

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Facultad de ingeniería

Escuela de ingeniería Mecánica



Título:

” Análisis del proceso de sinterización y la correlación que las diversas variables tienen sobre propiedades específicas”

Ing. Mario R. Martínez Chávez

Soyapango, Marzo 2019

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS	3
OBJETIVOS GENERAL, OBJETIVO ESPECIFICO	3
ALCANCES	4
MANUFACTURA POR SINTERIZACION, DEFINICIÓN Y CONCEPTOS, CARACTERISTICAS DE LOS POLVOS METALICOS	5
PUREZA, TAMAÑO DE PARTICULA	6
DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULAS, DENSIDAD, RELACION DE COMPRESION	7
FORMA DE LA PARTICULA, MICROESTRUCTURA DE LA PARTICULA, FACTOR DE FLUJO, CAPACIDAD DE SINTERIZACION, METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS METALICOS.....	8
DESINTEGRACION METALICA O PULVERIZACION, ATOMIZACIÓN	9
DEPOSICION ELECTROLITICA, METODOS QUIMICOS.....	11
PRINCIPIOS DE LA METALURGIA DE POLVOS	12
PROCESO DE METALURGIA DE POLVOS	13
SINTERIZACION	17
OPERACIONES SECUNDARIAS O PROCESAMIENTO ADICIONAL, AMONEDADO, DIMENSIONAMIENTO, MAQUINADO	18
IMPREGNACION, INFILTRACION, TRATAMIENTO TERMICO, CHAPEADO.....	19
UNION.....	20
APLICACIONES DE LA METALURGIA DE POLVOS: HOJA METALICAS POROSAS, COJINETES POROSOS, COJINETES PARA AUTOMOVILES.....	21
CARBUROS CEMENTADOS, TUNGSTENO DUCTIL, ROTORES BOMBAS Y ENGRANAJES, ESCOBILLAS DE MOTORES	22
ANEXOS.....	23
RESUMEN.....	32
CONCLUSIONES.....	34
BIBLIOGRAFIA.....	35

INTRODUCCION

En el presente trabajo se hace referencia a la manufactura por sinterización, la cual también es conocida por el nombre de metalurgia de polvos o pulvimetalurgia, de la cual se destacan cada uno de los procesos que este sigue.

Se hace mención de las características mecánicas que deben contener los polvos metálicos utilizados para este tipo de manufactura; así también los métodos de producción de estos mismos. Se encuentran descritas unas ecuaciones que modelan el comportamiento que tienen dichos materiales al ser sometidos a un proceso de sinterización. Ya que la porosidad es la fase común a todos los procesos de sinterización, se encuentran estudios sobre la porosidad total, el número de poros y el tamaño de los mismos, junto con algunas características morfológicas de los mismos, al sinterizar materiales a diversas temperaturas. Se trata, de esta forma, de poder modelar el comportamiento del material según la temperatura de sinterización.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

- Describir el proceso de sinterización como método alternativo en la manufactura de piezas varias utilizadas en la industria y los efectos que las variables del proceso tienen sobre las propiedades finales de las piezas fabricadas, y como este proceso puede ser una buena alternativa de fabricación para la industria metalmecánica y afines.

OBJETIVO ESPECIFICO

- Listar las variables que intervienen en el proceso de sinterización en la manufactura de piezas con énfasis en la de mayor relevancia.
- Analizar la correlación de las variables que intervienen en la sinterización sobre las propiedades de las piezas fabricadas por este método.
- Mostrar las ventajas y desventajas del método de sinterización sobre los métodos de manufactura con torno, fresadora, fundición y moldeo.
- Comparar los métodos tradicionales de manufactura con el método de sinterización.
- Mostrar como el método de sinterización puede ser una buena alternativa de manufactura de piezas de formas complejas para la industria.

ALCANCES

- *Investigación de carácter bibliográfico.*
- *Listado que presenta todas las variables que interviene en los procesos con énfasis en la de mayor relevancia.*
- *Análisis por método matemático que evidencia la influencia que las variables del proceso tienen sobre las propiedades de los materiales pulverizados.*
- *Cuadro comparativo de las ventajas y desventajas del proceso de sinterizado con los tradicionales.*
- *Cuadro comparativo entre los métodos tradicionales y el método de sinterización.*
- *Análisis económico de los proceso*
- *Artículo*

MANUFACTURA POR SINTERIZACION

La manufactura por sinterización se basa en la metalurgia de polvos o pulvimetalurgia, que actualmente es utilizado para la fabricación de una variedad de componentes como las herramientas de corte de carburo de tungsteno, partes refractarias, tantalio, molibdeno, entre otros. Comúnmente se agregan polvos no metálicos para mejorar la unión entre las partículas y dar ciertas propiedades características.

DEFINICION Y CONCEPTO

La metalurgia de polvos se puede definir como el proceso que se utiliza para fabricar componentes metálicos, no metálicos o mezclas de los dos, a partir de polvos de los materiales y después hacer objetos mediante la aplicación de presión y calor simultáneamente, o uno después del otro.¹

El calentamiento y la compactación de los polvos se llevan a cabo consecutivamente y también simultáneamente en los tiempos necesarios, ya que durante este proceso el calentamiento no supera el punto de fusión del metal base. En la metalurgia de los polvos, los metales se pueden caracterizar de la siguiente manera:

- Deben tener una capacidad de resistir una soldadura de fase sólida.
- Obtienen un grado de compactación lo suficientemente cerrado bajo presión, mientras que en las aleaciones debe obtenerse una mezcla suficiente e íntima para obtener una soldadura producida en forma de masa coalescente.

CARACTERISTICAS DE LOS POLVOS METALICOS

Los polvos metálicos tienen propiedades metálicas pobres, son propensos a los ataques de los productos químicos y de la atmosfera, y además tienen un alto costo; sin embargo, este método de producción es muy utilizado ya que existen muchos componentes que no se pueden producir mediante otros métodos.

¹ Procesos de manufactura, H.S. BAWA

Para la fabricación de productos mediante la metalurgia de polvos es de suma importancia el conocimiento exacto de estos y sus características las cuales se detallan a continuación.

PUREZA

En los productos fabricados mediante la metalurgia de polvos los elementos indeseables o las impurezas tienen efectos adversos en estos, ya que el polvo puede contaminarse y reaccionar con el medio ambiente lo que en muchos casos impedirá que se lleve a cabo una buena unión por difusión entre partículas en la etapa de sinterizado; sin embargo, si son puros y no contienen óxidos se obtienen mejores propiedades mecánicas y a su vez conlleva a la fabricación de una pieza de buena calidad y que además cumpla con los requerimientos mecánicos para la que fue diseñada y fabricada.

TAMAÑO DE PARTICULA

El tamaño de la partícula que se utiliza en la metalurgia de los polvos por lo general varía de 5 a 200 micras; además no todas tienen las mismas dimensiones ni son de una forma geométrica regular.

Es muy importante e influye en gran medida al producto final, pues las dimensiones de las partículas tienen un marcado efecto en el moldeo, resistencia, densidad, porosidad, permeabilidad y estabilidad dimensional.

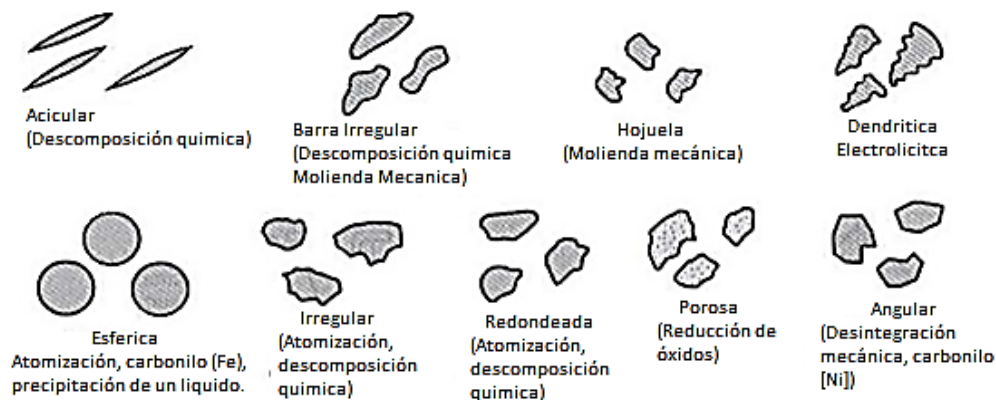


Figura 1. Forma de las partículas en la metalurgia de Polvos²

² Tomado de Monografía de la metalurgia de polvos, Sidorovas G, Luis F, Universidad de Carabobo.

DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULAS

La distribución de tamaño de partículas se especifica en términos del análisis de mallas que es el método más común para obtener el tamaño de la partícula y se hace por método de cribas de diferente tamaño así un numero alto de mallas indica un número menor de partículas.

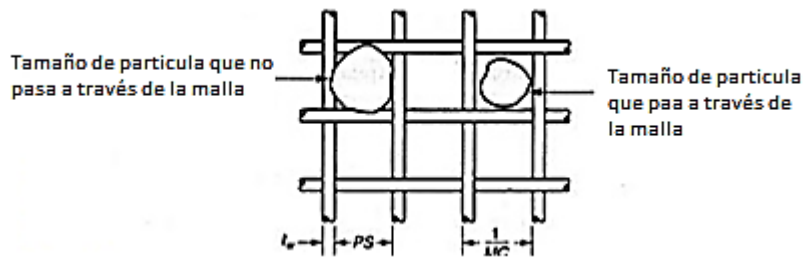


Figura 2. Malla de criba para seleccionar tamaños de partícula³

DENSIDAD

La densidad es masa por densidad de volumen.

El polvo comprimido se conoce como comprimido crudo o en verde y su densidad depende de la presión aplicada y tiende a la del metal macizo cuando la presión es elevada. Mientras mayor sea la densidad mayor también será la resistencia contra las fuerzas externas.

RELACION DE COMPRESION

Es la relación entre el volumen del polvo sin comprimir y el volumen del producto después de la presión, esta depende del tamaño de las partículas.

Esta relación es importante cuando se diseñan moldes para polvos particulares:

$$\text{Relación de compresión} = \frac{\text{densidad del polvo comprimido}}{\text{densidad aparente del polvo}}$$

³ Obtenido de Fundamentos de Manufactura Moderna, Groover, Mikell P.

FORMA DE LA PARTICULA

Los polvos metálicos tienen varias formas: esférica, angular, redonda entre otras. Las partículas esféricas se encuentran en el Zinc condensado y tienen excelentes propiedades de sinterización, mientras que las partículas irregulares tienen propiedades de moldeo superiores.

MICROESTRUCTURA DE LA PARTICULA

La microestructura ayuda a estudiar las fisuras y la porosidad del componente además revela diversas fases inclusiones, impurezas entre otras de la partícula.

FACTOR DE FLUJO

Se define como la rapidez a la que el polvo metálico fluye bajo la acción de la gravedad de un contenedor a través de un orificio, con forma y acabado estándar. La rapidez de flujo es necesaria para estudiar el comportamiento del polvo, para saber si llenara todas las cavidades y rebajes de un molde.

Este factor depende del tamaño como de la forma, la distribución de tamaños y la fricción de las partículas.

CAPACIDAD DE SINTERIZACION

Es la propiedad de los polvos metálicos debido a la cual no requieren un rango de temperatura muy estrecho para propósitos de sinterización en cuanto más alto sea esta propiedad el resultado se refleja en mejores propiedades mecánicas y físicas del producto.

METODOS DE PRODUCCION DE POLVOS METALICOS

Los polvos metálicos son el primer y fundamental requisito de la técnica de la metalurgia de polvos, sin embargo, para esta técnica se utilizan principalmente materiales con base de hierro y cobre.

A continuación, se describen algunos métodos para la producción de los polvos metálicos:

DESINTEGRACION METALICA O PULVERIZACION

La pulverización, operación también conocida como desintegración mecánica de los sólidos, podría definirse como aquel proceso mediante el cual se consigue la reducción del tamaño de las partículas de un sólido.

El torneado, maquinado, fresado, cepillado y rectificado son algunos de los procesos mecánicos para dicha producción; además se emplea el martillado y los molinos de turbulencia. Este proceso consta de cuatro etapas: aproximación de las bolas, atrapado y compactación de partículas, aglomeración y el abandono del aglomerado por energía elástica.

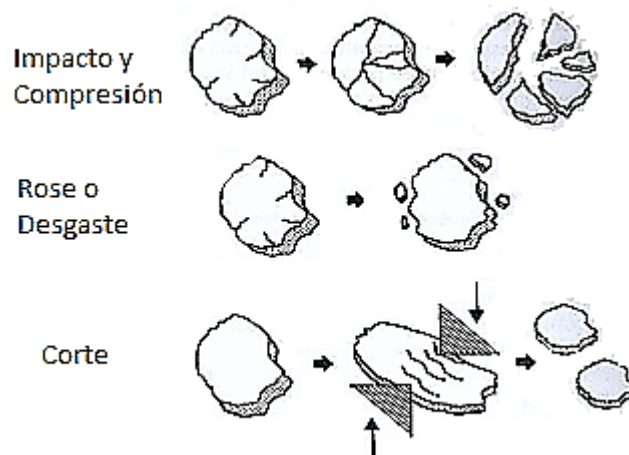


Figura 3. Mecanismos básicos de pulverización⁴

ATOMIZACION

Esta técnica se utiliza para trabajar metales que tienen bajos puntos de fusión como el plomo, estaño, aluminio, cadmio, cobre, entre otros.

⁴ Obtenida de <http:// analisis5acne.blogspot.com/2017/>

El polvo se obtiene mediante la pulverización del material en estado líquido y su fraccionamiento en gotas se produce antes de la solidificación. El medio que produce la pulverización puede ser agua o gas.

Atomización por gas

Se trata del método más común para producir polvos. La materia prima elemental se funde bajo un manto de aire o de gas inerte, o bajo vacío. A continuación, la cámara se llena de gas para forzar a la aleación fundida a través de una boquilla donde hay aire, N, He o gas Ar que impacta contra el material fundido en movimiento, rompiéndolo. Los polvos son en su mayoría esféricos, con presencia de algunas partículas y satélites asimétricos. Hablamos de satélite cuando una partícula más pequeña se pega a otra más grande durante el proceso de solidificación. Las dimensiones de calentamiento van de 5 kg a 3000 kg. Los tamaños van de 0 a 500 micrones. La producción en el rango de 20 a 150 micrones varía entre el 10 % y el 50 % del total. Se usa principalmente para aleaciones de Ni, Co y Fe, aunque también está disponible para aleaciones de Ti y Al.

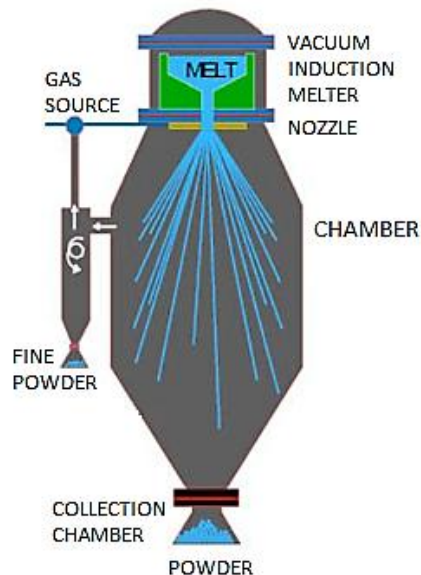


Figura 4. Atomización por gas.⁵

⁵ Figura tomada de <https://slideplayer.es/slide/1843095/>

DEPOSICION ELECTROLITICA

Este método se utiliza para producir polvos muy puros. Por lo general, se producen polvos de cobre, plata, hierro, tantalio, zinc, estaño y molibdeno por medio de electrolisis. La morfología final del polvo es dendrítica o esponja.



Powder Metallurgy, Vol 7. ASM Handbook. Materials Park, OH : ASM International , 1998 . P: 71.

Figura 5. Morfología final del polvo

El proceso de manufactura es similar a la electrolisis, pues el metal puro se deposita en el cátodo de un electrolito cuando se hace pasar una corriente a través de él. El metal se deposita en el cátodo y se retira cuando se llega al grado de finura que se requiere. Después se lava con agua para retirar las impurezas y se seca.

METODOS QUIMICOS

Algunos de los métodos químicos que se utilizan para producir polvos metálicos son la reducción, la precipitación y la condensación. El proceso de reducción química se emplea para reproducir polvos de metales que tienen un alto punto de fusión, como el cobalto, níquel, tungsteno, molibdeno y hierro.

En este proceso, se calientan óxidos metálicos en una corriente de hidrógeno para reducirlos a polvos; se pueden producir tamaños extremadamente finos de partícula. Las partículas de los metales que se obtienen por medio de la reducción, que tienen una naturaleza similar a la de las esponjas, son ideales para aplicar bajas presiones

debido a su suavidad y plasticidad. Los polvos puros de plata y cobre se producen por precipitación. La reducción del hierro se lleva a cabo calentando óxido de hierro con carbón. Al hierro producido de esta manera se le llama hierro esponja.

Los polvos metálicos de bajo punto de fusión y de ebullición, como el zinc, cadmio y magnesio, se producen por condensación, lo que implica alimentar una varilla de metal a una flama de alta temperatura que vaporiza el metal. Luego las gotas de vapor del metal se hacen pasar por una superficie fría del material, donde el metal puro se condensa en forma de polvo. Este método no es económico para llevar a cabo una producción de polvos a gran escala.

PRINCIPIOS DE LA METALURGIA DE POLVOS

En la metalurgia de polvos podemos establecer como la técnica adecuada e importante para poder fabricar metales y sus aleaciones que tienen puntos altos de fusión, como las cerámicas, los carburos de tungsteno, los cojinetes porosos auto lubricantes, entre otros.

Es un proceso con el cual se pueden realizar partes con base en polvos metálicos de un solo metal o varios metales diferentes, los cuales utilizan una técnica adecuada para poder compactarlos en una forma particular esto se realiza con una alta presión y luego se lleva a una alta temperatura más alta que su punto de fusión del polvo sólido, para que este mejore sus propiedades ya sea físicas como mecánicas.



Figura 6. Metalurgia de polvos ⁶

⁶ Imagen tomada de <https://www.google.com/search?>

PROCESO DE METALURGIA DE POLVOS

Este proceso consiste en fabricar piezas metálicas a partir de los diferentes tipos de polvo metálicos, por ejemplo: Hierro, Cobre, Acero inoxidable, Carburo de tungsteno entre otros. Pero los más utilizados para la producción de polvos es el cobre y el hierro donde luego de ser compactados se calientan en atmósfera controlada (**sinterizado**) para la obtención de la pieza.

De manera general esta técnica se puede dividir en varias etapas:

- Producción de los polvos metálicos.

Como se ha dicho anteriormente se obtienen diferentes formas para producir polvos metálicos dependiendo de las características físicas y químicas de los metales.

- Selección de polvos

En esta etapa se tiene en cuenta que para obtener la selección correcta de los polvos metálicos estos deben cumplir los requisitos necesarios ya sean químicamente puros, de dimensiones uniformes y tienen que ser capaces de soportar los requisitos del uso.

- Acondicionamiento de polvos.

Se debe tener en cuenta el cuidado minuciosamente en las partículas las cuales sean de tamaño uniforme y que no tengan humedad u óxidos.

- Combinación o mezcla de polvos

En esta etapa se debe alcanzar una mezcla homogénea de los materiales y añadir los lubricantes, materiales de unión y agentes volátiles para dar la porosidad deseable; esta operación se lleva a cabo antes de aplicar presión ya que debe obtener una distribución uniforme del tamaño de partícula.



Figura 7. Proceso de metalurgia de polvos

- Aplicación de presión a los polvos a la forma deseada (compactación).

En este proceso podemos observar que se reduce la porosidad e incrementa la coherencia de las partículas, las partículas de metales suaves requieren menos presión para poder soldarse en frío que la de los metales duros. El aumento de la presión incrementa la dureza y la densidad del material, pero existe un límite al incremento de presión, más allá del cual ya no produce ningún efecto.

En este proceso se introduce el polvo que está previamente mezclado en un molde de acero con la forma de la pieza deseada, donde los polvos son presionados de 150 – 900 MPa.

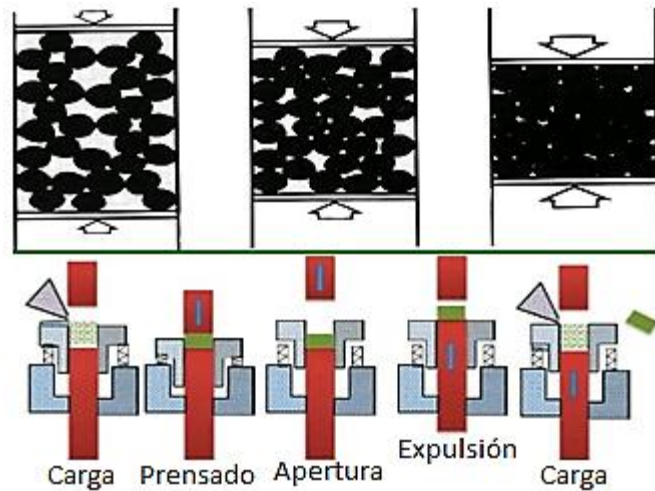


Figura 8. Aplicación de presión a los polvos a la forma deseada (compactación).

Existen diferentes métodos para la compactación, algunos de estos son:

- Troquel.
- Isostático.
- Forjado y extruido.
- Continuo.

El troquel es el más utilizado para la compactación, primero se llena el troquel, luego se presiona y se expulsa utilizando presiones de 20 a 50 ton/pulg²

- Sinterización del producto

Es el tratamiento térmico de los polvos compactados a una temperatura inferior a la temperatura de fusión del metal base de la mezcla.

Las temperaturas de sinterizado en algunos metales son:

- Hierro: 1095 °C
- Cobre: 870 °C
- Acero inoxidable: 1180 °C
- Carburo de tungsteno: 1480 °C

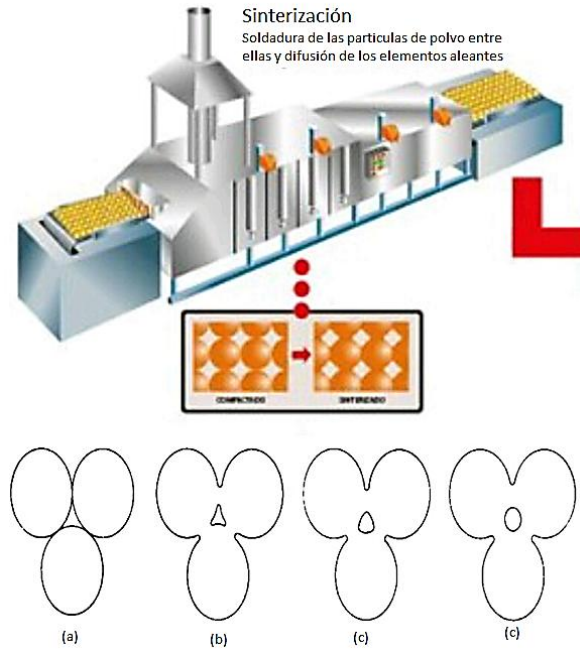


Figura 9. Soldadura de las partículas de polvo entre ellas y difusión de los elementos aleantes.⁷

- Procesamiento adicional del componente.

Calibrado: es la re-compactación de la pieza sintetizada para mejorar la precisión dimensional y el estado superficial.

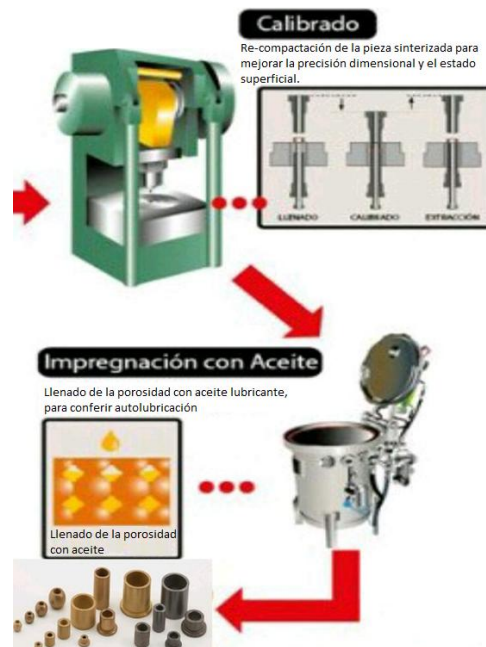


Figura 10. Calibración e impregnación con aceite

⁷ Figura tomada de <https://www.google.com/search?biw>

Impregnación en aceite: Es el llenado de las porosidades con un aceite lubricante para conferir auto lubricación. Es muy similar a la operación de impregnación, salvo que en este caso utiliza un metal fundido para rellenar los poros. Algunos de los metales más comúnmente usados son el cobre y el plomo.

Tratamientos térmicos y superficiales: los tratamientos térmicos son procesos donde únicamente se utiliza la temperatura como magnitud variable modificadora de la microestructura y constitución de metales y aleaciones, pero sin variar su composición química. El objetivo consiste en mejorar las propiedades mecánicas de metales y aleaciones mientras **los tratamientos superficiales** varia la composición química superficial de los aceros, adicionando otros elementos, principalmente la dureza, o resistencia al desgaste y la resistencia a la corrosión.

- Inspección y prueba de los componentes.
- Incorporación de métodos especiales de producción

SINTERIZACION

La sinterización es uno de los métodos de fabricación más antiguos de metales y materiales cerámicos. Actualmente se usa para obtener cuerpos sólidos compactando polvos metálicos o cerámicos, y aún más recientemente, para obtener algunas formas de polímeros a partir de sus partículas. Constituye a veces el único método por el cual puede impartirse a un material propiedades adecuadas para ser utilizado con una determinada finalidad. La adaptabilidad de un material dado a la fabricación por sinterizado depende de las propiedades de su polvo y del modo de manufactura. Las propiedades de los polvos que tienen fundamental importancia, son: el tamaño de las partículas, la distribución de tamaños, la forma, la compresibilidad, la pureza y la densidad aparente. Muchas de estas propiedades se hallan ligadas al procedimiento de fabricación del polvo. El tamaño de partículas que normalmente se emplea en el sinterizado oscila entre 0,5 μm y 200 μm .

Mediante la sinterización aumenta la fluidez del componente, lo que permite un mejor entrelazamiento de los átomos de los constituyentes, pero siempre se mantienen

debajo de su punto de fusión; La temperatura de sinterización siempre es menor que el punto de fusión del principal constituyente del polvo. Por otra parte, cada material tiene una temperatura óptima y no reporta ninguna utilidad excederla; además de la temperatura de sinterización, el tiempo de ella y la presencia de impurezas y gases también tienen un marcado efecto en el resultado de la sinterización.

El proceso de sinterización se acelera en el rango de la temperatura de recristalización del metal. En este punto ocurren muchos cambios en la propiedad del compactado. La porosidad del compactado está dado por la siguiente relación:

$$\text{Porosidad} = (1 - \text{Densidad aparente} / \text{densidad teórica}) * 100\%$$

OPERACIONES SECUNDARIAS O PROCESAMIENTO ADICIONAL

Generalmente, después de la sinterización los componentes están listos para ser utilizados. En muchos casos se necesitan operaciones posteriores para obtener un mejor acabado superficial y propiedades, a las cuales se les conoce como operaciones secundarias. A continuación, se describen cada una de ellas.

AMONEDADO

Es el proceso de comprimir el componente sinterizado en las matrices para reducir la porosidad y aumentar su densidad.

DIMENSIONAMIENTO

Durante la sinterización, ocurren distorsiones y otros cambios en el componente. El dimensionamiento es el proceso de comprimirlo en las matrices para hacerlo dimensionalmente exacto. El dimensionamiento también mejora el acabado superficial con cambios relativamente pequeños de densidad.

MAQUINADO

Muchas operaciones, como roscado, ranurado y rebajado no se pueden realizar en un componente mediante la técnica de metalurgia de polvos. En el caso de las operaciones anteriores, las partes se maquinan después de la sinterización.

IMPREGNACION

La impregnación es una operación que consiste en agregar aceite, grasa, cera u otros lubricantes al punto de saturación de absorción.

Las partes sinterizadas se sumergen en los lubricantes calentados a cerca de 95 °C por 20 a 25 minutos. El lubricante se conserva en los poros mediante la acción capilar y se elimina 95 a 99% de la porosidad. Las partes sinterizadas también se impregnan con plásticos para mejorar su resistencia a la corrosión y su maquinabilidad. También se hace para proporcionar un sello antes del electro chapeado.

INFILTRACION

La infiltración es el proceso de agregar un metal a los poros del componente sinterizado mediante la colocación de una réplica o infiltrante de cobre sobre el componente de hierro que tiene 30-40% de porosidad. Los componentes, compacto de hierro y replica de cobre, se calientan dentro de un horno, donde se funde el cobre y se infiltra en los poros del componente, lo que produce un componente de 100% de densidad. La infiltración proporciona resistencia, dureza y tenacidad adicionales a los componentes sinterizados.

TRATAMIENTO TERMICO

Esta operación se efectúa en una atmósfera controlada en las partes sinterizadas para aumentar su resistencia al desgaste y a los golpes, firmeza, dureza, tenacidad, entre otros. También mejora el tamaño del grano y evita la oxidación de las estructuras internas. El relevado de esfuerzos, carbonitrurado, carburado, endurecimiento por inducción, endurecimiento total y nitrurado son algunas de las operaciones de tratamiento térmico que se aplican a los componentes sinterizados.

CHAPEADO

Los componentes sinterizados se chapean para protegerlos de la corrosión, mejorar la resistencia al desgaste y la fricción y aumentar las características de dureza y conductividad eléctrica, así como para impartirles una apariencia agradable.

Por lo general sobre los componentes sinterizados se realiza un chapeado con cromo, níquel, estaño, cobre, cobalto y cadmio. Antes del chapeado, el componente se impregna con resina plástica para que el electrolito no quede atrapado en los poros del componente.

UNION

En los componentes sinterizados se realizan diferentes tipos de unión, como soldadura, soldadura con latón y soldadura con estaño y plomo.

Soldadura: en los componentes sinterizados se realizan diferentes operaciones como soldadura con gas inerte de tungsteno, con gas hidrogeno atómico, de proyección, por fricción, por rayo electrónico o soldadura por arco de plasma.

Soldadura con latón: es el proceso de unir dos metales diferentes. Las herramientas con puntas de carburo se sueldan con latón en zancos de acero suave. La operación se lleva a cabo al vacío o en una atmosfera controlada.

Soldadura con estaño y plomo: La soldadura se realiza en componentes de aleaciones de baja fusión, como cobre y aluminio. La soldadura se realiza con soldadores al vacío o en una atmosfera controlada.

APLICACIONES DE LA METALURGIA DE POLVOS

Las siguientes son aplicaciones de la metalurgia de polvos:

HOJA METALICAS POROSAS

Este primer método se utiliza para los polvos que son de acero inoxidable; se esparce una capa y se sinteriza a altas temperaturas por 40 horas; En el proceso de rolado se alimenta una tolva que va directo a unos rodillos que comprimen como una hoja metálica, esta hoja se sinteriza en un horno para su tamaño definitivo. El resultado son propiedades mecánicas uniformes y porosidad controlada.

Los polvos metálicos como el cobre, latón, bronce, monel y acero inoxidable se rolan en hojas porosas a través de dos métodos: sinterización por gravedad y rolado.

COJINETES POROSOS

Los artículos que se producen mediante la metalurgia de polvos a estos se les puede dar cualquier grado de porosidad mediante el tamaño de las partículas.

A dichos cojinetes se les puede dar cualquier grado deseado de porosidad mediante el control del tamaño de las partículas, su distribución y presión durante la compactación. Estos son utilizados en las placas de acumuladores eléctricos de gran capacidad como trinquetes de puertas, levas, sierras mecánicas, etc.

COJINETES PARA AUTOMOVILES

Estos son los cojinetes principales y los de varilla de conexión para automóviles se producen mediante una técnica en la metalurgia de polvos.

Durante este proceso se aplica una mezcla de 55% de polvo de cobre y 45% níquel a una pieza de respaldo de acero, que se coloca en un horno de sinterización después de comprimida, donde se forma una unión entre el cobre y la pieza de acero de respaldo, creando así un material poroso compuesto con el cobre y el níquel.

CARBUROS CEMENTADOS

Por lo general, los carburos de tungsteno, molibdeno, titanio y tantalio se utilizan para fabricar herramientas de cortar.

El carburo de tungsteno se produce mediante la mezcla con cobalto como aglutinante; después se comprime a 48kg/cm^2 y se sinteriza en dos etapas una a 900°C y otra a 1300°C antes de maquinar las dimensiones exactas del componente.

TUNGSTENO DUCTIL

La aplicación del tungsteno es muy difícil de fundir ya que tiene un punto de fusión muy elevado. El Dr. W.D Coolidge fue el primer científico que desarrollo el polvo de tungsteno mediante la reducción del óxido de tungsteno.

Este tipo de polvo se comprime, pre sinteriza para poder obtener un tungsteno dúctil; sin embargo, esta se aplica en estampados y estirado para formar fuertes alambres dúctiles de casi 0.2mm de diámetro pasándolo a través de dados de carburo de tungsteno o de diamante.

ROTORES BOMBAS Y ENGRANAJES

Estos se fabrican mediante un proceso en el cual se mezcla el hierro puro en el polvo con suficiente grafito para proporcionar el contenido de carbono deseado al producto. Posteriormente el polvo se comprime en moldes para dar las dimensiones. Las propiedades que se basan mediante este proceso son similares a las de la fundición de hierro gris, con la ventaja que los que se elaboran con este proceso tienen 20% de porosidad.

ESCOBILLAS DE MOTORES

Estas también se elaboran mediante la metalurgia, solo que para elaborarlas se mezclan polvos de cobre y de grafito en las cantidades requeridas y se sinterizan. Se puede observar en el compactado que se combinan y tienen una alta conductividad del cobre con el peso ligero y las propiedades lubricantes del grafito; sin embargo, se

le colocan pequeñas cantidades de estaño y de cobre para aumentar la resistencia del desgaste de las escobillas.

ANEXOS

ANEXO 1.

TABLA 1. LISTADO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SINTERIZACIÓN EN LA MANUFACTURA DE PIEZAS CON ÉNFASIS EN LA DE MAYOR RELEVANCIA.

Variable	Descripción
V_m	Volumen requerido
P_C	Presión de Compresión
M_p	Naturaleza – forma – dimensión de los polvos
ρ_v	Densidad Volumétrica / Densidad en verde
t_s	Tiempo de Operación
T_s	Temperatura de Operación
At_c	atmósfera controlada
C_s	Características de las piezas sinterizadas
M_m	Masa de llenado
ρ_a	Densidad Aparente
ρ	Densidad de la Materia Prima
f_g	Forma del grano
d_g	Tamaño del grano
Σ_g	Distribución estadística de formas y tamaños
ρ_{an}	Densidad aparente normalizada
ρ_{ag}	Densidad normalizada de partículas grandes
ρ_{am}	Función que dispone de un máximo
V_h	Volumen de huecos
P_e	Presión externa efectiva
V_c	Volumen después de la compactación
V_ρ	Volumen correspondiente a la densidad del material

ANEXO 2.

ANÁLISIS POR MÉTODO MATEMÁTICO QUE EVIDENCIA LA INFLUENCIA QUE LAS VARIABLES DEL PROCESO TIENEN SOBRE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PULVERIZADOS.

Las ecuaciones que se muestran a continuación, indican la dependencia de diferentes variables del proceso de sinterización y la relación de éstas con diferentes propiedades como propiedades físicas y mecánicas, tales como la densidad y diferentes tipos de resistencia mecánica.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO BÁSICO DE SINTERIZACIÓN.

El proceso básico de sinterización está constituido por dos etapas:

- 1) Compactación, por la que se consigue la forma del molde, pero con la resistencia mínima que permite su cuidadosa manipulación.
- 2) Sinterización, por la que se alcanza su resistencia adecuada al uso.

La compactación distingue las fases siguiente:

- a) Llenado del molde; variable relacionada V_m
- b) Compresión; variable relacionada P_c
- c) Expulsión

El molde se llena con el polvo que se ha mezclado previamente. La cantidad de polvo se determina por el volumen requerido, V_m .

La compresión puede tener los siguientes métodos:

- Simple efecto: La distribución de la densidad en el compacto no es homogénea, debido a que la masa de polvos no cumple las propiedades hidrodinámicas, como consecuencia del rozamiento interno.
- Doble efecto: Se consigue una densidad más homogénea, es el método ideal, pero en la práctica es el más difícil de conseguir.

Densidad en verde de la pieza en función de la Presión aplicada: $\rho_v = f(h)^{-1}$

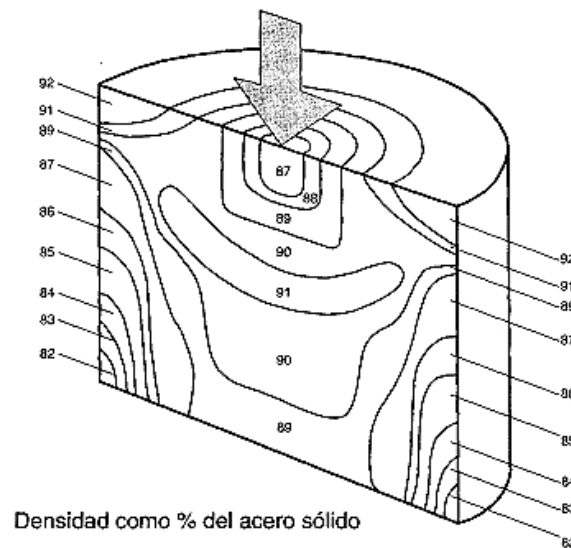
Debido a que la densidad no es uniforme a lo largo de la altura de la compactación, se deduce que esta es función de la dimensión de altura o largo de la pieza en su momento de compactación, como lo muestra la ecuación anterior.

Debido a que las dimensiones en XY de la pieza están limitadas por el molde, la dimensión de altura de la pieza está relacionada con la presión de compactación, naturaleza, forma y dimensiones de los polvos metalúrgicos, esto se expresa de la siguiente manera:

$$h = f[M_p, (P_c)^{-1}]$$

Donde M_p , representa las variables naturalezas, forma y dimensiones de los polvos metalúrgicos.

La densidad en verde deberá proporcionar a las piezas una resistencia suficiente para permitir su extracción del molde y manipulación.



⁸Figura. 11. Distribución de la densidad en verde, simple efecto en función de la profundidad hr.

Sinterización

Para la sinterización, las piezas provenientes de la compactación deben ser sometidas a un proceso de calentamiento el cual se realiza en un horno el cual debe exigir un control riguroso de las variables siguientes:

Tiempo de operación t_s

Temperatura de operación o de sinterización T_s

⁸ Obtenido del libro Tecnología de materiales, Autor Giménez Ferrer, Carlos, Editorial Alfaomega, 1ra edición 2005.

Atmosfera controlada At_c para neutralidad química.

Las características de resistencia (C_s) obtenida en la pieza por medio de la sinterización se expresa de la forma siguiente:

$$C_s = f(\rho_v, t_s, T_s, At_c)$$

La densidad en verde es la variable primera con mayor incidencia en las características resistentes.

La densidad aparente ρ_a es una medida del rendimiento del volumen ocupado por los polvos del material metalúrgico, lo cual indica que está afectada por la geometría del molde que ocupará, por tanto, las diferentes formas geométricas de los polvos influirán en las densidades resultantes durante la sinterización, lo cual nos hace pensar que la densidad aparente es una función de las características geométricas del polvo. Las características del polvo son:

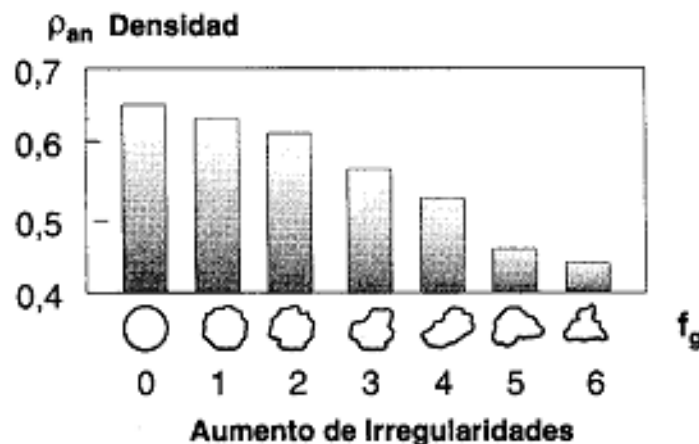
La forma del grano f_g (han sido definidas por valores numéricos (f_g) entre el 0 y el 6 cuando varía desde la máxima a la mínima simetría)

Tamaño del grano d_g

Distribución estadística de formas y tamaños Σ_g

La forma de indicar la relación es:

$$\rho_a = f(f_g, d_g, \Sigma_g)$$



⁹Figura. 12 Correlación de la densidad aparente normalizada con la forma del grano

⁹ Obtenido del libro Tecnología de materiales, Autor Giménez Ferrer, Carlos, Editorial Alfaomega, 1ra edición 2005.

Densidad aparente normalizada, ρ_{an} definida por:

$$\rho_{an} = \frac{\rho_a}{\rho}$$

El modelo que correlaciona ρ_{an} y f_g es exponencial en la forma:

$$\rho_{an} = 0.75 - 0.1e^{-0.20f_g}$$

Para tamaños homogéneos de partículas la máxima densidad aparente se consigue con formas de mayor simetría, esféricas, siendo ésta independiente del tamaño. (Figura 12).

Influencia de la distribución de tamaños (Σ_g)

Puede incrementarse la densidad aparente por adición a los tamaños grandes de determinadas proporciones de partículas pequeñas, con la condición de que la dimensión de éstas sea inferior a la de los huecos que se observan en el empaquetamiento de las grandes.

Así pues la densidad normalizada de las partículas grandes (ρ_{ag}) se mejora porque los huecos pueden ser rellenados por las pequeñas.

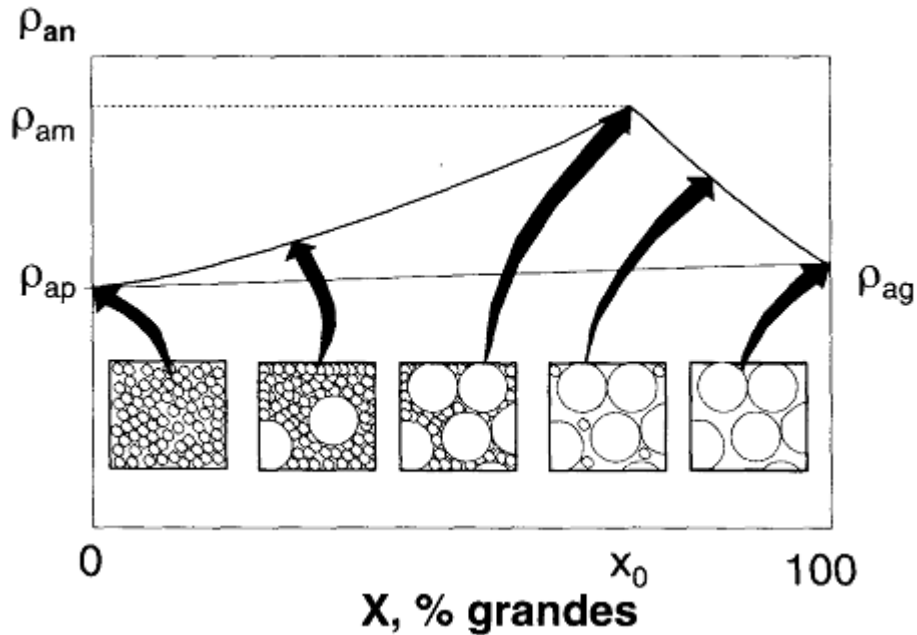


Figura 13. Correlación de la densidad aparente con frente a la composición de una mezcla de dos tamaños de esferas.

Una función que dispone de un máximo (ρ_{am}) en el contenido X_0 de las partículas grandes.

El valor máximo (ρ_{am}) se calcula a partir de la densidad inicial de las partículas grandes (ρ_{ag}) y el relleno de los huecos, complemento del anterior ($1 - \rho_{ag}$), por las partículas pequeñas. Es decir:

$$\rho_{am} = \rho_{ag} + \rho_{ap}(1 - \rho_{ag})$$

Correspondiendo a un contenido de partículas pequeñas, X_p , definida por:

$$X_p = \frac{\rho_{ap}(1 - \rho_{ag})}{\rho_{am}}$$

ANEXO 3.

TABLA 2. CUADRO COMPARATIVO DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE SINTERIZADO CON LOS TRADICIONALES.

N°	Proceso Sinterizado		Proceso Tradicional (Arranque de viruta) Torno – Fresadora – Maquinas Herramientas.	
	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
1	Buenas tolerancias	Control riguroso de los tiempos.	La precisión dimensional	El tiempo empleado generalmente en el mecanizado de una pieza es mayor que el que se necesitaría para otro proceso de fabricación.
2	Ventajas económicas (principalmente ahorro de material y de energía)	Existe segregación de las partículas por diferencias de tamaño, densidad Se puede producir cierta segregación de los polvos de mayor tamaño	En el aspecto económico, el mecanizado resulta ventajoso cuando se requieren características especiales de superficie, especialmente si se trata de una pequeña producción	El desperdicio de material que se produce durante el mecanizado hace que las ventajas económicas disminuyan.
3	Homogeneidad y precisión dimensional superior a otras técnicas	La composición es fija	Si el operador tiene gran habilidad se pueden obtener muy buenos resultados superficiales (acabados).	Necesidad de realizar un programa previo al mecanizado de la primera pieza. Tiempos muertos altos
4	Mantienen la compresibilidad	Porosidad secundaria	Tiempo de producción variante debido a la experiencia del operario.	Coste elevado de herramientas y accesorios
5	Buenas prestaciones finales	Imposible compactar paredes muy delgadas o agujeros de pequeño diámetro.	Las piezas mecanizadas obtienen un acabado superficial muy superior al conseguido mediante otros métodos de fabricación como la fundición.	Conveniencia de tener una gran ocupación para la máquina debido a su alto costo.

6	Su capacidad para fabricar materiales de difícil procesado	Es difícil cambiar el sistemas de aleación	Se puede cambiar fácilmente de mecanizar una pieza a otra.	Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento
7	Homogeneidad de las piezas sinterizadas	Alto coste del material en polvo.	Aumento del tiempo de trabajo en corte por maquinaria.	Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar al personal de servicio y operación.
8	Es de los procesos de fabricación más versátiles	Limitaciones de diseño.	Se pueden mecanizar piezas de gran tamaño.	Mayores factores de riesgo

La comparación entre las ventajas y desventajas de los sistemas de producción (Sinterizado - Proceso Tradicional por arranque de viruta) muestran sobre todo una comparación entre los materiales utilizados para la manufactura de las piezas que los procesos, sin embargo, se puede apreciar que el proceso de sinterización tiene una leve ventaja sobre el procesos por desprendimiento de viruta, debido a que las formas geométricas complejas y la micro-estructura de las piezas ya fabricadas, por ejemplo una estructura estable, porosidad controlada, y características de auto lubricación.

Se aprecia que piezas obtenidas por mecanizado con desprendimiento de viruta se pueden también fabricar por sinterizado, limitada en su defecto por tamaño y característica geométricos.

En cuanto a producción y dimensiones de las piezas, la sinterización produce más cantidad de piezas y de formas cercanas o iguales a las del proceso por desprendimiento de viruta.

Ahora bien, dependiendo de las necesidades, características, demandas de operación del elemento, condiciones de trabajo, etc., las piezas sinterizadas son de mayor rendimiento.

ANEXO 4.

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROCESOS.

Un componente sinterizado con calidad es comparable a uno fundido trabajando normalmente y es más barato que éste.

La Pulvimetalúrgia utiliza más del 97% de la materia prima original y se producen piezas con excelente acabado superficial.

La pulvimetalúrgia es adecuada para las grandes producciones y permite la automatización de los procesos, para la producción de piezas con formas diversas, con tolerancias dimensionales exactas.

Las piezas sinterizadas tienen buen desempeño en aplicaciones críticas de larga vida de trabajo.

La pulvimetalúrgia se considera un proceso único debido a que:

Permite las más variadas combinaciones de elementos químicos (aleaciones) y consecuentemente de microestructuras; por lo que proporciona un control de la porosidad, adecuado para aplicaciones tales como filtros (muy baja densidad), hasta en los componentes con densidad teórica de aleación.

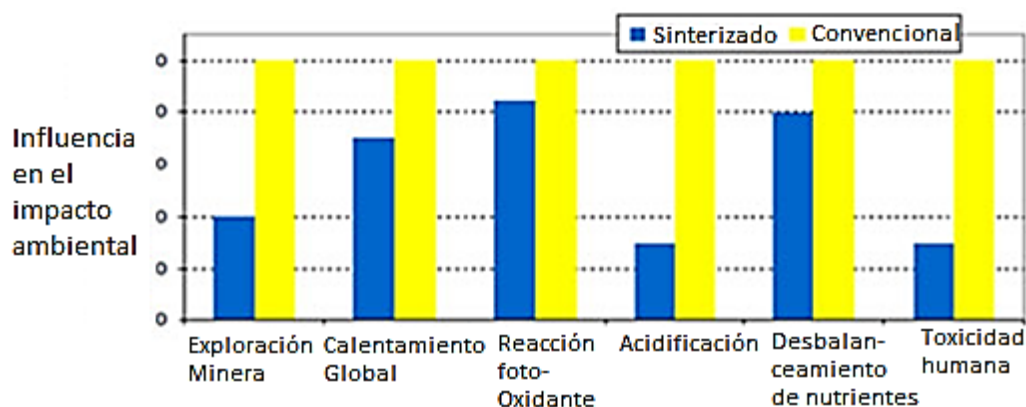
Permite la utilización de los composites (metales reforzados con cerámicas).

La pulvimetalúrgia como proceso es ideal para algunas aplicaciones tales como los Componentes electrónicos (Capacitores de tántalo poroso, Imanes, Núcleos de Ferrita, Micro encapsulados /Soft Magnetic Composite, etc.).

Este proceso también se puede utilizar para la obtención de materiales refractarios con alto punto de fusión que no pueden ser obtenidos mediante otros procesos de manufactura (filamentos de tungsteno, metal duro, etc.)

Por sus características el proceso permite elaborar piezas con formas complejas imposibles de obtener en otro proceso de transformación mecánica.

También hay que señalar que de los procesos de fabricación, el proceso de sinterización es el de menor consumo de energía por kg procesado, con alrededor de un 29%.



Uso de la materia Prima	Proceso de Manufactura	Consumo de E° por Kg procesado
90	Fundición	30 - 38
97	Sinterización	29
85	Extrusión en Caliente/Frío	41
75 - 80	Forjado en Caliente	46 - 49
40 - 50	Maquinado	65 - 82
% 75 50 25 0		0 25 50 75

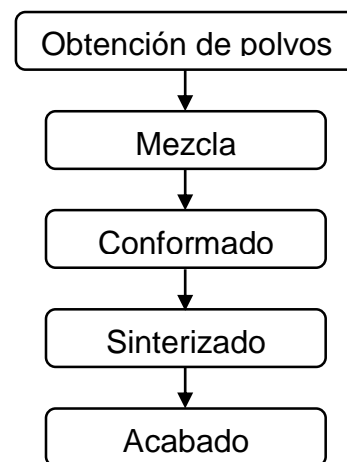
Figura 13. Características y comparación con otros procesos¹⁰

EN RESUMEN:

La sinterización es el proceso que consigue obtener productos metálicos o cerámicos con formas y propiedades prefijadas a partir del polvo o triturado elemental. El moderno desarrollo de estas técnicas ha sido forzado por la necesidad de fabricar ciertas piezas que no eran posibles por procesos alternativos, es el caso de la obtención de filamentos para lámparas incandescentes y también la fabricación de plaquitas de corte para herramientas.

Otro campo de aplicación ha sido la obtención de piezas con características especiales que no pueden conseguirse de otro modo, como es el caso de cojinetes porosos que se infiltran con lubricante, trabajando en su servicio como elemento auto lubricante.

Fases principales que comprenden el proceso:



¹⁰ Obtenido de <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script>

PROCESO BÁSICO DE SINTERIZACIÓN

El proceso básico de sinterización está constituido por las dos etapas siguientes:

- 1) Compactación, por la que se consigue la forma del molde, pero con la resistencia mínima que permite su cuidadosa manipulación.
- 2) Sinterización, por la que se alcanzan su resistencia adecuada al uso.

ETAPAS DE COMPACTACIÓN Y SINTERIZACIÓN CALIFICANDO LA RELACIÓN QUE TIENEN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.

En la compactación se obtiene la forma deseada de la pieza, con dimensiones muy aproximadas, por medio de una fuerte compresión del polvo. Se distinguen tres fases:

- 1) El llenado del molde
- 2) La compresión
- 3) La expulsión

En la fase de llenado, el molde se llena con el polvo que se ha mezclado previamente. La cantidad de polvo se determina por el volumen requerido, V_m .

En la fase de compresión, la presión se ejerce con prensas mecánicas o hidráulicas y la presión se transmite a la masa de polvos de tres maneras distintas:

Presión aplicada por un solo lado, simple efecto. La distribución de la densidad en el compacto no es homogénea, debido a que la masa de polvos no cumple las propiedades hidrodinámicas, como consecuencia del rozamiento interno.

Presión aplicada simultáneamente por los dos extremos, doble efecto. Se consigue una densidad más homogénea que en el caso anterior.

CONCLUSIONES

1. Se pueden mezclar metales y no metales en cualquier proporción y fabricar componentes con ellos.
2. Es un excelente método porque no hay desperdicio de material, además es beneficioso porque a comparación de otros métodos de producción se pueden fabricar herramientas u otros productos que con métodos diferentes a este no se pueden realizar.
3. La Pulvimetalurgia establece un proceso de fabricación de partes con propiedades en muchos casos, superiores a piezas fabricadas por los métodos tradicionales.
4. Es un proceso con alta limpieza metalúrgica, se obtiene un producto con perfecta homogeneidad, una mejor respuesta al tratamiento térmico, con muy bajas modificaciones dimensionales que garantiza tolerancias reducidas y acabado superficial de alta calidad.
5. Los materiales pulvimetalúrgicos especiales para herramienta y altamente aleados, preservan su alta dureza en caliente, así como altísima resistencia al desgaste para ser aplicados en herramientas de corte, embutido, extrusión y conformado y roscado en frío.
6. La Pulvimetalurgia es un proceso ecológicamente mejor que los procesos de manufactura mecánica existentes, de fácil reciclaje, con un uso eficiente de la materia prima y su influencia en el impacto ambiental supera otros procesos convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- G.C. Álvaro Rodríguez; Estudio del ángulo de contacto y de la mojabilidad a alta temperatura de fases líquidas en la sinterización de metales. Página 15 – 19, proyecto fin de carrera. Año 2010. Escuela Politécnica Superior Departamento de Ciencia e Ingeniería de los Materiales e Ingeniería Química.
- B. B. José María; “aceros duales sinterizados” 2015, Pagina 25-29, proyecto fin de carrera. Año 2015. Universidad Carlos III de Madrid, escuela politécnica superior.
- M. J. Sergio; “Nuevos métodos de incorporación de fase líquida para la sinterización de aceros de baja aleación”, Pagina 11, proyecto fin de carrera.
- Tecnología de materiales. Giménez, Carlos Ferrer, Alfaomega, primera edición, México 2005.
- G. M. Daymara; “Efecto del desgaste en el mecanizado de piezas con arranque de virutas en el torneado”, proyecto fin de carrera, año 2012. Ministerio de educación superior, instituto superior minero metalúrgico “*Dr. Antonio Núñez Jiménez*”, *Facultad de Metalurgia Electromecánica*, departamento de Ingeniería Mecánica.
- <http://www.bannerbreak.com>
- Tecnologías de Fabricación módulo I: fundición y sinterizado, Universidad del País Vasco, Euskal Herriko Unibertsitatea, departamento de Ingeniería Mecánica, Bilbao.