor consumo de energia de transformação.
- Alto aproveitamento da matéria prima, geralmente acima de 95%.
- Permite a fabricação de peças com formas complexas
- Obtenção de peças com as tolerâncias finais necessárias para aplicação direta no produto do cliente.
- Vantagens associadas à sua porosidade intrínseca são muito bem exploradas como lubrificação e filtragem, mas é seu custo menor a sua grande vantagem quando comparada a outros processos.



Comparativo: consumo energético e aproveitamento da matéria-prima.





TOLERÂNCIA GEOMÉTRICA

1- Warm Compaction; 2P2S ; Sinterforjado ; HIP
2- Sinterizado usinado / retificado

Resistência





RESISTÊNCIA MECÂNICA

Aço Sinterizado
(7,3 a 7,86 g/cm³)

Aço
Usinado

Aço Sinterizado
(5,6 a 7,2 g/cm³)

Ferro-fundido
Nodular

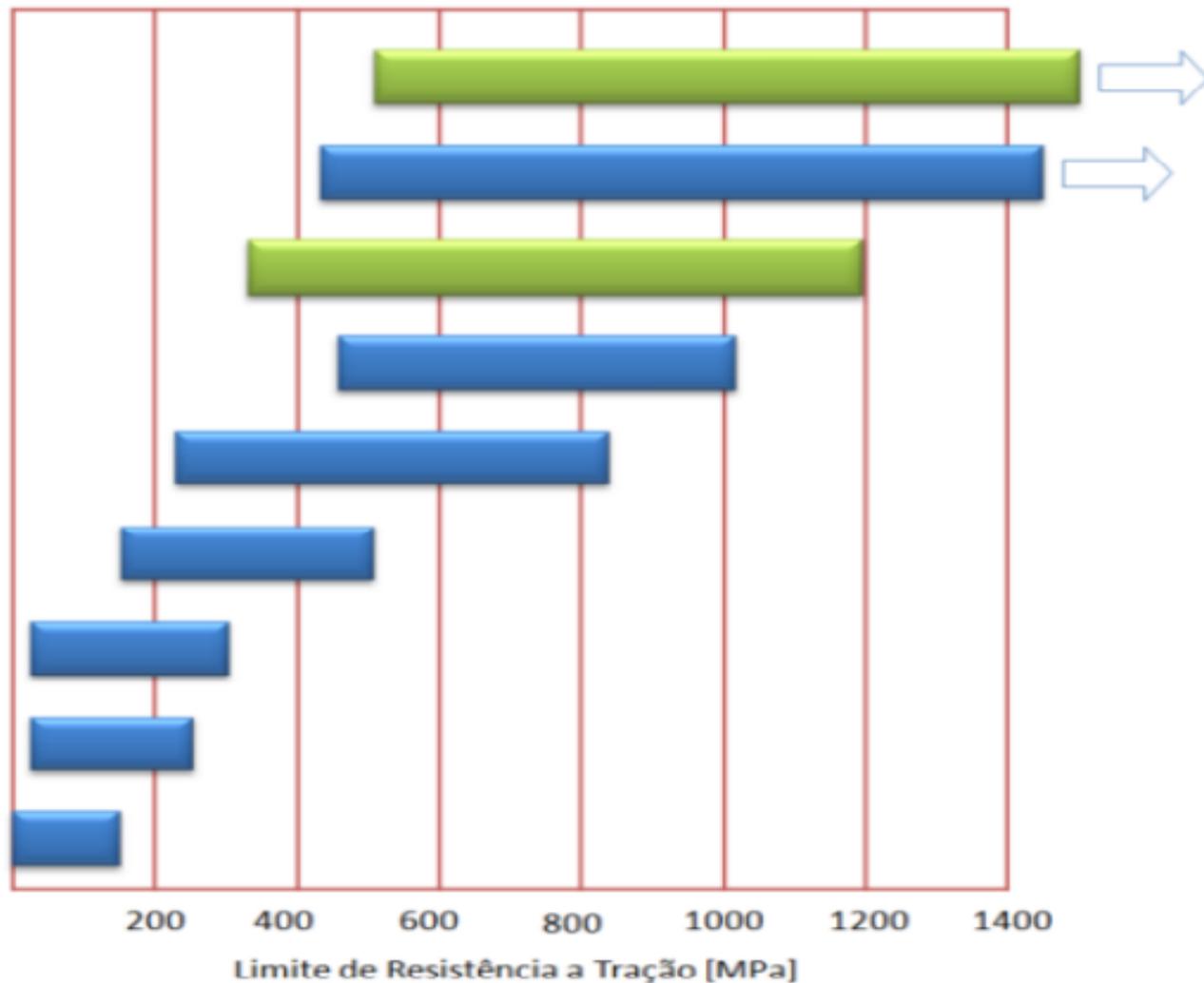
Fundidos de
ligas de Cobre

Ferro-fundido
Cinzento

Fundidos de
Alumínio

Fundidos de
ligas de Zinco

Plástico
injetado





Exemplos de mercados e produtos que utilizam a Metalurgia do Pó

- Metal duro.
- Aços ferramenta e aços rápidos.
- Inseto para assentos de válvula.
- Filtros metálicos sinterizados.
- Materiais de fricção.
- Materiais Cerâmicos.
- Filamentos de tungstênio para lâmpadas.
- Contatos Elétricos.
- Escovas Elétricas de Metal-Grafite.
- Eletrodos de solda à resistência.
- Eletrodos para solda a arco.
- Materiais Supercondutores.
- Imãs.
- Aplicações médicas e dentárias.
- Alimentícia e Farmacêutica





ESTUDOS DE CASOS

Exemplos de casos de conversão para a metalurgia do pó de peças estruturais que eram antes fabricadas por outros processos tais como usinagem, fundição, microfusão, forjamento, estampagem, trefilação ou laminação, dentre outros. (site www.metalurgiadopo.com.br.)

De forma resumida, os benefícios obtidos nestas conversões foram:

- Melhora no desempenho do produto final
- Maior precisão dimensional
- Melhora da resistência mecânica
- Melhora das propriedades tribológicas
- Propriedades autolubrificantes
- Eliminação de processos poluentes
- Redução do ruído
- Redução do número de etapas de fabricação
- Redução do número de componentes na peça
- Redução do tempo de fabricação
- Redução do peso final e Redução de custos



Caso 1: Anel para freio ABS

Aplicação: Automobilística - Sistema de freio ABS.

Projeto original: Material: aço SAE 1020

Peça fabricada a partir de dois componentes estampados.

Processo: estampagem, montagem com rebites, usinagem e cromatização.

Conversão para o sinterizado:

Material: aço sinterizado DIN D35

Processo: Compactação, sinterização, usinagem, rebarbação, ferrox e zincagem.

Comentários: Vantagens em redução de peso e melhor precisão dimensional, importante na montagem do conjunto.





Caso 2: Anel sincronizador

Aplicação: Automobilística - Caixa de transmissão.

Projeto original: Material: latão

Processo: forjado e usinado (2 operações).

Conversão para o sinterizado:

Material: aço sinterizado MPIF FN-0208-35

Processo: compactação, pré-sinterização, recompactação, sinterização, usinagem (1 operação) e carbonitreção.

Comentários: Vantagem no aumento da resistência mecânica do componente.





Caso 3: Tampa da polia

Aplicação: Automobilística

- Tampa da polia do alternador

Projeto original: Material:
aço SAE 1020.

Peça fabricada a partir de dois
componentes usinados.

Processo: porca – usinagem (2 operações), recartilagem.
corpo – usinagem (5 operações), montagem da porca por
interferência.

Conversão para o sinterizado:

Material: aço sinterizado MPIF F-0005-20

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

Comentários: O componente foi reprojetoado para adaptação ao sinterizado. Originalmente feito em duas peças e com várias operações de usinagem, em sinterizado é feito em uma só peça com ganho da operação de montagem e da qualidade do conjunto.





Caso 4: Engrenagem

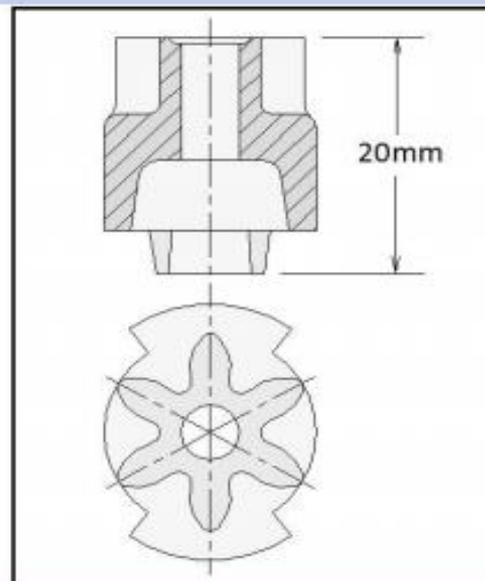
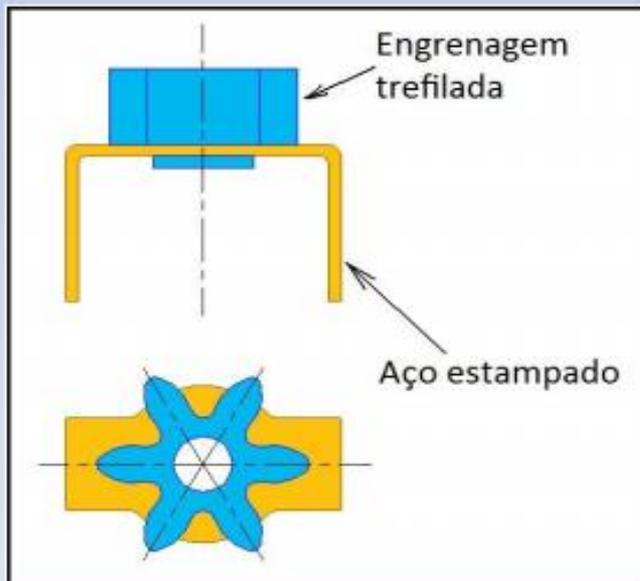
Aplicação: Automobilística - Engrenagem

Projeto original: - Chapa estampada: Estampado, cromatizado.

-Aço trefilado: Trefilado, usinado, cementado e

-tratado térmicamente.

As duas peças são montadas por interferência.



EXERCÍCIO PARA PRÓXIMA AULA (03/11/20)

Pesquise um componente de um automóvel produzido por processo convencional e faça um estudo para substituição do processo pela metalurgia do pó. Use como exemplo os estudos de casos apresentados no arquivo anexo.

- vale para nota e presença da aula 8**
- Fazer em grupo, mesmo grupo dos Labs.**





- REALIZAR UM ESTUDO DE CASO DE APLICAÇÃO DA METALURGIA DO PÓ:
- DEFINIR TODOS OS PARAMETROS DE PROCESSAMENTO: TIPO DE PÓ (MATERIAL E GRANULOMETRIA); OBTENÇÃO DO MATERIAL EM VERDE; CONDIÇÕES DE SINTERIZAÇÃO (TEMPERATURA, PRESSÃO, ETC.); OPERAÇÕES COMPLEMENTARES DE ACABAMENTO.

Vídeo complementar sobre o processo de sinterização:
https://www.youtube.com/watch?v=I39m28NZ7_s

