


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




**PRO 3610 – Métodos e Meios de Produção**


**Transformação de material em estado sólido**

**Prof. Dr. Fausto L. Mascia**

1



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



Fabricação de produtos sólidos sintéticos usando aquecimento controlado de matérias primas em pó.

Processos baseados na compactação de material particulado.

Processos

- Sinterização
- Prensagem isostática a quente
- Prensagem isostática a frio

2



### Sinterização

Volumes de produção variável.

Aproveitamento do material. Não há desperdício de material (eliminação na usinagem).

Processo sem pressão mais demorado – passagem das peças em forno.

Bom acabamento superficial. Dificuldades para controle de tolerâncias – encolhimento das peças.

Tamanho restrito ao molde/prensa.

Aplicação: mancais que tem função de lubrificação.

3



### Sinterização - Materiais

Ligas de ferro


Ligas de alumínio

Cobre


Magnésio



4



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Sinterização

Processo usado para obter alta densidade de peças feitas de materiais com elevado ponto de fusão, com porosidade controlada.


Aquecimento de material particulado até uma temperatura (um pouco inferior ao ponto de fusão) até que as partículas se unam.

- Sinterização sem pressão**
- Sinterização com pressão**
- Sinterização por centelha**

5



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



## Sinterização

**Sinterização sem pressão** – o pó é colocado em molde, aquecido e sinterizado.

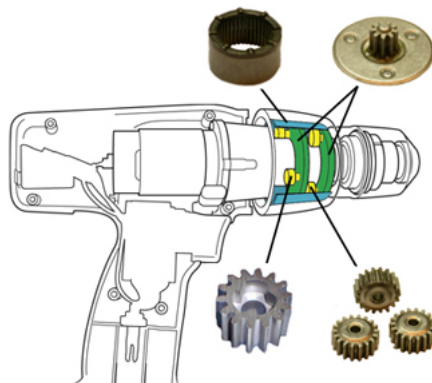
**Sinterização com pressão** – material colocado em molde, vibração, aquecimento e aplicação de pressão hidráulica ou mecânica.

**Sinterização por centelha** – corrente elétrica em pulsos passa no interior do molde e gera calor.

6



### Sinterização



7



### Sinterização



8

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção






### Sinterização



- 1 – engrenagem elevador
- 2 – engrenagem furadeira de impacto
- 3 – estabilizador – serra elétrica
- 4 – trava
- 5 – biela de bomba
- 6 – cilindro de ferramenta pneumática

9

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

### Prensagem isostática a quente

Também conhecido como metalurgia do pó.

Calor e pressão + gases (Ar, N) aplicados ao material – resulta peças sem porosidade. Pressão aplicada por igual em todos os lados. Microestrutura uniforme.

Volumes de produção – indicado para < 10.000 peças

Custos de preparação elevados. Velocidade de produção lenta.

Formas simples e complexas são possíveis.

Tolerâncias pouco precisas.

10



### Prensagem isostática a quente



11



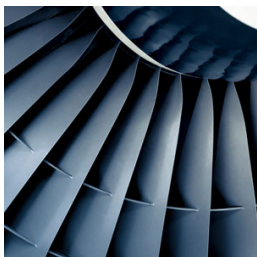
### Prensagem isostática a quente



12



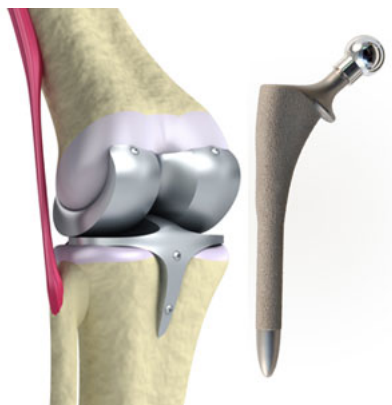
### Prensagem isostática a quente



13



### Prensagem isostática a quente



14



### Prensagem isostática a frio

Material é colocado em bolsas (molhadas ou secas) e prensado.

Possível produzir grandes quantidades; ferramental caro.

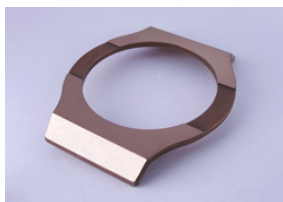
Diferentes complexidades de forma possíveis.

Formas simples não necessitam de acabamento.

15



### Prensagem isostática a frio



16





### Prensagem isostática a frio



17



### Prensagem isostática a frio



18



### Moldagem por compressão

Mais usado com **cerâmica** e **plásticos termofixos**, compósitos de plásticos reforçados com fibras.

Indicado para lotes grandes ou pequenos. Baixo custo unitário, custo ferramental inferior a outros processos que utilizam material plástico.

Tamanho da peça determina o tempo de produção. Em geral peças em torno de 300 mm.

Ideal para produção de peças que necessitam de seções grandes, sólidas e de parede espessa.

Bons resultados para produção de formas planas.

19



### Moldagem por compressão - termofixos



20

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção






### Moldagem por compressão - cerâmicas






21

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

### Moldagem por transferência

Alternativa à moldagem por compressão com benefícios da injeção.

Utilizados para fazer moldados grandes com espessuras de parede variável e detalhes superficiais precisos.

Processo – aquecimento de resina polimérica transferida para uma cavidade do molde fechado.

Materiais compósitos podem ser feitos misturando-se fibras à resina ou dispendo camadas de fibras no próprio molde.

Baixos volumes de produção. Custo elevado de ferramental.

22



### Moldagem por transferência

Velocidade de produção varia segundo tamanho da peça.

Bom acabamento de superfície.

Sem restrição de formas – maior complexidade maior tempo de ciclo.

Possível obter boas tolerâncias.

23





### Moldagem por transferência



24

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Moldagem de espuma

Processo em duas etapas: expansão do material bruto (gás e vapor), resfriamento; reaquecimento com vapor, injeção em molde (semelhante ao de injeção).

Processo indicado para grandes quantidades; ferramental em alumínio (caro), preço unitário compensa para grandes lotes.

Material pode ser colorido e impresso na superfície; possível produzir com paredes mais espessas.

Muito versátil em tamanho. Peso reduzido.

25

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção





### Moldagem de espuma



Designer: Enzo Mari – Cadeira Seggiolina POP

26

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Moldagem de espuma em casca de compensado

Para proporcionar integridade estrutural – injeção de espuma de poliuretano.

Processo com características artesanais – custo; tempo de produção elevado.

Tentativa e erro para se conseguir a configuração de produção plena.

27

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção





### Moldagem de espuma em casca de compensado



Linha Laleggera  
Designer: Riccardo Blumer

28

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Forjamento

Processo de conformação de metais. Também produz mudanças nas propriedades físicas (resistência e ductibilidade).

Metal é aquecido, colocado em matriz e conformado por meio de choques repetidas vezes.

Processos automatizados – custo ferramental elevado. Processo lento.

Peças forjadas necessitam ser usinadas + processos de acabamento.

29

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Forjamento



30

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Forjamento



31

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



### Forjamento



32