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

Mario R. Martinez Chávez [1]

Abstract-The sintering can be defined as the process by which the metallic powders (fine particles) can become new solids, from a heat treatment without necessarily reaching a melting point. In addition, it is very relevant to know the characteristics of the powders, whether metallic or non-metallic. Since during this process they are mixed. Manufacturing by sintering has a wide range of applications that include, for example, the manufacture of parts for automotive components, appliances, cutting tools, power tools, for the manufacture of devices Dental, among others; It is worth mentioning that in this process there is no waste of raw materials and the highly qualified and qualified workforce is not required, which makes this process very economical in every way.

Key words: Powder metallurgy draws, sintering.

I. INTRODUCCION

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

Además, 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.

La sinterización puede definirse como el proceso por el cual los polvos metálicos (partículas finas) pueden llegar a convertirse en nuevos sólidos, a partir de un tratamiento térmico sin que necesariamente se llegue a un punto de fusión. Además, es de mucha relevancia el conocimiento de las características de los polvos, ya sean metálicos como no metálicos; puesto que durante este proceso se mezclan. La manufactura por sinterización tiene una amplia gama de aplicaciones que incluyen, por ejemplo, la fabricación de piezas para componentes automotrices, electrodomésticos, herramientas de corte, herramientas eléctricas, para la fabricación de dispositivos dentales, entre otros; cabe mencionar que en este proceso no existe desperdicio de materia primas y no es requerida la mano de obra altamente capacitada y calificada, lo que hace a este proceso muy económico.

II. CARACTERÍSTICAS DE LOS POLVOS.

Se ha comprobado que 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.

Para la fabricación de productos mediante la metalurgia de polvos es de suma importancia el conocimiento exacto de estos y sus características las cuales son:

- Pureza
- Composición química
- Tamaño de la particular
- Distribución por tamaño de particular
- Densidad
- Relación de comprensión
- Forma de la particular
- Microestructura de la particular
- Factor de flujo
- Capacidad de sinterización

III. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE LOS POLVOS METÁLICOS.

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 dan a conocer algunos métodos para la producción de los polvos metálicos.

- Desintegración mecánica o pulverización
- Atomización
- Deposición electrolítica
- Métodos químicos

IV. 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 en 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.

[1]Mario Rigoberto Martínez Chávez (mario.chavez@udb.edu.sv). Pertenece a la Facultad de Ingeniería en la Universidad Don Bosco.

V. 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, Carbono 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 anterior mente 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.

VI. SINTERIZACIÓN

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 optima 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 esta dad por la siguiente relación:

Porosidad = (1- Densidad aparente / densidad teórica) * 100%.

VII. OPERACIONES SECUNDARIAS

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.

- Amaneado
- Dimensionamiento
- Maquinado
- Impregnación
- Infiltración
- Tratamiento térmico
- Chapeado
- Unión

VIII. ALGUNAS APLICACIONES DE LA MANUFACTURA POR SINTERIZACIÓN.

- Hojas metálicas porosas
- Cojinetes porosos
- Cojinetes de Babitt para automóviles.
- Carburos cementados
- Tungsteno dúctil
- Rotores para bombas y engranes
- Escobillas de motores
- Material refractario compuesto
- Filtros metálicos

IX. ASPECTOS AMBIENTALES RELACIONADOS CON LA INDUSTRIA METALÚRGICA.

El aspecto ambiental es el elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente, conforme la norma NBR ISO 14001 ABNT (2004). De modo general, es cualquier intervención directa o indirecta de las actividades y servicios sobre el medio ambiente.

Las industrias son fuentes fijas de contaminación, son consideradas con un potencial contaminante significativo, especialmente por las emisiones hacia la atmósfera. Se destaca que cada rama de la industria presenta problemas específicos de contaminación, siempre relacionados con el proceso productivo, métodos de control de la contaminación empleados y materias primas utilizadas, Gheno (2006).

Sin embargo, algunas industrias, como las siderúrgicas y las metalúrgicas, se destacan en cuanto al potencial contaminante que poseen hacia la atmósfera.

La definición de la NBR 10004 ABNT (2004), de residuos sólidos es: "Residuos en los estados sólidos y semi-sólidos, que resultan de las actividades de origen industrial, doméstica, hospitalaria, comercial, agrícola, y de servicios. Se incluyen en esta definición los lodos provenientes de los sistemas de tratamiento de agua, aquéllos generados en equipos e instalaciones de control de la polución, determinados líquidos

cuyas particularidades tornen inviable su vertimiento en la red pública de alcantarillado, o exijan para eso soluciones técnicas y económicamente inviables según la tecnología disponible".
El consumo de agua, energía y materias primas puede ser considerado indicador de desempeño operacional de una empresa o industria. La clasificación de acuerdo con a la norma NBR ISO 14031 ABNT (2004), traza las directrices para la evaluación del desempeño ambiental y de la adopción de indicadores de desempeño ambiental. De esta manera se consideran inseparables de las estrategias para la reducción del consumo de materias primas, del agua y de la energía y continuar elevando la productividad, Sánchez (2008).

X. VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SINTERIZACIÓN. [4]

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

XI. MÉTODO MATEMÁTICO QUE EVIDENCIA LA INFLUENCIA QUE LAS VARIABLES. [4]

Las ecuaciones que se muestran a continuación, indican la dependencia de diferentes variables del proceso de sinterización y la relación de estás con diferentes propiedades como propiedades físicas y mecánicas, tales como la densidad y de resistencia.
El proceso básico de sinterización está constituido por dos etapas: 1) Compactación, 2) Sinterización.
La compactación distingue las fases siguiente: a. Llenado del molde cuya variable relacionada es Vm, b. Compresión cuya variable relacionada es Pc.
El molde se llena con el polvo que se ha mezclado previamente. La cantidad de polvo se determina por el volumen requerido, Vm.
Densidad en verde de la pieza en función de la Presión aplicada: $\rho_v = f(h)^{-1}$
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

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

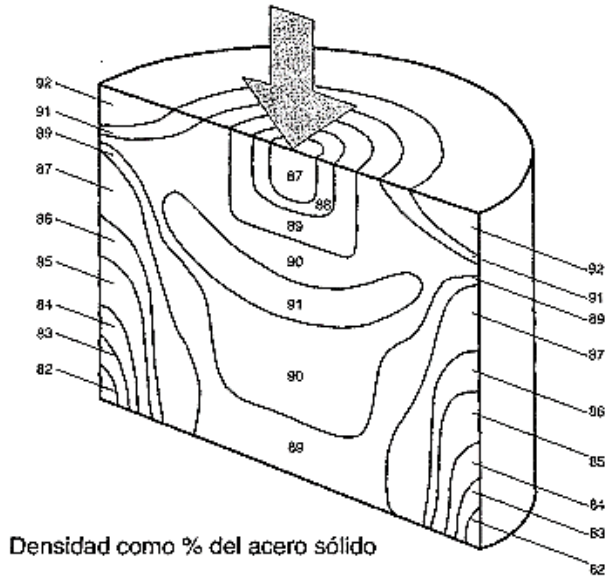


Figura 1. Distribución de la densidad en verde, simple efecto en función de la profundidad hr.

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

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:

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

Contenido de partículas pequeñas, X_p:

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

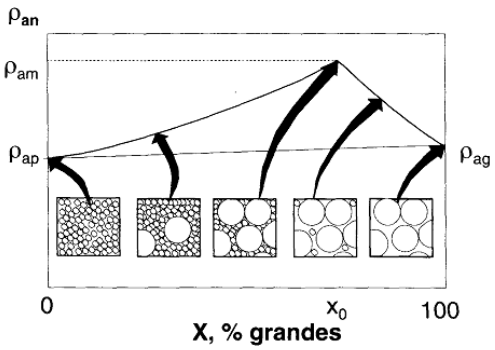


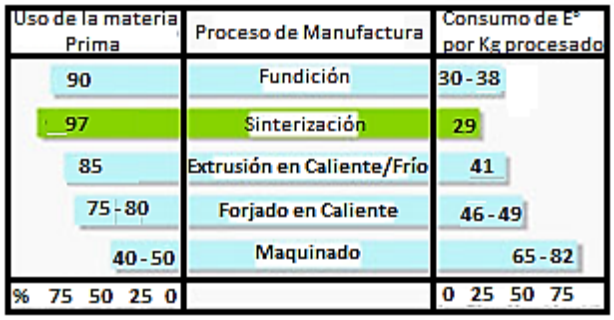
Figura 2. Correlación de la densidad aparente con frente a la composición.

XII. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE SINTERIZADO CON LOS TRADICIONALES. [4]

	Proceso Sinterizado		Proceso Tradicional (Arranque de viruta , Fundición)	
#	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
1	Mantienen la compresibilidad	Porosidad secundaria	Tiempo de producción variante debido a la experiencia del operario.	Coste elevado de herramientas y accesorios
2	Es de los procesos de fabricación más versátiles.	Limitaciones de diseño.	Se pueden mecanizar piezas de gran tamaño.	Mayores factores de riesgo
3	Buenas tolerancias	Control riguroso de los tiempos.	La precisión dimensional	El tiempo empleado en el mecanizado es mayor
4	Buenas prestaciones finales	Imposible compactar paredes muy delgadas	Las piezas mecanizadas obtienen un acabado superficial muy superior	Conveniencia de tener una gran ocupación para la máquina debido a su alto costo

XIII. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS PROCESO

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



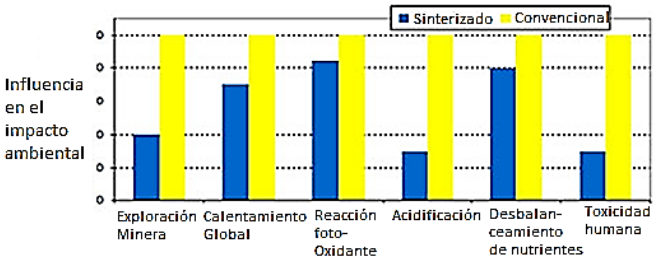


Figura 3. Características y comparación con otros procesos [7]

XIV. 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 Pulvimetalúrgia 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 Pulvimetalúrgia 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

REFERENCIAS

[1] 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.

[2] 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.

[3] M. J. Sergio; "Nuevos métodos de incorporación de fase líquida para la sinterización de aceros de baja aleación", Pagina 11, proyecto fin de carrera.

[4] Tecnología de materiales. Giménez, Carlos Ferrer, Alfaomega, primera edición, México 2005.

[5] 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.

[6] Procesos de Manufactura, H. S. Bawa

[7] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script

Nació en San Salvador, El Salvador el 05 de Enero de 1971. Ingeniero Mecánico graduado de la Universidad Don Bosco del municipio de Soyapango, El Salvador. Actualmente labora como docente tiempo completo en facultad de ingeniería de Universidad Don Bosco.