

# 13. SINTERIZADO

Materiales I  
13/14

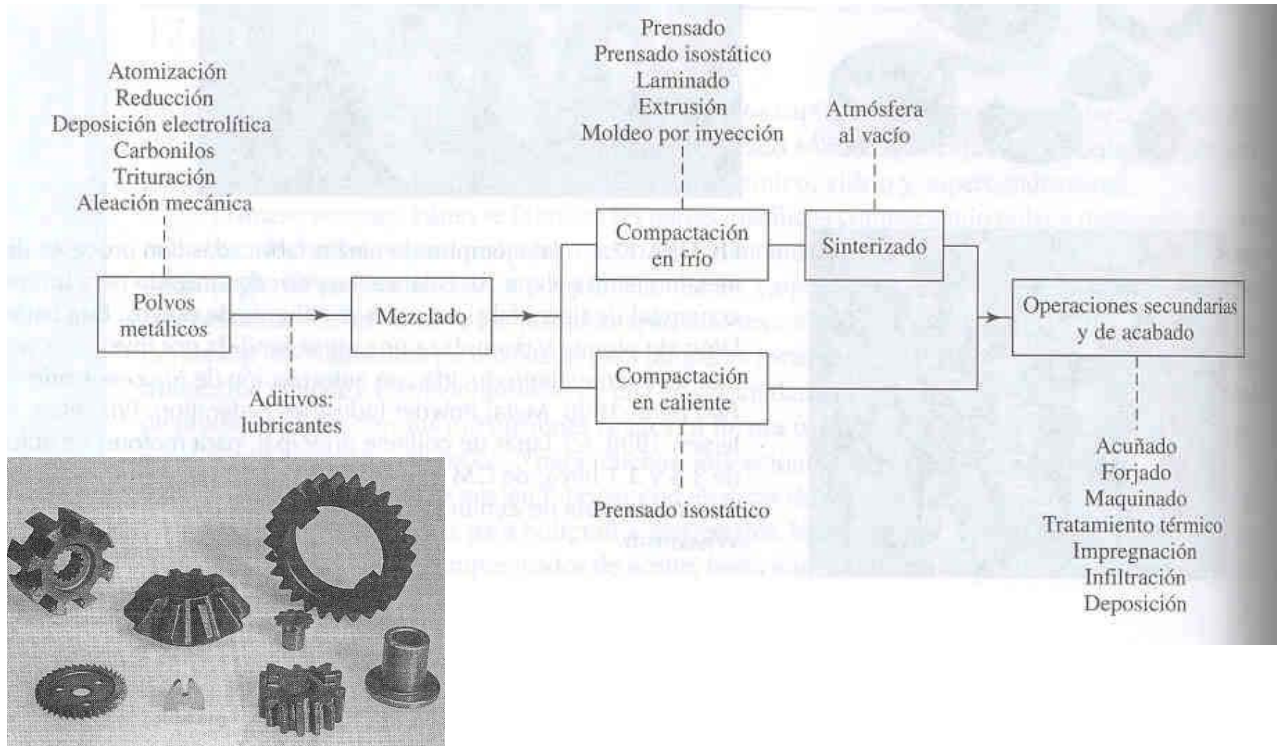
1  
PULVIMETALURGIA

## ÍNDICE

- PULVIMETALURGIA
- CARACTERÍSTICAS
- CARACTERIZACIÓN DE POLVOS
- PROPIEDADES DE LA MASA DE POLVOS
  - COMPRESIBILIDAD
  - RESISTENCIA EN VERDE
  - SINTERABILIDAD
- COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS
- SINTERIZACIÓN

2

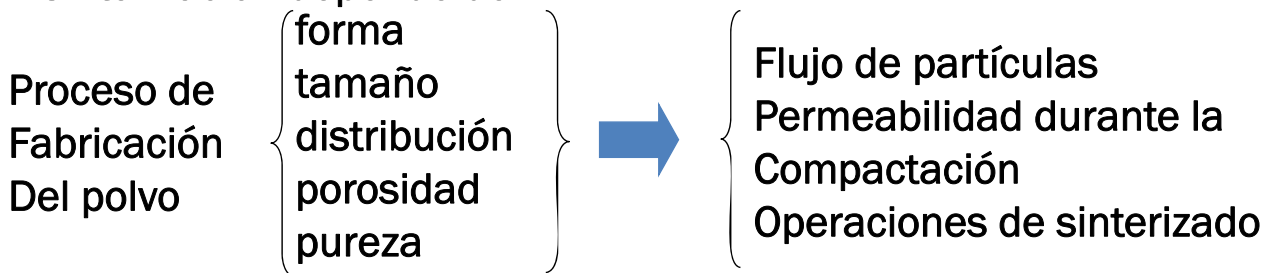
# PULVIMETALURGIA



3

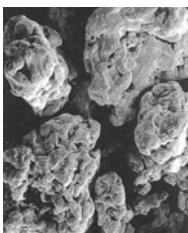
# PULVIMETALURGIA

El comportamiento de los polvos durante la compactación y sinterización depende de:

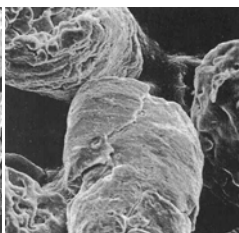


**POLVOS**

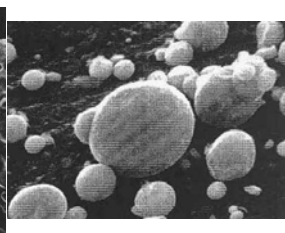
**FABRICACIÓN PIEZA**



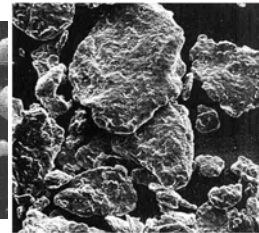
Fe + CO(180x)



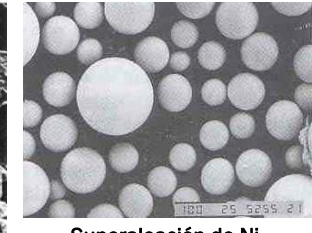
Fe + H<sub>2</sub> (750x)



Fe Carbonilo (3000x)



Fe Electrolysis (190x)



Superaleación de Ni

4

## CARACTERÍSTICAS

1. Es un método económico de fabricación para grandes series
2. Se usa para solventar una imposibilidad metalúrgica para obtener la pieza de otra manera ( $T^a$  elevada, aleación CW).
3. Único método para obtener materiales avanzados (aceros rápidos, conformado superplástico)
4. Piezas de todos los tamaños (hasta 50 Kg)
5. Competitivo económicamente con formas complejas: buenas características mecánicas y homogeneidad de aleación
6. Los polvos se pueden fabricar con diferentes métodos cuya elección depende del producto final (tamaños: 0.1-1000  $\mu\text{m}$ )
7. El precio depende del método de fabricación y de la pureza
8. Las propiedades de la pieza dependen de las de los polvos

## CARACTERIZACIÓN DE POLVOS

Hay que considerar diferentes propiedades:

1. Composición química
2. Caracterización cristalográfica (fases)
3. Microestructura:
  - tamaño grano pequeño (enfriamiento rápido)
  - tamaño partícula pequeño
  - puede existir porosidad interna
4. Tamaño y forma de la partícula:
  - más pequeña  $\Rightarrow$  más superficie específica
  - más irregular  $\Rightarrow$  más superficie específica

La granulometría y la forma condicionan el grado de llenado de la matriz de compactación y la resistencia en verde

## CARACTERIZACIÓN DE POLVOS

5. Superficie específica ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ ): cuanto mayor superficie, mejor es la sinterización (hay más puntos de soldadura entre partículas)

6. Densidad aparente. Flujómetro Hall (fluidez)

7. Densidad de polvo vibrado

7

PULVIMETALURGIA

## PROPIEDADES DE LA MASA DE POLVOS

### 1. Compresibilidad

Capacidad de una cierta cantidad de polvo de experimentar densificación bajo la acción de una presión de compactación  
Mide la respuesta de un polvo al ser comprimido.

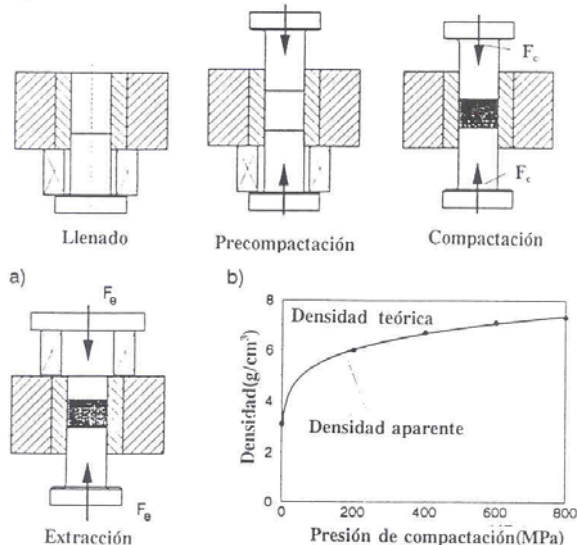
Está asociada con la densidad en verde.

Curvas de compresibilidad.

Normas:

ASTM Standard B212

ISO 3923



8

## PROPIEDADES DE LA MASA DE POLVOS

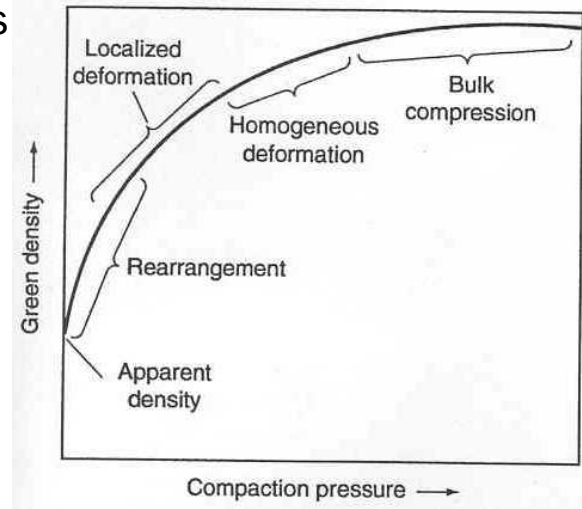
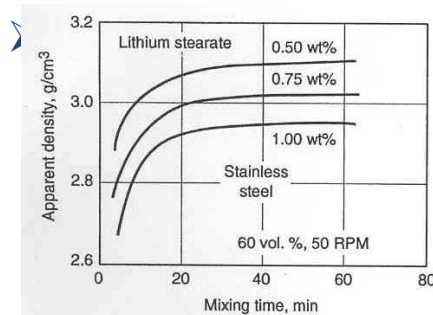
### 2. Resistencia en verde

La densidad y la resistencia en verde aumentan con la presión de compactación (mayor superficie de contacto y engarzado):

- Densidad ↑ con partículas irregulares, rugosas
- Densidad ↓ con esferoidales

La resistencia en verde es menor que la resistencia del sinterizado:

- superficies irregulares
- menor contacto entre sí



9

PULVIMETALURGIA

## PROPIEDADES DE LA MASA DE POLVOS

### 3. Sinterabilidad

Se busca el óptimo con diferentes condiciones de fabricación y sinterización

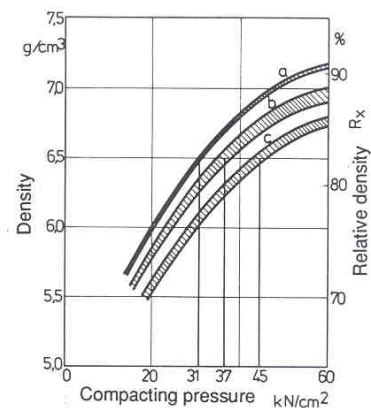
$$\text{Densificación} = 100 (d_s - d_o) / (d_t - d_o)$$

$d_s$  = densidad de sinterizado

$d_o$  = densidad en verde

$d_t$  = densidad teórica

El sinterizado aumenta la densidad, acercándola a la teórica (máximo)



Compactibility of iron powders

- a) super compressibility
- b) high compressibility
- c) normal compressibility

10

PULVIMETALURGIA

## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

Los polvos mezclados se prensan en matrices  
Prensas: hidráulicas o neumáticas

Objetivo { forma (variación dimensional) de pieza  
densidad (resistencia en verde)  
contacto entre partículas (porosidad) } Compacto en verde

A T<sup>a</sup> ambiente aunque también se puede realizar a ↑ T<sup>a</sup>

↑ presión de compactación ⇒ ↑ densidad ⇒ ↑ resistencia, módulo (E)

11

PULVIMETALURGIA

## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

### COMPACTACIÓN UNIAXIAL

- la más importante en volumen de producción
- utillaje: matriz + 2 punzones
- movimiento de vaivén para el llenado de la matriz
- compactación
- expulsión

	simple efecto	doble efecto	matriz flotante
punzón superior	comprime	comprime	comprime
punzón inferior	fijo	comprime	fijo
matriz	-		mueve

12

PULVIMETALURGIA



## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

### ISOSTÁTICA EN FRÍO (CIP)

- principio de Pascal (agua)
- fluidez (P en todas las direcciones)
- molde elástico
- $P = 210$  a  $410$  MPa

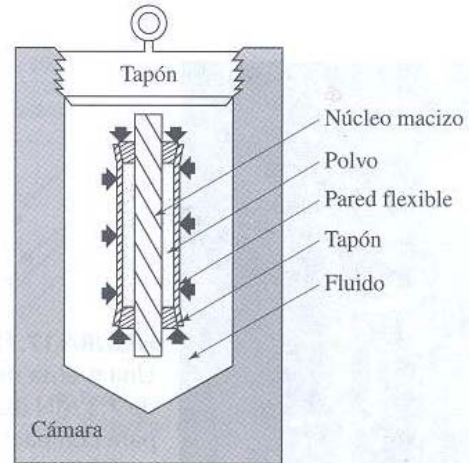
SE USA CON POLVOS CERÁMICOS

#### Ventajas:

- o piezas complejas
- o la densidad es homogénea
- o el equipo es barato

### ISOSTÁTICA EN CALIENTE (HIP)

- $P$  hasta  $1000$ MPa;  $T_{\text{sinter}}^a = 1100^\circ\text{C}$  b
- Para piezas sencillas
- El equipo necesario es caro



#### Inconvenientes:

- o proceso discontinuo
- o  $\downarrow$  precisión dimensional
- o Series pequeñas
- o Más tiempo (productividad)

13

PULVIMETALURGIA

## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

### MOLDEO POR INYECCIÓN (MIM)

- polvos muy finos ( $<10 \mu\text{m}$ ) microencapsulados (en polímero/cera)
- inyección de metales o cerámicos
- eliminación de ligante (polímero): en horno o con disolvente
- $\downarrow$  viscosidad mezcla (buen llenado de la matriz): formas complejas
- $\downarrow$  contracción (20 - 25 %)
- $\uparrow$  densidad
- Limitado para piezas pequeñas ( $<250$ g)

#### • Ventajas:

- o Apto para formas complejas
- o Buenas propiedades mecánicas ( $\sim$ forja)
- o Buenas tolerancias dimensionales
- o Elevada productividad (inyección multicavidad)

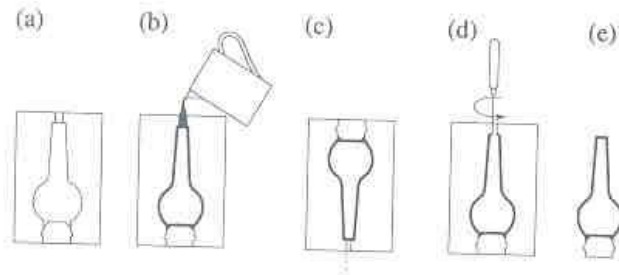
14

PULVIMETALURGIA

## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

### SLIP CASTING (MOLDEO EN BARBOTINA)

- polvos cerámicos
- polvo + ligante  
(que cura y fija la forma de verde)



### COMPACTACIÓN POR GRAVEDAD

- obtención de filtros (porosidad buscada)
- llenar el molde y sinterizar directamente (sin compactar)

15

PULVIMETALURGIA

## COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

### COMPORTAMIENTO DE LOS POLVOS:

- Sucedan 2 procesos {
- movimiento de partículas
  - deformación y fractura

### Propiedades

1. La densidad en verde aumenta si:

- $\uparrow$  Presión de Compactación
- $\downarrow$  Tamaño de partícula ( $\uparrow$  movilidad de partícula)
- $\downarrow$  Dureza
- $\downarrow$  Velocidad de compactación (aumenta el tiempo que actúa P)

16

PULVIMETALURGIA



# COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS

## Propiedades

2. La resistencia en verde aumenta si:

- ↑ Superficie del polvo (partículas irregulares o pequeñas)
- ↓ Densidad aparente
- ↓ Contaminación y oxidación
- ↑ Rugosidad superficial (↑ Superficie de contacto)

# SINTERIZACIÓN

“Calentamiento por debajo de la temperatura de fusión del constituyente principal, provocando la aglomeración”

## Etapas:

1. Acercamiento y unión inicial ⇒ cuellos ⇒ densificación
2. Redondeado de los poros ⇒ poros aislados
3. Intensificación del cierre de los canales

[http://www.youtube.com/watch?v=REzN30LhNkE&feature=autoplay&list=PLD590262A3DC2356D&f=results\\_main&playnext=2](http://www.youtube.com/watch?v=REzN30LhNkE&feature=autoplay&list=PLD590262A3DC2356D&f=results_main&playnext=2)

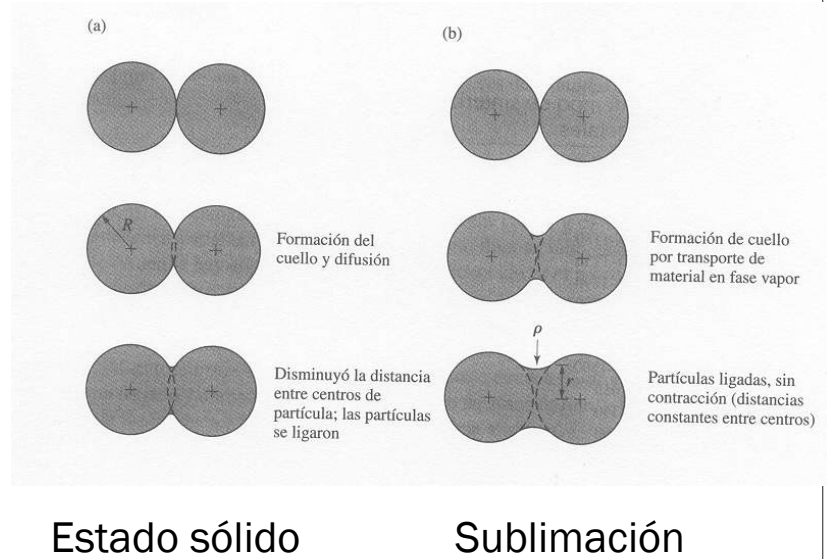


# SINTERIZACIÓN

## MECANISMOS:

### Fuerza impulsora:

- densidad  $\uparrow\uparrow$  con la  $T^a$
- $\downarrow\downarrow$  la energía libre:
  - partículas crecen
  - poros se contraen
  - área superficial  $\downarrow\downarrow$



- al  $\uparrow\uparrow T^a \Rightarrow$  se rompe el equilibrio  $\Rightarrow \downarrow\downarrow$  poros

19

PULVIMETALURGIA

# SINTERIZACIÓN

## Sinterización con fase líquida

Cuando la  $T^a_{\text{sinterización}}$  es mayor que la  $T^a_{\text{fusión}}$  de algún componente

- mejora la densidad  $\Rightarrow$  mejoran algunas propiedades

### Ventajas:

- completa eliminación de porosidad
- permite una elevada velocidad de difusión, y por tanto:
  - mayor transporte de masa
  - más homogeneidad
- posibilidad de sinterizar metales de  $\uparrow\uparrow T^a$  de fusión
- posibilidad de sinterizar aleaciones de metales insolubles entre sí (p.e. cojinetes de aleación de Al o Cu con Pb)

Desventajas: propiedades mecánicas limitadas por la matriz

20

( $T^a_{\text{fusión}}$ )

PULVIMETALURGIA