

2  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Estudios Superiores  
"Cuautitlán"

## "METALURGIA DE POLVOS"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

P R E S E N T A N:

**SOCORRO CARMONA ESTRADA**

**MIGUEL ALVAREZ PASAYE**

Director de Tesis: Ing. Jesús García Lira



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## INDICE

### PAGINA

PROLOGO

INTRODUCCION

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO I. PREPARACION DE LOS POLVOS METALICOS   | 1  |
| 1.1. Procedimientos mecánicos y físicos.          | 1  |
| 1.1.1. Molienda                                   | 2  |
| 1.1.2. Pulverización                              | 5  |
| 1.1.3. Trituración                                | 7  |
| 1.1.4. Granulación                                | 9  |
| 1.1.5. Atomización                                | 9  |
| 1.2. Procedimientos químicos                      | 12 |
| 1.2.1. Procesos de hidruro y carbonilo            | 12 |
| 1.2.2. Reducción de óxidos y minerales óxidos     | 14 |
| 1.2.3. Precipitación a través de una sal disuelta | 15 |
| 1.2.4. Electrólisis                               | 15 |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPITULO II. CARACTERISTICAS DE LOS POLVOS METALICOS</b>        | <b>18</b> |
| 2.1. Composición química   | 18        |
| 2.2. Características físicas                                       | 19        |
| 2.2.1. Tamaño de grano y su determinación en general               | 19        |
| 2.2.2. Forma de grano  | 23        |
| 2.2.3. Porosidad de la partícula                                   | 24        |
| 2.2.4. Microestructura   | 25        |
| <br>   |           |
| <b>CAPITULO III. PROPIEDADES PRACTICAS DE LOS POLVOS METALICOS</b> | <b>27</b> |
| 3.1. Volumen másico aparente                                       | 27        |
| 3.2. Factor de fluencia  | 27        |
| 3.3. Compresibilidad   | 28        |
| 3.4. Condensación  | 28        |

|  |    |
|--|----|
| CAPITULO IV. MOLDES Y MEZCLA DE POLVOS                             | 30 |
| 4.1. Moldes  | 30 |
| 4.2. Mezcla de polvos  | 32 |
| CAPITULO V. TIPOS DE FABRICACION DE PIEZAS CON<br>POLVOS METALICOS | 35 |
| 5.1. Frensado  | 35 |
| 5.1.1. Frensado en frio  | 35 |
| 5.1.2. Frensado en caliente  | 37 |
| 5.2. Presinterizado  | 39 |
| 5.3. Sinterizado   | 40 |
| 5.3.1. Sinterizado por gravedad                                    | 43 |
| 5.3.2. Sinterizado por chispa                                      | 44 |
| 5.3.3. Sinterizado con fase<br>liquida                             | 45 |
| 5.3.4. Hornos de sinterizado                                       | 46 |
| 5.4. Compactado  | 48 |

**CAPITULO VI. APLICACION DE LOS POLVOS METALICOS 51**

6.1. Metales refractarios dúctiles 52

6.2. Fabricación de cojinetes y partes metálicas porosas 52

6.3. Producción de carburos duros y cementados 53

6.4. Fabricación de contactos eléctricos 54

6.5. Productos de estructuras especiales 54

**CAPITULO VII. OPERACIONES DE ACABADO 56**

7.1. Impregnación de aceite 56

7.2. Infiltración 57

7.3. Calibración 57

7.4. Tratamiento térmico 58

7.5. Recubrimiento metálico 58

7.6. Maquinado 59

7.7. Características de diseño 59

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPITULO VIII. VENTAJAS Y LIMITACIONES</b> | <b>61</b> |
| <b>8.1. Ventajas</b>                          | <b>61</b> |
| <b>8.2. Limitaciones</b>                      | <b>63</b> |
| <b>CONCLUSIONES</b>                           | <b>66</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                           | <b>70</b> |



## INTRODUCCION

A partir de la Metalurgia de Polvos se obtienen polvos metálicos bajo presión que son empleados para hacer objetos de gran utilidad. La Metalurgia de Polvos existió en forma rudimentaria aproximadamente en el año 2500-3000 a.c. por los Egipcios, los cuales podían producir partículas de hierro poroso, calentando óxido de hierro con carbón.

En la era de los Arabes se construían espadas de gran calidad con hierro en polvo.

Los Incas antes del descubrimiento de Colón se sirvieron de procedimientos de Metalurgia de Polvos para hacer objetos de metales preciosos; así mismo los Españoles encontraron en América figuras que parecían de oro y no eran más que doradas.

En 1829 Woolaston publicó un artículo el cual describía un proceso para obtener platino compacto a partir de polvo con esponja de platino, esto estableció los fundamentos de las técnicas modernas.

Há que hacer notar que en el siglo XIX se producían más elementos metálicos en forma de polvo que en cualquier otra forma. La lámpara incandescente de Edison requirió de filamentos y se utilizó material de osmio, tantalio y tungsteno, pero los filamentos eran muy frágiles.

Correspondió a Coolidge en 1909 descubrir que el tungsteno puede trabajarse en cierto intervalo de temperatura y conservar su ductilidad a temperatura ambiente.

Este método originó un nuevo proceso de fabricación para metales refractarios como molibdeno, tantalio y columbio; también se desarrollaron carburos cementados y metales compuestos. Inicialmente todas las piezas eran pequeñas y las propiedades mecánicas más o menos comparables con los metales convencionales.

Durante el año 1920 se descubrieron y desarrollaron los métodos de fabricación de cojinetes para el servicio pesado. Sin embargo, la primera aplicación industrial de importancia tuvo lugar en los años 20 de este siglo, con posterioridad a la primera guerra mundial el proceso fué adoptado en Alemania para producir puntas de herramientas de corte de carburo de tungsteno.

Aproximadamente hace unos 40 años se tuvo lugar un desarrollo serio del proceso de Metalurgia de Polvos, las técnicas se han empleado durante años en la fabricación de alambre de wolframio, filamentos de lámparas eléctricas y para obtener alambre de molibdeno, aunque éste último recientemente se ha obtenido con éxito mediante soldado, empleando un proceso de fusión en arco.

Actualmente la Metalurgia de Polvos se puede dividir en cuatro campos:

- 1) Cojinetes de autolubricación.
- 2) Piezas de máquinas y de artillería.
- 3) Unidades de fricción (herramientas cortantes y matrices).
- 4) Especialidades para artificios electrónicos. imanes, filtros y diafragmas porosos.

El número de productos elaborados por medio del proceso de Metalurgia de polvos es tan grande que puede considerarse como una industria en sí misma, ya que puede producir piezas de 30 cm. de diámetro y con un peso mayor a 23 Kg. produciéndolas en grandes cantidades.

**CAPITULO I**

**PREPARACION**

**DE LOS**

**POLVOS**

**METALICOS**

## CAPITULO I

### PREPARACION DE LOS POLVOS METALICOS

Existe una relación entre un método específico de producción de polvos y las propiedades deseadas de los productos de la Metalurgia de Polvos. Estas técnicas son convenientes cuando se trabaja con metales de punto de fusión muy elevado, como el wolframio y molibdeno, y en la preparación de materiales de estructura especial como cueros porosos. Los métodos empleados para la preparación de los polvos metálicos son numerosos y hacen intervenir técnicas muy variadas, las cuales se utilizan dependiendo del costo y del tipo de material empleado. Los métodos más comunes en la preparación de Metalurgia de Polvos son:

#### 1.1. Procedimientos mecánicos y físicos

#### 1.2. Procedimientos químicos

#### 1.1. PROCEDIMIENTOS MECANICOS Y FISICOS

En los maquinados de piezas se obtienen desperdicios de polvos metálicos. A excepción de las limaduras que se

obtienen con lima, el tamaño de las partículas es irregular y relativamente grande. Para esto es necesario aplicar algunos métodos con el fin de regular el tamaño del polvo metálico, tales como:

- 1.1.1. Molienda
- 1.1.2. Pulverización
- 1.1.3. Trituración
- 1.1.4. Granulación
- 1.1.5. Atomización

#### 1.1.1. MOLIENDA

Este método se emplea con frecuencia como operación subsecuente de otros métodos que entregan partículas más gruesas las cuales deben ser reducidas de tamaño.

La preparación de polvos mediante la molienda se restringe usualmente a romper aleaciones frágiles en un molino de bolas o en uno de martillo. Las partículas mayores de 6 mm. de diámetro se deberán triturar primero en el mortero de diamante.

El molino de bolas consiste en un recipiente cilíndrico hecho frecuentemente de acero recubierto con caucho el cual se llena hasta cerca de un tercio de su capacidad con bolas de un material similar.

La carga de material a moer es de más o menos un 25% del volumen de las bolas, se gira el cilindro con una tapa sobre rodillos o en una armadura oscilante durante varias horas.

Por este método es fácil conseguir polvo metálico pero resulta poco económico por la lentitud de preparación; se pueden obtener polvos metálicos mayores de 6 mm. de diámetro de metales frágiles y maleables, en los metales frágiles se obtienen partículas angulares de forma irregular y en los maleables laminitas que solo se emplean como pigmentos.

También se obtienen polvos de antimonio, bismuto, níquel y manganeso.

Los metales dúctiles (hierro, aluminio, cobre y plata) pueden ser pulverizados en un molino de hélices que comprende dos hélices de acero duro que giran en sentido inverso uno en frente del otro, los fragmentos violentamente lanzados por dos corrientes gaseosas opuestas, se rompen por choque mutuo o al contacto con las bolas o las paredes.

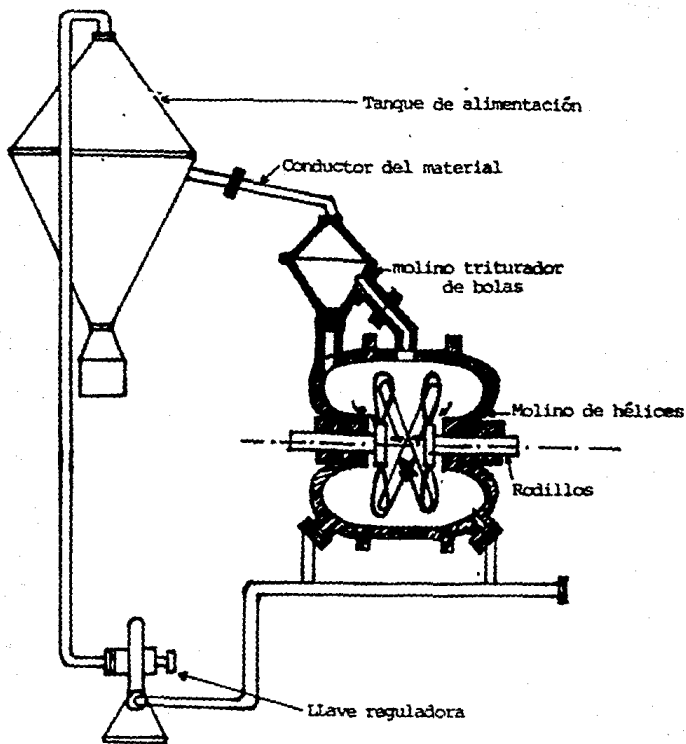


Fig. 1 Molino de hélices para molienda y pulverizado.



### 1.1.2. PULVERIZACION

Es un medio excelente para producir polvos de metales de baja temperatura tales como plomo, aluminio, zinc, estaño, fierro y cobre.

Es una operación de aspersion, la cual se efectúa con un molino de muelas verticales, sobre un soporte sólido, impulsado por poleas y transmisiones cónicas en un eje en donde se encuentra colocada una solera sobre la cual se ha pegado el metal a pulverizar con una solución de goma arábiga, que tiene la finalidad de retener las impurezas y suciedad que se hayan adheridas al metal.

La solera pasa por debajo de tres cilindros cónicos de granito, los cuales están colocados de forma que se puedan situar formando una aspa de tres brazos, unos rastrillos colocados en posición inclinada hacia adentro cuidan de que la masa que tiende a salirse por el borde de la solera vuelva al centro y sea trabajada.

El metal líquido es pulverizado a la salida de un orificio estrecho, es decir, por una corriente de vapor de agua y un gas comprimido mecánicamente.

El metal líquido sufre una primera fragmentación al atravesar una lámina de agua que se presenta bajo la forma de un doble cono de revolución, las gotas líquidas

obtenidas son pulverizadas por choque sobre unos cuchillos colocados encima de un disco que gira a 3000 rpm. aproximadamente.

Las partículas son de forma irregular y se producen en muchos tamaños.

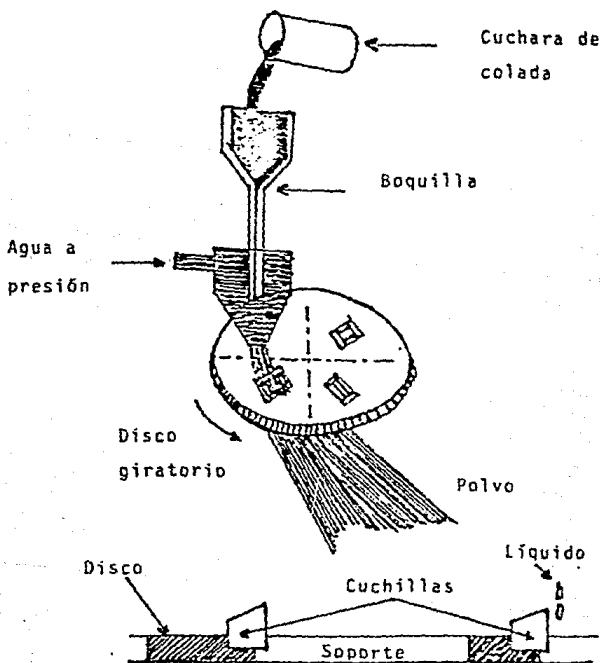


Fig. 2 Pulverización

### 1.1.3. TRITURACION

Este método sólo constituye uno de los procedimientos posibles y empleados en la preparación de polvos metálicos. Inicialmente se utilizaban los desperdicios de metal en hojas, que se colocaban en tamices y se desmenuzaban con cepillos rascadores luego se continuaba la trituración en molinos a mano o en máquinas trituradoras, clasificándolo finalmente en dispositivos especiales por tamaño de grano. Es frecuente hoy en día, partir del metal en forma de lámina, con la diferencia de que ya no se utilizan los desperdicios, ni tampoco láminas delgadas, sino que ahora se emplea el metal batido. Con esta denominación se refiere a planchas hasta el espesor del papel mediante el martillo batidor.

Este metal se hace pasar por un equipo de seis martillos para la pretrituración, para esto se requiere 1 HP de potencia para dar unos 80 golpes por minuto, dando una producción de 4.5 a 6 Kg. de polvo metálico en unas 2 1/2 horas.

Antes de pasar el metal a la pretrituradora a su completa trituración se separa previamente el material más fino mediante un tamiz circular o bien un tamiz vibrador y colocando el resto en la trituradora de acabado fino.

Una vez separado el metal se hace pasar a una trituradora, en la cual se obtienen granos con un diámetro de 300 mallas aproximadamente; según figura 3.

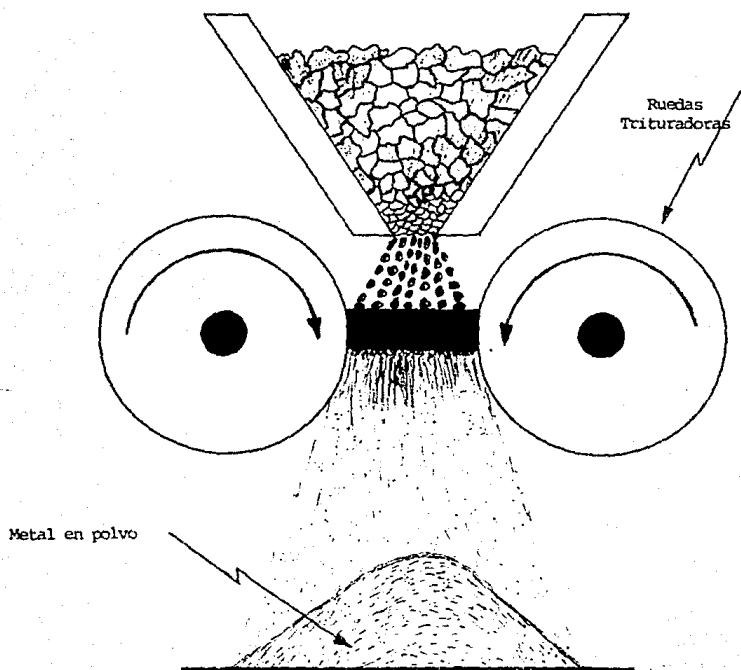


Fig. 3 Trituradora de rodillos

#### 1.1.4. GRANULACION

Esta es la primera etapa de la trituración de fusiones o cualquier otra clase de metales en forma compacta, la cual da como resultado granos relativamente gruesos, muchas veces desde 1 mm. de diámetro en adelante. Un ejemplo de este procedimiento está constituido por la introducción de metales a fusión en agua ya sea en chorro fino o a través de un colador.

#### 1.1.5. ATOMIZACION

Es el método utilizado más frecuentemente para metales que tienen bajo punto de fusión y que sólo se pueden mezclar en estado líquido como el estaño, plomo, zinc, cobre, plata, cadmio, aluminio y latón.

Este método consiste en forzar el metal líquido a través de un pequeño orificio por medio de una corriente de aire o gas inerte, que es vertida desde un crisol u olla de almacenamiento: el metal se desintegra y solidifica en partículas finamente divididas o bien fundiendo y atomizando simultáneamente mediante una llama de alta velocidad.

La atomización se emplea comunmente para la preparación de polvos de alúmina del tipo utilizado en la Metalurgia de Polvos, además la producción es de una gran variedad de

formas incluyendo esferoides casi perfectos. Un amplio intervalo de distribuciones de tamaño de la partícula puede obtenerse variando la temperatura del metal, la presión y la temperatura del gas de atomización, la rapidez de flujo del metal a través del orificio y el diseño del barrenado del inyector.

La principal ventaja del proceso es su flexibilidad, se producen granos de diferentes grados de finura y la uniformidad de la distribución de tamaño de la partícula puede mantenerse estrechamente.

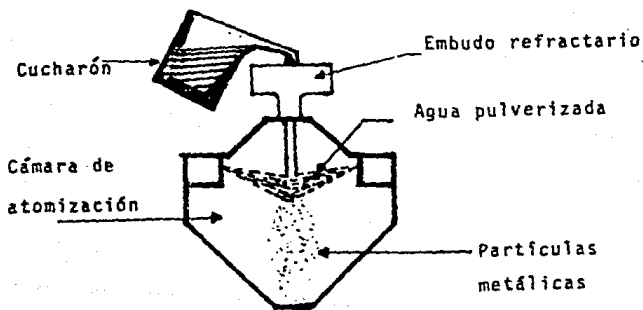


Fig. 4 Atomización en estado líquido

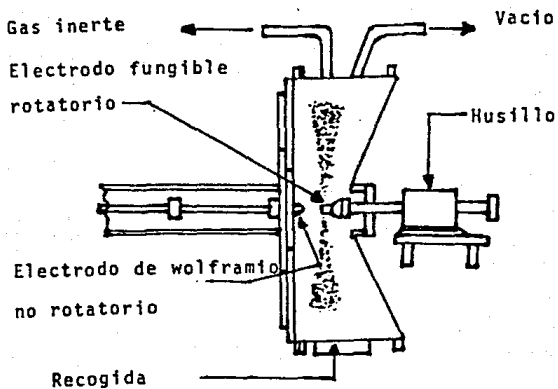


Fig. 5 Atomización con electrodo fungible rotatorio

## 1.2. PROCEDIMIENTOS QUIMICOS

Los procedimientos químicos se hacen esencialmente en aquellos polvos metálicos que no se pueden obtener por otros métodos, debido a la corrosión intergranular y a su producción limitada, debido a esto se han creado algunos métodos para la preparación de polvos metálicos como son:

### 1.2.1. PROCESOS DE HIDRURO Y CARBONILO

Por este procedimiento se pueden obtener polvos muy puros sin azufre, silicio, fósforo o manganeso, los polvos conseguidos generalmente tienen una forma esférica de un diámetro de 0.0001 a 0.01 mm.

Algunos metales pueden hacerse combinar con hidrógeno formando hidruros, éstos son estables a temperatura ambiente pero comienzan a disociarse en hidrógeno y en metal puro en forma de polvo cuando se calientan a unos 350°C.

Los hidruros son ácidos débiles cuyas sales de metales alcalinos son electrolitos.

El hidrógeno se combina más o menos intensamente con la mayoría de los elementos no metálicos; los compuestos metal-hidrógeno se denominan hidruros metálicos, tal como hidruro sódico ( $\text{NaH}$ ) o el cálcico ( $\text{CaH}_2$ ).



Los carbonilos metálicos son un grupo de compuestos cuya fórmula general es  $M_x(CO)_y$ , donde M designa un metal y x e y son números enteros. No son comparables con ningún otro compuesto metálico. Ejem.  $Fe(CO)_4$

Sirven para la preparación de los metales puros; todos los carbonilos metálicos en circunstancias normales son sólidos cristalinos, incoloros o de color, excepto el pentacarbonilo de hierro, el carbonilo de níquel, el pentacarbonilo de rutenio y el pentacarbonilo de osmio, que son líquidos, incoloros o de color.

Algunos carbonilos a pesar de su alto peso molecular pueden ser destilados a temperaturas bastante bajas sin descomposición. Son malos conductores de la electricidad.

Los carbonilos se pueden descomponer calentándolos entre 150 y 400 °C a la presión atmosférica, el polvo de carbonilo es de alta pureza pero relativamente caro, la forma de partícula esférica es a menudo inaceptable debido a que en general presenta características de prensado pobre y sólo son aceptables en la fabricación de las estructuras porosas ya que esta forma de partícula no se compacta fácilmente durante el prensado.

El vapor de carbonilo se descompone en una cámara fría, de manera que se depositan partículas casi esféricas de metal puro.

El vapor de carbonilo se descompone en una cámara fría, de manera que se depositan partículas casi esféricas de metal puro.

### 1.2.2. REDUCCION DE OXIDOS Y MINERALES OXIDOS

La reducción de los compuestos de los metales proporcionan un método conveniente y económico de producir polvos. el volumen más grande de polvo metalúrgico se hace mediante el proceso de reducción de óxidos.

Este proceso se realiza a las temperaturas más bajas en las cuales se puede conseguir con éxito la reducción del óxido, desde luego deben de ser inferiores a las de punto de fusión del óxido y del metal.

Las escamas de aceros u óxidos químicamente producidos se reducen con monóxido de carbono o hidrógeno y son distribuidos a lo largo de un horno rotatorio con coque triturado. Cerca del extremo de la descarga la mezcla se calienta alrededor de 1050 °C originando que el carbón se una con el oxígeno en el óxido de hierro.

Dicho método trae como resultado la producción de polvos de una gran variedad de características de tamaño de partícula forma y porosidad.

Este es el único método práctico disponible para producir polvos de los metales refractarios, como tungsteno y

molibdeno y la única deficiencia del procedimiento es el de no ser posible la purificación del material, por lo que se exige un producto de buena calidad no hay más remedio que partir de materiales puros.

### 1.2.3. PRECIPITACION A TRAVES DE UNA SAL DISUELTA

Este metodo es utilizado principalmente para la obtención de polvos de metales preciosos (oro, plata, platino) por la acción del zinc o del aluminio.

Este procedimiento se basa en la precipitación de un metal por reacción con otro que se encuentre encima de él, en la serie electroquímica por reducción con metales alcalinos y alcalino-terreos.

De las sales fundidas se pueden obtener polvos de tantalio, níquel, uranio, berilio.

### 1.2.4. ELECTROLISIS

La electrólisis es otro metodo normal en la fabricación de polvos metálicos extremadamente puros, principalmente de hierro, plata, tantalio y cobre. Tanto en soluciones acuosas como a partir de sales fundidas, electrofíticamente los polvos metálicos se pueden obtener por dos metodos:

- a) Deposito directo sobre el cátodo como material poroso que dá directamente el polvo.
- b) Por fricción entre las particuias que al chocar entre si se convierten en polvo.

Este procedimiento permite realizar bien el control de varias características deseadas en los polvos. El control se consigue por regulación de la densidad de corriente, la temperatura, la composición y circulación del baño y el tamaño y disposición de los electrodos.

Para el hierro y níquel se emplea un proceso electrolítico algo diferente, ya que aquí se deposita una masa de metal duro y frágil que requiere una trituración mecánica subsecuente, así como un tratamiento de triturado y recocido para hacer el polvo lo suficientemente plástico a fin de que tenga buenas características de compactación. A estos polvos electrolíticos hay que tratarlos para eliminar el electrolito, con frecuencia es necesario evitar el contacto del polvo con la atmósfera.

En la mayoría de las aplicaciones es preciso mantener las propiedades de cada uno de los componentes después del sinterizado lo que desde luego no se puede conseguir por fusión. Los polvos obtenidos por electrólisis son duros y frágiles, generalmente no son adecuados para propósitos de

moldeo. para aplicaciones comerciales es del tipo esponjoso, la forma del polvo electrolítico suele ser dendrítica la cual tiende a dar buenas propiedades durante el compactado.

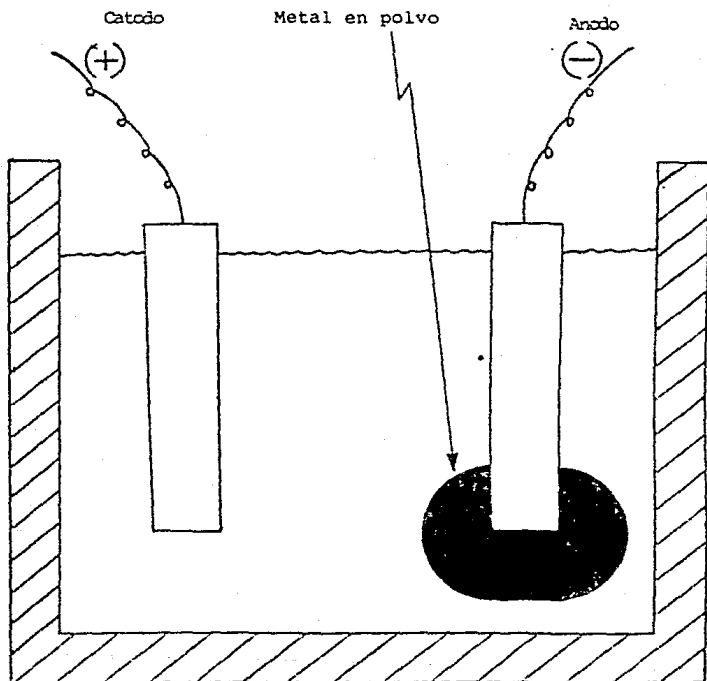


Figura 6 Electrólisis

# **CAPITULO II**

## **CARACTERISTICAS**

**DE LOS**

**POLYOS**

**METALICOS**

## CAPITULO II

### CARACTERISTICAS DE LOS POLVOS METALICOS

Para lograr los fines perseguidos se deben de tomar en cuenta las propiedades de los polvos a emplear tanto en relación con su pureza como con sus propiedades físicas.

En todos los metodos empleados el comportamiento del metal durante el procesamiento, así como las propiedades del producto terminado, dependen de las características físicas del material del polvo.

En primer lugar se determina por análisis químico su pureza o composición química del polvo metálico, despues se analizan las características físicas del mismo.

#### 2.1. COMPOSICION QUIMICA

La composición se determina por análisis químico, los polvos pueden contener impurezas introducidas por los productos de base o durante la fabricación del metal, y el hierro de los molinos, carbono y oxígeno en los carbonilos de los metales que provienen de la disociación del óxido de carbono en carbono y bióxido de carbono que desempeña el

papel de oxigenante, el oxígeno es debido a que los polvos se oxigenan fácilmente por su tamaño.

Por el tamaño que presentan las partículas la estabilidad química de un polvo es muy pequeña comparada con la de un metal compacto, en particular estando facilitada su oxigenación. Es indispensable conservar los polvos en una atmósfera neutra en recipientes cerrados.

## 2.2. CARACTERISTICAS FISICAS

### 2.2.1. TAMAÑO DE GRANO Y SU DETERMINACION EN GENERAL

La distribución es importante en el empaque del polvo e influirá en su comportamiento durante el moldeado y el sinterizado. Es común utilizar tamaños de grano comprendidos entre 0.0001 y 0.01 mm. ya que los metales más finos tienen menores tamaños de poros y mayores áreas de contacto. La medición del tamaño de grano se hace con tamices, microscopio y artificios basados en la ley de Stokes que relaciona el tamaño de grano de la partícula con la velocidad de sedimentación, de los métodos para determinar el tamaño de grano, el que puede ser considerado como único, directo aunque muy laborioso para determinar el tamaño real



y el número de granos en una determinada magnitud y que permite incluso adquirir alguna idea sobre su forma es el exámen microscópico del polvo, el cual es un método poco científico pero que por su sencillez es aceptado en la práctica.

### Ley de Stokes

$$K = 6 \pi r \eta h/t$$

Para las partículas de forma esférica de radio r, que caen con velocidad uniforme en un líquido de rozamiento  $\eta$ , si la altura de caída es h y el tiempo de sedimentación es t. Es decir, que la velocidad de sedimentación es h/t se cumple la fórmula de Stokes.

K es la fuerza que actúa por la diferencia entre el peso de la partícula metálica y el empuje hacia arriba en el seno del líquido.

$$K = 4/3 r^3 \pi (d_1 - d_2) g$$

Donde:

d1 = Densidad de la partícula

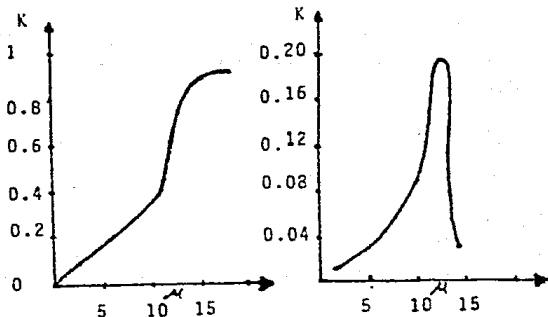
d2 = Densidad del líquido

g = Aceleración de la gravedad

De esta manera se obtiene:

$$r = \sqrt{9 h n / 2 t g (d_2 - d_1)}$$

Por consiguiente según el tiempo de caída  $t$  de una altura dada, se habrán sedimentado todas las partículas cuyo radio sea mayor o por lo menos igual al determinado por la última fórmula.



Figuras 7 y 8

La curva correspondiente a las figuras 7 y 8 con K como ordenada, nos muestra directamente a que diámetro corresponde a la cantidad principal del metal en polvo ( $12\mu$ ).

Para la determinación del volumen en los metales en polvo, la firma F. Suffert Burner A. G. de Basilea, ha ideado un nuevo aparato llamado volunómetro NOTARI, según figura 9.

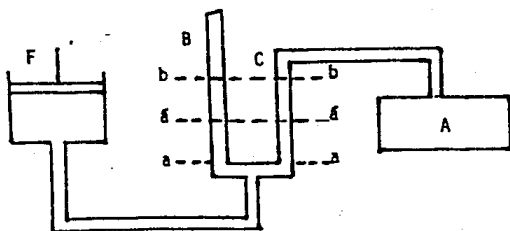


Fig.9. Volunómetro NOTARI

Al bajar el émbolo (F), el mercurio asciende por los tubos (B) y (C) con ello el aire se extiende en el recipiente (A) y sufre una compresión.

La sobrepresión así conseguida se puede leer en el manómetro (B).

### 2.2.2. FORMA DE GRANO

La forma depende esencialmente del modo de preparación, así los polvos obtenidos por pulverización son aproximadamente esféricos con excelentes cualidades de sinterizado, se consigue por descomposición de carbonilos y condensación de vapores metálicos; la forma de gotas es obtenida por atomización, una forma angular se consigue por aplastamiento de los metales; dendrítica obtenida por los polvos electrolíticos; redondeada con periferia gruesa obtenida en el pulverizado en aparatos de remolino; escamosa conseguida por el estampado de los metales; irregular como resultan los polvos por reducción de óxido.

La forma de la partícula puede influir en las características de vertido y densidad del prensado.

Las partículas esféricas son difíciles de prensar para obtener compactados resistentes ya que existe una superficie de contacto muy pequeña entre las partículas.

En los polvos preparados por trituración las placas son frágiles igual que en las obtenidas por electrólisis; las de forma irregular y angular tienen una mayor facilidad para entrelazarse durante el prensado. El polvo en forma de hojuelas tal como sucede en el aluminio no es recomendable, ya que su volumen o forma de este polvo es extremadamente baja y las hojuelas vecinas tienden a tomar una orientación al azar en lugar de alinearse con sus superficies planas paralelas.

### 2.2.3. POROSIDAD DE LA PARTICULA

La porosidad inherente del polvo influye en las propiedades del material y está relacionada con la densidad. Es indudable que por el simple proceso de sinterización no se produce completamente la unión entre las partículas como sucede en el proceso de solidificación de un metal a fusión en el cual inicialmente ya no existen poros. La porosidad o esponja dueña decir que no hay ligación o enlace continuado entre las distintas partes de la partícula. Sin embargo, la ausencia de poros se puede evitar si el prensado y sinterización se efectúan simultáneamente a temperaturas elevadas.

Las características del grado de porosidad y de la forma de las partículas son de importancia decisiva en la densidad y fabricación de las piezas.

#### 2.2.4. MICROESTRUCTURA

Un polvo metálico nunca está formado de partículas de iguales dimensiones, la microestructura caracteriza la distribución de los granos en función de sus dimensiones.

El análisis granulométrico se efectúa por diversos procedimientos; cuando las dimensiones son grandes (0.04-0.5 mm.) se utilizan una serie de tamices.

Para los granos finos (0.001-0.04 mm.) se pueden obtener sus dimensiones en el microscopio o emplear procedimientos basados en la fórmula de Stokes.

En la Metalurgia de Polvos interesa que el polvo sea policristalino, es decir, que cada partícula de polvo conste de monocristales que sean del mismo tamaño de grano.

Originalmente las partículas pudieron haber sido del mismo tamaño, pero debido al procedimiento de fabricación pueden estar formadas por fragmentos del tamaño primitivo. El estudio de estas partículas se realiza con el microscopio, por difracción de rayos X, medidas de microdureza y otros

medios, cuando se trata de partículas superiores a 0.001 mm. y con el microscopio electrónico si es de menor tamaño.

Con el microscopio electrónico se consigue poner de manifiesto la forma exterior de la partícula, la determinación de las propiedades y características de los polvos metálicos se realiza con los mismos métodos de ensayo que se han implantado en otros campos de la ciencia y de la técnica.

La selección final o métodos para una determinada aplicación, se realiza teniendo presente los resultados obtenidos después de haber sido sometidos a la presión y temperatura de sinterizado.

# **CAPITULO III**

## **PROPIEDADES PRACTICAS**

**DE LOS**

**POLVOS**

**METALICOS**



## CAPITULO III

### PROPIEDADES PRACTICAS DE LOS POLVOS METALICOS

Las propiedades utilizadas directamente para la producción de piezas y que dependen de manera compleja de las características físicas son:

#### 3.1. VOLUMEN MASICO APARENTE

Este dato permite determinar el volumen a prever para la cavidad de la matriz, el volumen másico aparente aumenta o disminuye dependiendo de la finura y rugosidad de los granos; la porosidad es mínima cuando el polvo esta hecho de una mezcla en proporciones convenientes de partículas de diversas dimensiones.

#### 3.2. FACTOR DE FLUENCIA

Es la característica de un polvo que le permite fluir fácilmente conforme a la cavidad del molde, esta magnitud está ligada al tiempo de fluencia de una masa dada de polvo en un embudo determinado que permite evaluar la duración del llenado de la matriz; puede describirse como la tasa de flujo a través de un orificio fijado.

### 3.3. COMPRESIBILIDAD

Es la capacidad que tienen los polvos de compactarse al ser sometidos a la acción de compresión.

El producto comprimido no posee ninguna plasticidad; sin embargo, es lo suficientemente resistente para poder ser maquinado.

El comportamiento de un polvo a la compresión depende de dos factores fundamentales:

- 1) La variación de la masa en función de la presión.
- 2) Y la compatibilidad de los tamaños de grano.

### 3.4. CONTRACCION

En la sinterización se presentan fenómenos de contracción que son importantes, entre más fino es el polvo más importante es. Los polvos trabajados en frío (por prensado, etc.) poseen una mayor contracción; ésta se puede variar agregando ciertas sustancias; por ejemplo, se puede favorecer considerablemente con sustancias de bajo punto de fusión, sobre todo si éstas se funden con el proceso o si en la fusión ejercen una acción disolvente sobre el componente principal. La contracción producida en la sinterización de piezas prensadas con polvos metálicos aumenta con la reducción del diámetro del grano. La contracción va

disminuyendo al aumentar la compresión de tal forma que la relación entre el aumento de la densidad conseguida en la sinterización y el volumen de poros en estado prensado resulta ser una constante independiente de la densidad del prensado. Los valores de la contracción perpendicular y paralelamente a la dirección del prensado casi siempre son diferentes; es decir, que la contracción perpendicular es mayor que la paralela, no así cuando se trabaja con polvos de forma de grano suficientemente planos ya que en este caso la contracción paralela puede ser mayor que la perpendicular.

# **CAPITULO IV**

## **MOLDES Y MEZCLA**

**DE**

**POLVOS**

## CAPITULO IV

### MOLDES Y MEZCLA DE POLVOS

#### 4.1. MOLDES

La herramienta básica en la Metalurgia de Polvos es el molde, que es la pieza del equipo responsable para la formación del metal en polvo en una masa utilizable.

El molde consiste en la matriz, el punzón y el soporte; la matriz forma los lados del compacto, a raíz de las altas presiones utilizadas existe un considerable desgaste en las paredes de la matriz. debido a que las partículas de polvo tienden a ser ligeramente abrasivas. Para resistir esta acción de desgaste las matrices usualmente se fabrican en acero para herramientas templado.

Para polvos particularmente abrasivos o para un trabajo de gran volumen, se emplean algunas veces matrices de carburo, todas las superficies de la matriz deben estar altamente pulidas; las matrices deben ser muy pesadas para soportar las altas presiones, lo cual contribuye al alto costo de las mismas.

El punzón forma la parte superior y aplica la presión para el proceso de compactación, el soporte forma el fondo como una matriz de pared delgada.

En un molde de doble extremo se utilizan dos punzones para los extremos opuestos, con un punzón supliendo al soporte y el otro actuando como tal, ambos punzones serán móviles. Aún con el empleo de dobles punzones la compactación del metal en polvo crea serios problemas de gradiente de presión sobre objetos de forma irregular: estos gradientes de presión han conducido al uso de punzones múltiples que controlan mejor el metal en polvo aplicando diversas presiones sobre el mismo.

Los moldes se clasifican en :

1) COLAPSIBLES

Se utiliza cada vez que la pieza o el material compactado se puede extraer de la cavidad del molde sin dañarlo, con estos moldes es posible producir diseños más complicados.

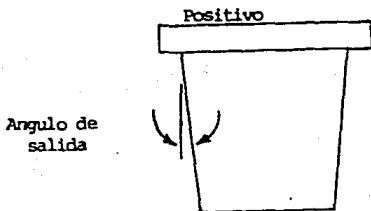


Fig. 10 Molde preferido

## 2) NO COLAPSIBLES

Se utilizan cuando el artículo final tiene un ángulo de salida usualmente de un grado, de lo contrario no se podrá extraer de la cavidad del molde.

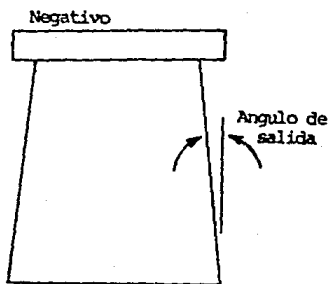


Fig. 11 Molde no recomendable

## 4.2. MEZCLA DE POLVOS

Es poco frecuente que un solo polvo posea todas las características necesarias para un proceso o producto dado. Es por tanto conveniente que el material de partida sea una mezcla de polvos de medidas y composiciones diferentes.

Esto se realiza con diferentes propósitos:

- 1) para obtener una distribución uniforme de las partículas.
- 2) Para mezclar polvos de distintos materiales.
- 3) Para revestir las partículas con lubricantes.

La combinación y el mezclado de los polvos son esenciales para la uniformidad del producto terminado, la distribución del tamaño de las partículas se obtiene combinando los diferentes tipos de polvos utilizados: los polvos de aleación, los lubricantes y los agentes volátiles se agregan a los polvos combinados durante el mezclado.

La mezcla puede realizarse tanto en seco como en húmedo, puede emplearse agua o un solvente para obtener un mejor mezclado, reducir el desgaste y los riesgos de explosión; los lubricantes tales como el ácido estearico, estearato de zinc, aceites, parafina glicerina, alcanfor, cera en benzol, etc. reducen el desgaste de la matriz. El tiempo de mezclado varía de unos minutos a varios días dependiendo de la experiencia y los resultados deseados.

En la mayoría de los mezcladores rotatorios es necesaria una velocidad lenta para evitar la separación de partículas de diferentes densidades por la fuerza centrífuga, la mezcla de polvos de densidades diferentes puede ser un problema muy



difícil, ya que los polvos más densos tienden a segregarse hacia el fondo, se ha encontrado que el uso de polvos muy finos evita en parte esta situación.

# **CAPITULO V**

**TIPOS DE FABRICACION**

**DE PIEZAS**

**CON**

**POLVOS METALICOS**

## CAPITULO V

### TIPOS DE FABRICACION DE PIEZAS CON POLVOS METALICOS

#### 5.1. PRENSADO

El prensado de un polvo metálico para darle la forma deseada a una pieza mecánica se puede realizar ya sea en caliente o en frío.

##### 5.1.1. PRENSADO EN FRIO

Las partículas se aplanan más o menos, según se su blandura, en los puntos en los que se forma el contacto y tienden a unirse en esas regiones por soldadura fría.

La forma más simple para el prensado es la cilíndrica tanto desde el punto de vista de operación como de la manufactura del dado.

Este dado consiste en disco de espesor igual o menor que el diámetro del cilindro, a medida que aumenta su altura la densidad de la pieza prensada falla, debido a que aumenta la fricción en las paredes del dado y dentro del polvo mismo: esto se puede evitar o disminuir recubriendo dichas paredes con ácido esteárico, parafina u otros lubricantes.

El dado debe construirse con un acero grado herramienta endurecido en aceite y del tipo no deformable con una dureza

rockwell de 40 a 50 sin llegar a su máximo para evitar las posibles fracturas frágiles.

La densidad final de un prensado se regula por la contracción sufrida durante la operación y es una de las características más importantes de este proceso, y en general es mayor en compactos formados a moderadas presiones que en altas, las presiones considerables pueden producir un ensanchamiento en lugar de una contracción, debido al escape de gases aprisionados o sueltos, los polvos se prensan a su forma en moldes de cero a presión que varía de 20 a 1400 MPa. (20,000,000 a 1,400,000,000 N/M<sup>2</sup>), esta presión se aplica para disminuir la porosidad y al mismo tiempo aumentar la cohesión entre las partículas y el número de puntos de contacto, en cada caso existe un presión óptima arriba de la cual se obtiene solo una pequeña ventaja mejorando las propiedades.

A causa de la necesidad de moldes resistentes y prensas de gran capacidad, el costo de producción se incrementa con las altas presiones, se utilizan por lo general prensas operadas mecánicamente debido a su alta producción; la prensa de punzón sencillo y la prensa de punzón múltiple rotatoria de alta velocidad, están proyectadas en tal forma que su operación desde el llenado de la cavidad con polvo hasta la

ESTA TESTS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

eyección de la pieza compacta terminada puede ser, ya sea un ciclo continuo o sencillo.

Cabe mencionar que en un ciclo sencillo las piezas fabricadas tienden a segregarse en la parte inferior una zona de pequeña densidad, mientras que en las de ciclo continuo la densidad en la superficie superior e inferior en general son menos densas que en la parte media.

La velocidad de aplicación de la presión es otro factor que debe considerarse, ya que si ésta es demasiado elevada los gases no tienen oportunidad de escapar por lo tanto, la densidad, resistencia a la atracción y alargamiento tienden a aumentar con la temperatura y el tiempo de sinterizado.

### 5.1.2. PRENSADO EN CALIENTE

Este método permite la fabricación de piezas generalmente grandes empleando equipo de prensado pequeño.

Además, es más fácil asegurar prensados con la densidad teórica que con el prensado en frío, en el sinterizado raramente se acerca uno a las densidades máximas, excepto en el caso de sinterización con fase líquida.

El prensado en caliente no se ha utilizado mucho comercialmente ya que lleva inherente un proceso lento en el cual son necesarias varias horas para completar un solo prensado.

Este método consiste en aplicar presión y temperatura simultáneamente; el moldeado y sinterizado tienen lugar al mismo tiempo, lo cual origina densidades mayores y elevadas producciones.

Las ventajas del prensado en caliente en comparación con el compactado y sinterizado en frío son una reducción en el contenido de gas y en los efectos de estrechamientos, conjuntamente con mayores resistencias, durezas, elongaciones y densidades.

Los factores que limitan su mayor uso incluyen el alto costo de los moldes, problemas en el calentamiento, en el control de la atmósfera y el espacio de tiempo requerido para el ciclo. Las temperaturas adecuadas para el prensado en caliente de los polvos de tungsteno son demasiado altas para usar moldes de acero por lo que se requieren moldes de grafito. El prensado en caliente se utiliza hasta cierto punto en la manufactura de carburos cementados pero, en la mayoría de los casos no se ha tenido éxito en los intentos de cambiar el sinterizado por el prensado.

El prensado en caliente se lleva a cabo en dados de acero, grafito y cerámicos según sean los requerimientos de la pieza a fabricar. Una de las mayores desventajas de este proceso es el elevado costo de fabricación de piezas grandes cuando se utilizan dados de acero; el dado de grafito se

emplea para temperaturas superiores a 1000 C y se recomienda un aislante de negro de humo con limitantes de presiones de 13.77 MN/m.

El dado cerámico se utiliza para evitar las limitaciones de presión y además permite una resistencia mecánica excelente a temperaturas elevadas y no son reactivos químicamente pero presentan la desventaja de que forman aleaciones con la mayoría de los metales.

## 5.2. PRESINTERIZADO

En este proceso las piezas comprimidas son calentadas durante un corto tiempo a una temperatura considerablemente menor que la temperatura final de sinterizado. A partir de esta operación las piezas adquieren suficiente resistencia para ser trabajadas sin dificultad. Este proceso es particularmente útil en las piezas difíciles de maquinarse en las que deben hacerse agujeros.

### 5.3. SINTERIZADO

La sinterización es la operación fundamental de la Metalurgia de Polvos y es utilizada para darle al material una mayor resistencia y pueda ser sometido a procesos posteriores.

El sinterizado es un fenómeno complejo como la unión de las superficies adyacentes de las partículas de una masa de polvo o de un compactado por calentamiento

Este procedimiento puede clasificarse en dos grupos:

- 1) Aquellos procesos en los cuales ninguno de los metales compactados se funde y en los que el crecimiento del grano y su difusión al tener lugar a través de superficies soldadas en frío conducen a la cementación adecuada de las partículas en un tipo de estructura celular.

La cohesión del producto sinterizado se deba primeramente al aumento de las superficies de contacto entre partículas causadas, por una parte, por el aumento de la plasticidad del metal y por otra, por el aumento de la movilidad de los átomos que permite la desaparición de las asperezas de las partículas.



2) Procesos en los cuáles uno de los metales se funde infiltrándose entre las partículas del otro, aleándose con su superficie y produciendo así una unión metálica continua.

Durante el proceso se forman contornos de grano, lo cual es el principio de la recristalización, la plasticidad se incrementa y se produce un mejor entrelazamiento mecánico por la formación de un fluido.

También, cualquier gas presente que interfiera es expulsado por el calor.

Los fenómenos durante la sinterización son complejos, la fase líquida no aparece más que momentáneamente.

El sinterizado es en realidad una operación de precalentamiento de materiales, los cuáles se someten a elevadas temperaturas en un ambiente de atmósfera controlada. Los metales se sinterizan generalmente a una temperatura inferior a la del constituyente de más alto punto de fusión, generalmente en un 70 u 80% de su temperatura, mientras que ciertos materiales refractarios puede ser que requieran temperaturas cercanas al 90%.

| METALES Y ATMOSFERAS DE SINTERIZACION |   |                 |       |      |
|---------------------------------------|---|-----------------|-------|------|
| H                                     | Amoniaco<br>disociado   | Ar o He         | Vacio | Aire |
| W                                     | Fe  | Cr              | Ti    | Pt   |
| Mo                                    | Ni  | Mg              | Zr    | Au   |
| Co-WC                                 | Cu  | Cualquier metal | Cb    | Ag   |
| Fe                                    | (se usa de preferencia<br>al vacio con presión<br>de vapor alta.) |                 | Ta    | AL   |
| Ni                                    |   |                 | V     |      |
| Cu                                    |   |                 | Cr    |      |
| Cr                                    |   |                 |       |      |

Tabla I En esta tabla se enlistan algunas atmósferas de sinterización de acuerdo al material empleado.

La mayoría de las operaciones de sinterizado se desarrollan en tres etapas a las que corresponden tres zonas diferenciadas de los hornos:

La primera de ellas es la cámara de eliminación o purga, diseñada para consumir el aire, volatilizar y eliminar los lubricantes o aglutinantes, que pueden estorbar a una buena unión, y elevar lentamente la temperatura de los comprimidos de manera tal que el aire y el lubricante atrapados no generen una presión interna con la hinchazón o fracturas consiguientes.

En caso contrario de que existan sustancias volátiles en cantidades considerables, el producto final tenderá a ser poroso y permeable.

La segunda o zona de alta temperatura es el lugar donde realmente tienden a unirse por difusión los metales en estado sólido las partículas del polvo.

El tiempo de permanencia debe ser suficiente para alcanzar la densidad pretendida y las propiedades finales.

La tercera es la zona de enfriamiento, la cuál se utiliza para rebajar la temperatura y evitar así la oxidación con la descarga al aire, y un posible choque térmico.

Debe evitarse la formación de películas superficiales indeseables como óxidos e impurezas en los polvos antes de su mezcla, para esto se emplea una atmósfera protectora controlada, la cuál no debe contener ningún oxígeno libre y debe ser neutra respecto al metal que va a sinterizarse.

### 5.3.1 SINTERIZADO POR GRAVEDAD

Este proceso tiene una esencial aplicación en la fabricación de láminas de acero inoxidable. Se deposita un espesor uniforme de polvo sobre charolas de cerámica y se sinterizan hasta 48 horas en gas de amoníaco dissociado, a alta temperatura, las hojas se laminan para obtener uniformidad en el espesor y un mejor acabado superficial.

Las láminas porosas de acero inoxidable son resistentes a la corrosión y se utilizan para filtros de gasolina, aceite y productos químicos.

### 5.3.2. SINTERIZADO POR CHISPA

Es un método que combina el prensado y el sinterizado de polvos metálicos. a una pieza metálica densa en un tiempo de 12 a 15 segundos.

Durante la coheración, se descarga una chispa eléctrica de alta energía de un banco de capacitores, los que eliminan en uno o dos segundos los contaminantes superficiales de las partículas de polvo; esto origina que las partículas se combinen como en el sinterizado convencional formando una masa sólida coherente inmediatamente después de la chispa, la corriente continua pasa por un tiempo de 10 segundos con una temperatura muy por abajo del punto de fusión del material. lo que hace que se adelante la unión de los cristales entre las partículas, finalmente con presión hidráulica la masa se comprime entre los electrodos para incrementar su densidad.

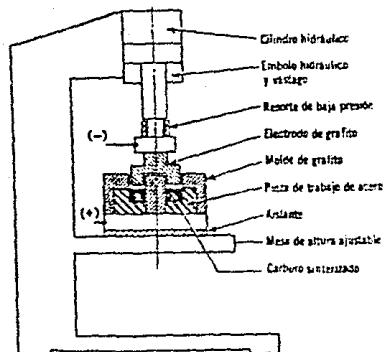


Figura. 12

La figura 12 nos muestra un esquema de una máquina de sinterización por chispa que utiliza descarga por chispa de alta energía para contener los contaminantes superficiales de las partículas de polvo, esto es seguido por un ciclo de calentamiento combinado de 10 a 12 segundos por resistencia y descarga eléctrica.

### 5.3.3. SINTERIZADO CON FASE LIQUIDA

La sinterización en fase líquida es un proceso muy diferente al sinterizado en fase sólida, y deben existir relaciones de fase muy específicas a la temperatura de sinterizado.

Esta es practicable solamente cuando existen dos fases con punto de fusión muy diferente y cuando la cantidad de fase líquida es muy pequeña.

Además, la fase líquida deberá mojar toda la masa del sólido, comúnmente suelen emplearse para este proceso el wolframio y el cobre ya que su punto de fusión es muy diferente. Obviamente este procedimiento no sería posible si el tanto por ciento del volumen del wolframio fuera menor que el de cobre, ya que el wolframio no podría formar una red esquelética autosoportante y al fundirse el cobre, el compactado se derrumbaría.

Las estructuras preparadas por esta técnica están prácticamente libres de poros y por consiguiente, tienden a ser resistentes. Algunas veces se obtiene una sinterización en fase líquida más aceptable, prensando primero el polvo que forma la red del punto de fusión elevado, y una segunda operación hace que la fase líquida penetre en la estructura porosa de la misma forma que una esponja absorbe el agua.

#### 5.3.4. HORNOS DE SINTERIZADO

Los hornos para sinterizado pueden ser de tipo intermitente o continuo, dependiendo de la temperatura deseada, el tiempo de sinterización necesario y la naturaleza de la atmósfera protectora dentro del horno.

El horno de tipo continuo tiene una banda de malia de alambre para transportar las piezas compactas a través del horno. Un horno de banda transportadora es muy adecuado desde el punto de vista económico, ya que da un ciclo de tratamiento termico para muchas piezas; tambien se utilizan hornos de empujadores con solera de rodillos y son similares a los hornos de tipo continuo.

El principal tipo de horno empleado es el de resistencias electricas laterales, en las cuales se puede controlar fácilmente la temperatura, los hidrocarburos y los nitruros; mientras que en un horno calentado por gas es más difícil controlar la atmósfera dentro del horno.

el horno característico para sinterizar tiene tres partes principales:

- a) Parte de la carga, la parte de la purga y el precalentamiento.
- b) Parte del sinterizado.
- c) Parte del enfriamiento.

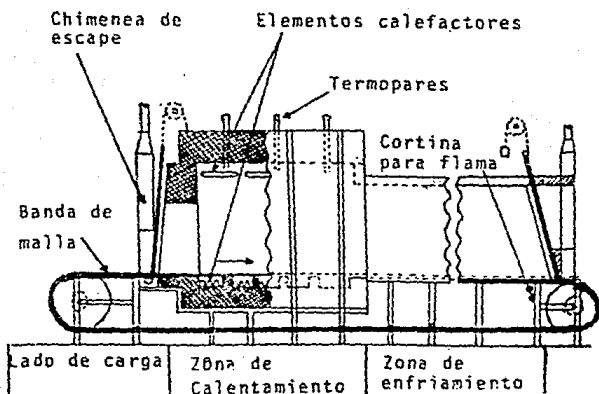


Figura 13. Horno tipo continuo, para sinterización de piezas de polvos metálicos.



#### 5.4. COMPACTADO

En todo proceso pulvimetalúrgico una de las operaciones más críticas y determinantes es el compactado, la habilidad para obtener una densidad y una porosidad satisfactoria en toda su masa determinan la factibilidad de manufactura.

El compactado en la mayoría de los casos se realiza en frío, bajo una presión del orden de  $1.013 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  a  $2.026 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ , aunque existen aplicaciones para las cuáles se realiza el compactado en caliente. En este proceso se consolida el polvo en la forma deseada y tan cerca como sea posible de las dimensiones finales, teniendo en cuenta cualquier cambio dimensional que resulte del sinterizado. El producto compactado no posee ninguna plasticidad pero sin embargo, es lo suficientemente resistente para poder ser manipulado sin precauciones especiales. La dureza crece con la presión y en ciertos casos puede ser netamente superior a la del metal colado.

Por lo general, el compactado se hace en prensas mecánicas, hidráulicas e híbridas (combinada de mecánica, hidráulica o neumática). Las prensas mecánicas se operan por movimiento de levas giratorias, las presiones varían entre 67 y 690  $\text{MN/m}^2$ . Siendo las más frecuentes de 140 a 415  $\text{MN/m}^2$ . La capacidad en la mayoría de las prensas es inferior a los  $9 \times 10^6$  Newtons. por consiguiente, la mayor parte de los

productos realizados con polvos metálicos tienen secciones transversales inferiores a los 2000 mm.

El polvo preparado fluye a la matriz por gravedad hasta que rebosa un poco, este exceso se elimina por rasado, y así el volúmen determina la cantidad; la pieza se cierra y comprime el polvo.

Otra posibilidad es controlar por pasada la cantidad de polvo y también dosificarlo preformándolo en tabletas en una máquina especial para ello. Durante el compactado, las partículas de polvo se desplazan primordialmente en la dirección de la fuerza aplicada, el polvo no fluye como un líquido pero desarrolla una fuerza antagonista de la misma intensidad al frotamiento entre las propias partículas y las superficies de la matriz.

El desgaste de los moldes es considerable, y sólo se justifica cuando la producción del material es satisfactoria, la cohesión del producto es debida esencialmente a las fuerzas de interacción interatómicas que varían. Cuando dos sólidos están en contacto, sólo una pequeña fracción de sus superficies comunes están en contacto real, es decir, a distancias en que las fuerzas interatómicas tienen un valor notable. de la misma manera en

un polvo no compactado la distancia entre dos átomos de partículas diferentes es relativamente grande, las fuerzas de atracción son prácticamente nulas.

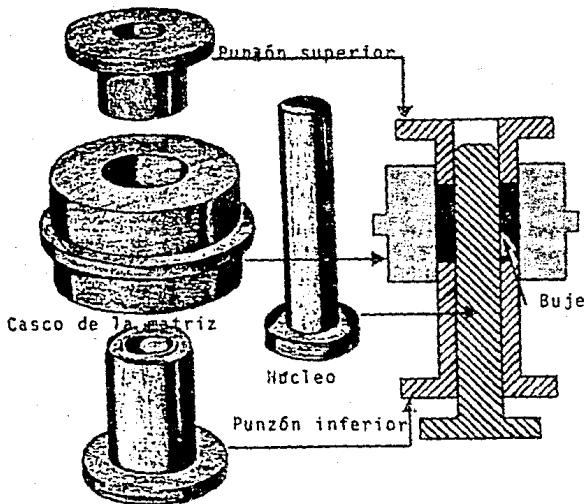


Figura 14. Arreglo del herramental para el compactado de polvo de bronce para formar un buje.

# **CAPITULO VI**

## **APLICACION**

### **DE LOS**

## **POLVOS METALICOS**

## CAPITULO VI

### APLICACION DE LOS POLVOS METALICOS

Esta tecnica, descubierta en 1809 no recibió aplicación industrial sino a partir de 1910 para la fabricación del tungsteno. Desde 1935 este procedimiento se ha desarrollado considerablemente y puede ser aplicado a todas las aleaciones usuales.

Inicialmente los métodos de la Metalurgia de Polvos se restringen a la compactación de metales refractarios y a la manufactura de chumaceras de bronce porosas y herramientas de carburo cementado. Durante la segunda guerra mundial y en los años de la posguerra, se ha extendido considerablemente el campo de aplicación de la Metalurgia de Polvos.

Una aplicación interesante del proceso se efectuó en Alemania durante la guerra, consistió en la producción de bandas para la conducción de granadas, ya que la escasez de otros metales forzó a los alemanes a hacer estas bandas con hierro sintetizado.

Las principales aplicaciones de la Metalurgia de Polvos se pueden clasificar del siguiente modo:

## 6.1. METALES REFRACTARIOS DUCTILES

Los polvos de tungsteno, de molibdeno y tántalo obtenidos por reducción de sus óxidos por el hidrogeno, son sinterizados a una temperatura próxima a su punto de fusión por el paso de una corriente eléctrica en metal, y después martillados en caliente y trefilados para obtener estructuras de grano grueso como filamentos metálicos de las lámparas eléctricas.

## 6.2. FABRICACION DE COJINETES Y PARTES METALICAS POROSAS

En este tipo de aplicación se requiere una porosidad controlada, la posibilidad de impregnación de aceite y el empleo de adiciones no metálicas tal como el grafito, es utilizado comúnmente en la producción de cojinetes, engranes y filtros porosos. Los cojinetes de autolubricación se hacen de polvo de bronce con porosidad controlada después de sinterizar, los poros se llenan más tarde con aceite, lo cual implica una reserva de lubricante adicional; en el arranque, y en todo aumento de carga, el cojinete se calienta, el aceite se dilata y una parte se escapa de los poros para asegurar el engrase; en la parada, el aceite se reintegra al metal por la acción de la capilaridad, debido a que la distribución del calor es muy pequeña por el

frotamiento, estos cojinetes no pueden ser utilizados para grandes velocidades de deslizamiento, los cojinetes de autolubricación se emplean extensamente en la industria automotriz y en máquinas lavadoras, refrigeradores, relojes eléctricos y otros equipos. Los engranes de metal poroso se emplean en bombas para aceite por sus propiedades de lubricación. Los filtros de metal, se utilizan en la industria química y son similares al tipo cerámico, pero tienen mayor resistencia a los choques mecánicos y térmicos.

### 6.3. PRODUCCION DE CARBUROS Duros CEMENTADOS

Se emplean carburos de wolframio, molibdeno y tántalo en una matriz de cobalto o níquel para herramientas cortantes y resistentes al desgaste y para matrices sometidas a servicios duros.

En la producción de herramientas de corte de carburo cementado se comprime y presinteriza una adecuada mezcla de carburos de tungsteno, tántalo y titanio con cobalto como cementador. De esta forma los materiales pueden cortarse, maquinarse y esmerinarse hasta su forma final.

Las herramientas tienen alta resistencia compresiva, dureza al rojo y resistencia al desgaste.

#### 6.4. FABRICACION DE CONTACTOS ELECTRICOS

Están constituidos por una matriz conductora de la electricidad y del calor, en las que están embebidas partículas resistentes al desgaste.

Las piezas para contactos eléctricos se adaptan al fabricación por Metalurgia de Polvos, ya que es posible combinar varios polvos metálicos y mantener todavía algunas de las principales características de cada uno. Las piezas deben ser resistentes al desgaste y algo refractarias y al mismo tiempo tener buena conductividad eléctrica. Se han desarrollado muchas combinaciones, tales como tungsteno-cobre, tungsteno-cobalto, tungsteno-plata, plata-molibdeno y cobre-níquel; el tungsteno es para las aplicaciones eléctricas.

#### 6.5. PRODUCTOS DE ESTRUCTURAS ESPECIALES

Son aplicables cuando no existe un método usual para su elaboración. Se trata de materiales mixtos macroscópicamente homogéneos, formados de constituyentes diversos, metálicos, semimetálicos y no metálicos.

Se realizan combinaciones para utilizar las características del material obteniendo un metal con las recomendaciones



necesarias deseadas, se han manufacturado materiales de fricción, como revestimientos para embrague, zapatas para freno, en donde los materiales contienen una matriz metálica de cobre o bronce para obtener conductividad de calor, plomo o grafito para formar una zapata que ajuste uniformemente durante la operación y sílice o esmeril con fines de fricción.

En estos caben los llamados cermets, materiales cuyas propiedades son intermedias entre las de los cerámicos y los metales; generalmente comprenden dos fases: una fase dúctil (metal o aleación metálica) y una fase dura y refractaria (óxido, silicato, carburo, nitruro y boruro).

Estos productos son utilizados sobre todo en la construcción de turboreactores; imanes a base de polvo de hierro de muy alta pureza y de granos de dimensiones muy pequeñas.

**CAPITULO VII**

**OPERACIONES**

**DE**

**ACABADO**

---

## CAPITULO VII

### OPERACIONES DE ACABADO

Muchos productos realizados con la Metalurgia de Polvos están listos para ser utilizados en la forma en que salen del horno del sinterizado.

Sin embargo, frecuentemente son empleados algunos procesos de acabado como son:

#### 7.1. IMPREGNACION DE ACEITE

Los cojinetes de metal poroso representan uno de los productos importantes de la Metalurgia de Polvos.

Se utilizan generalmente porosidades que varían del 25% al 35%, ya que los valores más altos dan por resultado una resistencia menor del cojinete.

Los lubricantes son forrados dentro de los poros de la estructura, la impregnación se completa ya sea introduciendo el cojinete sinterizado en aceite caliente por un cierto tiempo o por un tratamiento al vacío.

El proceso se realiza a temperaturas cercanas a la temperatura de sinterizado, endureciendo parcialmente el material compacto y eliminando los materiales volátiles, sirviendo el tratamiento de infiltración para completar el sinterizado e introducir el metal secundario.

## 7.2. INFILTRACION

Es el proceso de llenado de los poros de un producto sinterizado con metal fundido con el fin de reducir la porosidad o mejorar las propiedades físicas. En esta operación el punto de fusión del metal líquido debe ser considerablemente más bajo que el del metal sólido.

Antes de la operación se debe realizar un tratamiento químico para incrementar el grado de infiltración. El metal líquido se infiltra dentro de la pieza ya sea permitiéndole entrar por la parte superior o absorbiéndolo por la inferior.

## 7.3. CALIBRACION

Los productos que exigen tolerancias muy estrechas pueden necesitar una operación final, tal como un reprensado de la pieza en un molde similar al emplearlo para compactarla.

Tal calibración de trabajo en frío que mejora la dureza superficial y la rugosidad así como la exactitud dimensional.

#### 7.4. TRATAMIENTO TERMICO

Todas las piezas pueden tratarse térmicamente por los métodos convencionales, aunque los resultados no siempre son conforme a aquellos obtenidos en metales sólidos. Los mejores resultados se obtienen con estructuras densas; la porosidad influye en la magnitud del flujo de calor a través de la pieza y permite la contaminación interna si se emplean en el proceso crisoles para tratamiento termico por baños de sal. Por esta razón, no se recomienda la cementación líquida para tratamiento superficial de piezas con polvos metálicos.

#### 7.5. RECUBRIMIENTO METALICO

Las piezas de alta densidad pueden recubrirse por procedimientos normales (infiltración e impregnación de aceite), pero las piezas de media y baja densidad requieren de un tratamiento térmico previo para cerrar los poros. Las preparaciones tales como martillado, pulido o impregnación de resina plástica cierran los poros de la superficie y eliminan la sal atrapada que origina que se aboise. inmediatamente después se prosigue a utilizar cualquier otro procedimiento, ya sea de infiltración o impregnación de aceite.

## 7.6. MAQUINADO

Una de las características de los productos de polvo metálico es que pueden prensarse en moldes con formas terminadas y dimensionalmente exactas. Sin embargo, los productos que requieren tales características como roscas, ranuras, muescas o agujeros laterales no pueden producirse por métodos de la Metalurgia de Polvos y deben terminarse por maquinado.

El uso de refrigerantes con agua no es recomendable para piezas a base de hierro ya que pueden presentar corrosión.

## 7.7. CARACTERISTICAS DE DISEÑO

Deben considerarse una serie de factores especiales para el diseño de las piezas que serán producidas mediante el proceso de la Metalurgia de Polvos. Ya que las resistencias que pueden obtenerse son en función de la densidad de los polvos prensados. para obtener propiedades de resistencias homogéneas es preciso que las presiones sobre el compacto sean uniformes y la acción de prensadores verticales en lugar de horizontales proporcionan una mejor presión.

Los diseños no deben contener nunca agujeros cuyos ejes sean perpendiculares a la dirección de compresión, las tolerancias dimensionales alcanzadas son de 0.0254 mm. en la dirección perpendicular a la compresión.

La Metalurgia de Polvos es la más adecuada para la producción de piezas de forma cilíndrica o rectangular que no tengan variaciones dimensionales en las secciones transversales.

Los agujeros pequeños y largos no deben utilizarse y es preferible contar con un borde mínimo sobresaliente de aproximadamente 1.5875 mm. en la cabeza.

Estas precauciones facilitarán la producción, así como minimizarán los costos herramientas.

# **CAPITULO VIII**

**VENTAJAS**

**Y**

**LIMITACIONES**



## CAPITULO VIII

### VENTAJAS Y LIMITACIONES

Al igual que la mayoría de los demás procesos de manufactura, la Metalurgia de Polvos posee algunas ventajas e inconvenientes propios con los que deben familiarizarse los proyectistas, para aprovechar acertada y económicamente el método más conveniente a emplear, esto nos permitirá hacer un uso adecuado del proceso. Entre las ventajas tenemos:

#### 8.1. VENTAJAS

- 1) El proceso de los polvos es de interés particular ya que libera las limitaciones impuestas por el equilibrio de fases como son la forma y el tamaño de grano.
- 2) Posibilidad de conseguir una amplia gama de composiciones. Pueden obtenerse sin inconvenientes piezas de una pureza alrededor del 99%, o pueden combinarse materiales enteramente diferentes como metales y no metales. Existe la posibilidad de ajustar las composiciones de acuerdo a las condiciones y requerimientos de los clientes.

- 3) Desaparición del mecanizado. La exactitud dimensional y el acabado de superficie de las piezas realizadas por la técnica de Metalurgia de Polvos son tales que, en muchos casos, puede eliminarse todo mecanizado. Cuando se requiera una precisión dimensional no usual, un simple estampado o matrizado dan las características equivalentes a las de un mecanizado de fabricación. Dado que pueden obtenerse formas complejas y rara vez se requieren maquinados complicados.
- 4) Posibilidad de conseguir una extensa variedad de propiedades. La densidad puede variar desde los productos de alta porosidad o permeables hasta las de los de alta densidad, la producción de carburos sinterizados y cojinetes porosos, es posible por este proceso, así como los productos bimetálicos formados a partir de capas moldeadas de diferentes polvos metálicos. El amortiguamiento de ruidos y vibraciones pueden adaptarse a la medida de cada producto. Es, así mismo, posible una amplia variación en la resistencia mecánica.
- 5) Gran rapidéz de producción. Los procesos de la Metalurgia de Polvos se prestan a ritmos elevados de producción y a la automatización, las etapas del proceso son todas sencillas, la exigencia de mano de obra es reducida, la uniformidad y reproducibilidad se cuentan entre las más altas.

- 6) Eliminación de desechos. La Metalurgia de Polvos es el único proceso de producción ordinario donde no existe el desperdicio de materiales, esta es una ventaja importante cuando se trabaja con materiales caros y a menudo hace posible el empleo de materiales muy costosos sin elevar el precio final del producto.

## 8.2. LIMITACIONES

Las limitaciones de la Metalurgia de Polvos se deben esencialmente a los materiales, los hombres y las máquinas; entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- 1) Limitaciones de diseño. Realmente la Metalurgia de Polvos no es adecuada a determinadas formas, las piezas deben tener esencialmente secciones uniformes a lo largo del eje de compresión, el material como se ha dicho, no fluye libremente, y por lo tanto, no se pueden hacer piezas con partes penetrantes.

La concetricidad se ha de cuidar bien, y el límite de tolerancia en este aspecto ha de ser razonable, el cociente longitud/diámetro está limitado, y más aún, el tamaño global debe adaptarse a la capacidad de las prensas disponibles.

2) Costo de materiales elevados. Los polvos metálicos son caros y algunas veces difíciles de almacenar sin peligro de deterioro, sin embargo, la ausencia de chatarra y la desaparición de mecanizado suelen compensar el costo de la materia prima.

3) Características mecánicas inferiores. En la mayoría de los casos, para un amaterial dado, las piezas sinterizadas carecen de las propiedades físicas de las forjadas o fundidas, por tanto, se debe eliminar su uso cuando intervienen tensiones mecánicas elevadas. Esta es una técnica en la cual es más necesaria la colaboración entre el fabricante de los polvos, el de las piezas por Metalurgia de Polvos y el usuario con sus técnicos y proyectistas.

4) Costo de matrices relativamente alto. Los costos iniciales de moldes y herramientas son elevados y estos deben ser contrarrestados por los métodos de producción en masa, dado lo elevado de las presiones y la gran abrasión que se dan en el proceso, las matrices deben construirse de materiales caros y ser relativamente robustas.

Debido a la fricción y a la tendencia que tienen los polvos metálicos a pegarse a las paredes del molde, existe con frecuencia falta de homogeneidad en las propiedades físicas del compacto.

5) Limitaciones en las máquinas. Las máquinas, naturalmente tienen un límite de capacidad, y esto pone freno al tamaño de los objetos, algunos metales son difíciles o imposibles de comprimir ya que tienden a soldarse en frío a través del dado causando así desgaste en éste, algunos polvos en estado finamente dividido presentan peligros de explosión e incendio, entre ellos están: aluminio, magnesio, zirconio y titanio.

## CONCLUSIONES

1. La Metalurgia de Polvos constituye uno de los procesos que imprimen mayor dinamismo en el desarrollo productivo. Además de ser un arte, fue uno de los primeros caminos utilizados por el hombre para la elaboración de piezas mecánicas.
2. Los diversos procesos existentes en la Metalurgia de Polvos son empleados tomando en cuenta el aspecto económico, el comportamiento del metal durante el procesamiento, los requerimientos prácticos del metal y del tiempo de operación.
3. En México esta industria carece de una integración vertical, por lo que confronta serios desequilibrios a pesar de que el número de productos elaborados por medio del proceso de Metalurgia de Polvos es tan grande que puede considerarse como una industria en sí misma, estos desequilibrios suceden muchas veces por la ausencia de una política promotora de estos bienes, en particular a la carencia de tecnología y falta de financiamiento.
4. La trituración, molienda y pulverización son requeridos para romper el material, la utilización de estos va a depender de la forma y el tamaño de grano requerido.

existen otros métodos en los cuales se necesita la obtención de granos más finos con un grado mayor de pureza y que tienen

un punto bajo de fusión y sólo se pueden mezclar en estado líquido, en estos casos podemos utilizar la atomización, la condensación de vapores metálicos y en el último de los casos algún procedimiento químico.

5. Dentro de la Metalurgia de Polvos encontramos dos procedimientos que son esenciales para mejorar la resistencia, la densidad y la porosidad del material como son el sinterizado y el compactado, que por el modo en que trabajan presentan menos complicaciones durante el proceso.
6. Las características físicas y la composición química de los polvos metálicos es fundamental para obtener una buena compactación, ligación o enlace continuado entre las distintas partes de la partícula. Como ya es sabido, un polvo metálico nunca está formado de partículas de iguales dimensiones y se considera que su forma es siempre esférica.
7. Las propiedades prácticas de los polvos metálicos tales como: volumen másico, factor de fluencia, compresibilidad y contracción son propiedades utilizadas directamente

para la elaboración de piezas y van a depender de manera compleja de las características físicas de los polvos empleados.

8. Es poco frecuente que un solo polvo tenga todas las propiedades necesarias para un proceso o producto dado; por este motivo se hace necesario utilizar una mezcla de polvos de medidas y composiciones diferentes con el fin de obtener una mejor distribución del tamaño de grano y mejorar las propiedades del producto terminado.

9. Generalmente los tiempos de producción son mínimos en comparación con otros procesos, además el material empleado es aprovechado casi en su totalidad, es por ello que estas técnicas se están perfeccionando día con día.

10. Las principales aplicaciones de la Metalurgia de Polvos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1) Metales refractarios dúctiles (utilizados como filamentos de lámparas eléctricas).
- 2) Fabricación de cojinetes y partes metálicas porosas donde se requiere una porosidad controlada.
- 3) Producción de carburos duros cementados para herramientas de corte.
- 4) fabricación de contactos eléctricos.
- 5) Productos de estructuras especiales ( cuando no existe un método usual para su elaboración).



11. Los procesos de Metalurgia de Polvos presentan dificultades ya que deben emplearse a piezas con secciones uniformes. además se tiene que tomar en cuenta que la mayoría de los polvos metálicos son extremadamente caros y presentan una gran dificultad de almacenamiento.

## BIBLIOGRAFIA

### 1.- CARL A. KEYSER

"Ciencias de materiales para ingeniería"

Ed. Limusa

Edición. Primera

México 1975

Pág. 258-260

### 2.- C. CHAUSSIN

G. HILLY

"Metalurgia"

Tomo II

Ed. Urmo

Edición. Primera

México 1975

Pág. 276-289

### 3.- MYRON L. BEGEMAN

"Procesos de manufactura versión S.I."

Ed. Continental

Edición Tercera

México 1979

Pág. 266-290

4.- DEGARMO

"Materiales y procesos de fabricación"

Ed. Reverte S.A

Edición Segunda

España 1988

Pág. 279-289

5.- ZBIGNIEW. D. JASTRZERSKI

"Naturaleza y propiedades de los materiales para  
ingeniería"

Ed. INTERAMERICANA

Edición Segunda

Pág. 306-307

6.- Dr. A.V. SEYBOLT

"Técnicas de metalurgia experimental"

Ed. Limusa

Edición Primera

México 1969

Pág. 283-314

7.- Dr. EMILIO JIMENO

"Metalurgia general"

Tomo II

Ed. Saez-Buen suceso

Edición Segunda

Madrid 1955

Pág. 1165-1199

8.- SYDNEY H. AVNER

"Introducción a la metalurgia física"

Ed. Mc. Graw-Hill

Edición Segunda

México 1979

Pág. 599-625

9.- F. SKAUPY

"Cerámica de los metales"

Ed. Reverté S.A

Edición cuarta

México 1955

Pág. 67-82

10.- RAYMOND A. HIGGINS

"Ingeniería metalúrgica"

Tomo II

Ed. C.E.C.S.A

Edición Séptima

México 1982

Pág. 149-164

11.- LAWRENCE H. VAN VLACK

"Tecnología de materiales"

Ed. Fondo Educativo Interamericano

Edición Tercera

México 1982

Pág. 138-140

12.- LAWRENCE E. DOYLE

"Procesos de manufactura y materiales para  
ingenieros"

Ed. Diana

Edición Primera

México 1986

Pág. 235-249