



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

FABRICACION DE CABEZA DE COMPRESION PARA
AMORTIGUADOR POR PROCESO DE PULVIMETALURGIA COMO
ALTERNATIVA AL PROCESO DE MAQUINADO

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO MECANICO ELECTRICO
EN EL AREA MECANICA

PRESENTA:
GEOVANNI NERIA PALOMO

DIRECTOR DE TESIS : ING. ALFREDO ALDAZ BENITEZ

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

DEDICATORIA

A MI MADRE CLARA CLAUDIA PALOMO ROJAS

Por su incondicional apoyo y amor durante toda mi vida y por sentar en mí las bases de superación a través de sus sacrificios y esfuerzos personales.

A MI ABUELO PEDRO PALOMO PEREZ

Por inculcarme desde niño que el conocimiento es la mejor forma de salir adelante.

A MI TIO PEDRO PALOMO ROJAS

Quien siempre fue un ejemplo de rectitud, honradez así como de disciplina para mí y quien fue un apoyo económico para mi familia en los momentos de mayor necesidad.

A MIS PRIMOS Y TIOS

Quienes siempre creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las personas que colaboraron en el desarrollo del presente trabajo.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y a los profesores por darme la oportunidad de adquirir el conocimiento y contribuir a mi formación como profesional y universitario

Gracias a mi Director de tesis Ing. Alfredo Aldaz Benítez, por su apoyo, orientación y paciencia para la conformación de mi trabajo de Tesis.

Gracias a los profesores que me hicieron el favor de revisar mi Tesis

Gracias a los gerentes, supervisores, operadores, auditores y demás personal de la empresa Aleaciones Sinterizadas de México que me dio la oportunidad de adquirir la experiencia profesional necesaria para la aplicación de los conocimientos adquiridos en la facultad.

Un especial agradecimiento a Gilberto Maldonado y Arturo Ortiz por el apoyo técnico y de logística para la realización de mi Tesis

Y Gracias a todas aquellas personas que directa o indirectamente han participado en mi formación como profesional.

INDICE

Introducción.....	Pág. 3
Problemática.....	Pág. 5
Cabeza de Compresión Para Amortiguador	Pag. 6

CAPITULO 1

PROCESO DE PULVIMETALURGIA Y PROCESO DE MAQUINADO

1.1 Proceso de Pulvimetalurgia

1.1.1 Propiedades y Producción de Materiales Metálicos en Polvo.....	Pág. 10
1.1.2 Obtención de polvos.....	Pag. 15
1.1.3 Mezclado.....	Pag. 18
1.1.4 Prensado.....	Pag. 18
1.1.5 Sinterizado.....	Pag. 27
1.1.6 Operaciones Adicionales.....	Pag. 41
1.1.7 Herramientales	Pag. 42

1.2 Proceso de maquinado

1.2.1 Antecedentes del Maquinado por Control Numérico Computarizado.....	Pag. 49
1.2.2 Rendimiento y Ventajas del Maquinado por Control Numérico Computarizado.....	Pag. 52
1.2.3 Coordenadas y Programación del Control Numérico Computarizado.....	Pag. 55

CAPITULO 2

FABRICACION DE CABEZA DE COMPRESION POR PROCESO DE MAQUINADO

2.1 Determinación de materia prima en el Maquinado por Control Numérico Computarizado	Pag. 64
2.2 Herramientas a Utilizar y Programa de Maquinado por Control Numérico Computarizado	Pag. 65

CAPITULO 3

FABRICACION DE CABEZA DE COMPRESION POR PROCESO DE PULVIMETALURGIA

3.1	Requerimientos mínimos necesarios para la fabricación de la pieza.....	Pag. 70
3.2	Determinación de materia prima necesaria para cumplir las especificaciones del cliente.....	Pag. 73
3.3	Diseño de molde	Pag. 76
3.4	Proceso de mezclado.....	Pag. 81
3.5	Parámetros de prensado.....	Pag. 82
3.6	Parámetros de Sinterizado.....	Pag. 82
3.7	Operaciones Complementarias.....	Pag. 84
3.7.1	Barrilado	Pag. 84
3.7.2	Barrenado	Pag. 84
3.7.3	Calibrado.....	Pag. 85

CAPITULO 4

COMPARATIVO DE COSTOS Y TIEMPOS DE PRODUCCION

4.1	Costos y Tiempos de Producción de cabeza de compresión por pulvimetalurgia.....	Pag. 88
4.2	Costos y Tiempos de Producción de cabeza de compresión por maquinado.....	Pag. 89

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es demostrar las ventajas que tiene un proceso el cual es poco utilizado en nuestro país como lo es la pulvimetalurgia o metalurgia de polvos, con respecto a un proceso altamente conocido como lo es el maquinado en un torno de control numérico, utilizando como punto comparación la fabricación de una cabeza de compresión para amortiguador.

El maquinado ha sido y sigue siendo uno de los procesos más utilizados en la industria metal-mecánica principalmente por su exactitud en cuanto a dimensiones y a su facilidad de lograr fabricar productos con diseños complejos.

Si bien el maquinado tiene puntos a favor como los mencionados anteriormente, también tiene desventajas como lo es el desperdicio de material y lo lento de que puede llegar a ser la producción de productos con diseños complicados.

El presente trabajo tratara de demostrar como la pulvimetalurgia puede ser una alternativa debido a que puede disminuir considerablemente el desperdicio de material reduciendo al mismo tiempo el costo y tener tiempos de producción mucho más bajos siendo literalmente un proceso de producción en serie.

Se usa como punto de comparación una cabeza de compresión principalmente porque es un producto que al ser parte del mercado automotriz exige cumplir con un estricto control de calidad, maneja tolerancias más estrechas que productos que sean de otro tipo de mercado, y maneja volúmenes de producción de aproximadamente 10 000 piezas mensuales.

El contenido del trabajo de este trabajo está constituido de cuatro capítulos, enumerados de la siguiente forma:

El primer capítulo describe las bases teóricas de ambos procesos, enfocándonos más en el proceso de pulvimetalurgia, por ser el proceso menos utilizado en la industria.

En el segundo capítulo realizaremos un ejercicio práctico, lo más cercano a la fabricación real de la fabricación del producto por el proceso de maquinado tomando en cuenta los aspectos a considerar por un fabricante de piezas maquinadas.

En el tercer capítulo se efectuara un desarrollo real del mismo producto, pero ahora fabricado por el proceso de pulvimetalurgia, presentando todos los subprocesos que se presentan englobados en el mismo.

En el cuarto capítulo se elabora un comparativo económico y de tiempos de producción para un volumen de producción de 10 000 piezas de ambos procesos, desarrollado a partir de los ejercicios prácticos de los capítulos 2 y 3.

Por último se presentan conclusiones del trabajo, a partir del comparativo económico y de tiempos del cuarto capítulo.

PROBLEMÁTICA ENFOCADA AL MAQUINADO

La principal desventaja que existe en el proceso de maquinado en cuanto al costo, es el desperdicio de material que existe, esto debido a que el proceso consiste básicamente en un desbaste a partir de un tocho de material de dimensiones mayores a las medidas de la pieza terminada, este material que se desbasta en la mayoría de los casos este se debe de tirar, es un desecho total, ya que no se le puede dar ningún rehusó, en algunas ocasiones cuando este desperdicio conocido principalmente como rebaba se puede vender, pero solo si la cantidad es un volumen elevado, y aun así el dinero que se obtiene no es nada comparable a la pérdida .

En la mayoría de las veces se debe de pagar para que se lleven el desperdicio, lo cual eleva el costo de la pieza, también se debe de aumentar al costo de la pieza final, el valor de las herramientas que hagan falta como puede ser buriles, cortadores, brocas, etc., dependiendo de las dimensiones y forma geométrica de la pieza, se debe de considerar que estas herramientas sufren desgaste y se deben de reponer por lo cual el numero de herramientas aumenta, así como aumenta el costo del producto.

Otro punto importante que evita que el maquinado sea un proceso más eficiente en la producción de piezas de alto volumen es sin duda, los altos tiempos de maquinado, principalmente para piezas complejas de numerosos detalles.

Como sabemos al operar cualquier tipo de maquina se corre el riesgo de algún accidente, pero con un maquinado se tiene un problema extra aunado al uso de la maquina, es la rebaba desprendida en el desbaste, el cual puede ocasionar cortes en distintas partes del cuerpo, y es un riesgo muy grande para los ojos del operador, riesgo que se puede entender como casi exclusivo del maquinado.

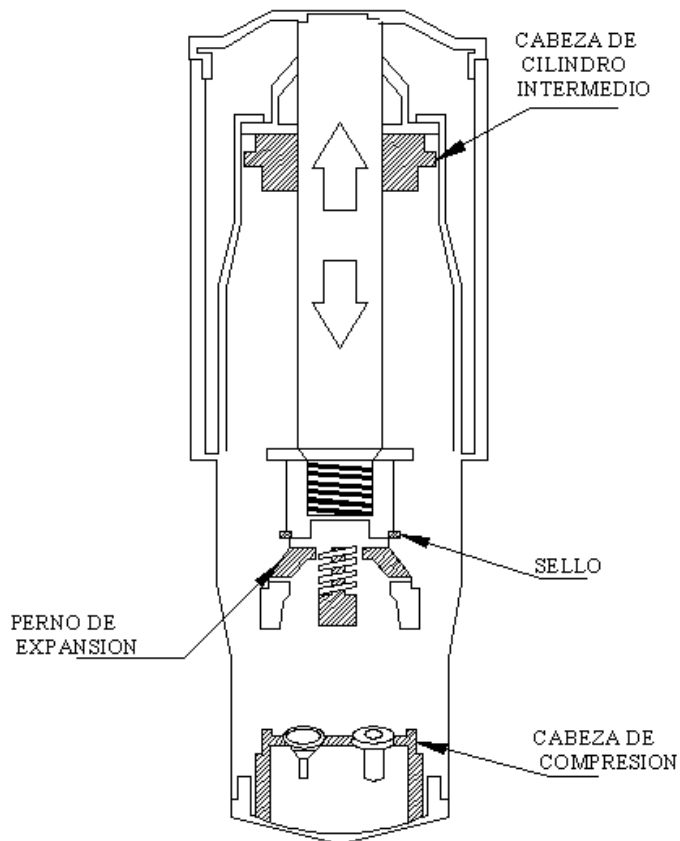
CABEZA DE COMPRESION EN UN AMORTIGUADOR

Antes de adentrarnos en lo relacionado a los procesos de maquinado y pulvimetalurgia propiamente, haremos una breve mención de lo que es la cabeza de compresión elemento escogido para el comparativo en ambos procesos, debido a su alto volumen de producción y a la necesidad de calidad que requiere el producto.

El funcionamiento del amortiguador se basa en la circulación de aceite entre los dispositivos internos a través de un conjunto de válvulas que generan una resistencia al paso del mismo entre las cámaras del amortiguador. De esta forma se controlan las oscilaciones de la suspensión.

En la figura 1.1 se presenta una representación interna de un amortiguador con sus elementos más importantes entre los que se encuentra la cabeza de compresión.

Figura 1.1



Fuente:

www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamientodelamortiguador.asp

Los movimientos básicos del amortiguador se dividen en Expansión y Compresión.

Expansión (el amortiguador se abre)

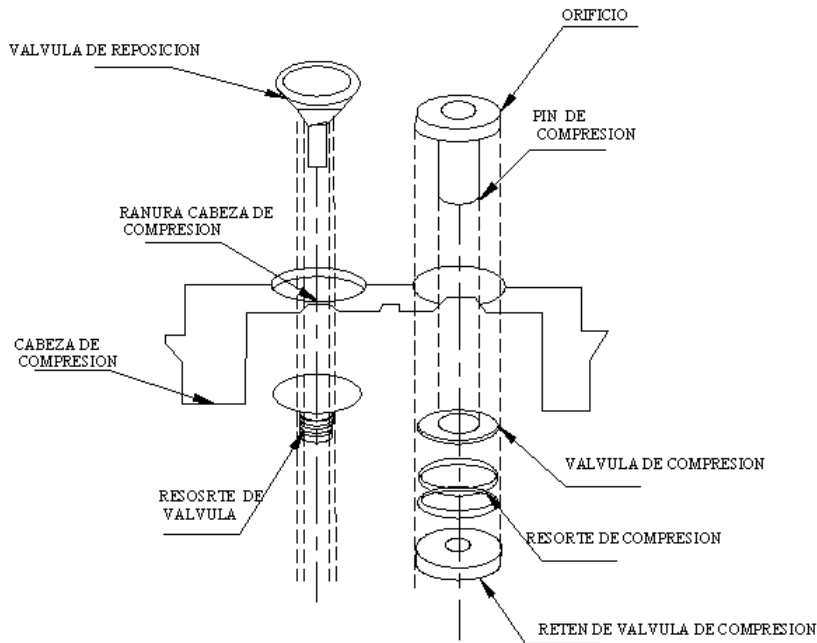
Para que el amortiguador se abra, el pistón necesita subir y esto solo se logra si el aceite que está arriba del pistón fluye a través de este. Para controlar el paso del aceite, están los barrenos ubicados en el cuello del pistón y las ranuras que se hacen en el asiento de la válvula de expansión. Además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión. (7)

Compresión (el amortiguador se cierra)

Para que el amortiguador se cierre, el pistón necesita bajar y esto solo se logra si el aceite que está en la parte inferior del pistón fluye a través de este. Se repite el mismo ciclo de la etapa de expansión pero esta vez la dirección de flujo del aceite es opuesta. (7)

La cabeza de compresión al igual que la cabeza del cilindro intermedio cumplen con la función de permitir el paso del fluido (aceite) a través del amortiguador para el deslizamiento del pistón de forma suave, para lograr el paso del aceite la cabeza de compresión necesita barrenos además de los barrenos y las ranuras, está también el resorte de expansión que mantiene la válvula bajo presión controlada. El actuar de estos tres elementos, proporciona la fuerza del amortiguador.

Figura 1.2



Fuente: www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamientodelamortiguador.aspx

Visto lo anterior podemos ver que las propiedades mecánicas que debe tener el material para fabricar la cabeza de compresión serán bajas, debido a que si estimamos un vehículo de 1000 Kg de peso, repartido en 4 amortiguadores (1 por cada neumático) podemos estimar un peso promedio de 250 kg. de carga en el amortiguador y por consiguiente en la cabeza de compresión.

Las dimensiones de la cabeza de compresión dependerán del cilindro del amortiguador, es decir si el diámetro interior del amortiguador mide: 4.9 cm, entonces el diámetro mayor de la cabeza de compresión deberá ser de 4.8 cm, dejando un 1mm total de holgura entre el cilindro y la cabeza de compresión.

Con lo cual el área destinada a soportar la presión de 250 kg es de 18.85 cm^2 , es decir se tendrá una presión de:

$$P = \frac{F}{A} \quad (14) \quad \text{sustituyendo } P = \frac{50 \text{ Kg}}{18.85 \text{ cm}^2}$$

$$P = 13.26 \text{ Kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ Bar}$$

$$1 \text{ Bar} = 14.5 \text{ psi (14)}$$

Presión que convertida al sistema ingles nos arroja 192.27 psi

Lo que sería una presión máxima sobre la cabeza de compresión, debemos recordar que esta presión no es real, ya que como vimos en los diagramas anteriores la cabeza de compresión lleva una serie de barrenos para la circulación del aceite, por lo cual presión que soporta la cabeza solo es parcial

Se debe aclarar que se hace una continua conversión de sistema métrico a ingles, por la razón de que las tablas sobre las cuales se trabaja en pulvimetalurgia han sido proporcionadas en el sistema ingles.

Conociendo la presión máxima que va a soportar la cabeza de compresión, podemos escoger el material necesario para fabricarla, tanto para el proceso de maquinado, como para el proceso de pulvimetalurgia los cuales se revisaran en sus determinados capítulos.

Código de campo cambiado

Código de campo cambiado

CAPITULO I

PROCESO DE PULVIMETALURGIA Y PROCESO DE MAQUINADO

Existen numerosos procesos de fabricación de productos metálicos, dependiendo de las necesidades del producto como son: la fundición, el troquelado, pailera, rolado y un sin número de procesos que se engloban en la industria metal-mecánica.

En este trabajo abordaremos dos procesos como lo son el maquinado y la pulvimetalurgia, debido a que ambos son procesos altamente precisos en cuanto a exactitud en lo concerniente a dimensiones, es decir estos dos procesos son capaces de controlar tolerancias muy cerradas.

1.1 PROCESO DE PULVIMETALURGIA

La pulvimetalurgia o metalurgia de polvos, es una parte de la Ingeniería Metalúrgica de carácter pluridisciplinar que da lugar a la técnica de fabricación de piezas mediante compactación y sinterización de polvos o mezclas de polvos metálicos y lubricantes, obteniendo un producto final con una porosidad controlada.

1.1.1 Propiedades y producción de Materiales Metálicos en polvo

Se entiende por polvo metálico aquel metal en forma de polvo cuyas partículas tienen un diámetro máximo del orden de 800-900 micrones y están constituidas al menos de un 85% del metal puro, siendo el resto principalmente óxidos. Existen diferentes métodos para la producción de polvos metálicos. Dependiendo de las características de cada uno, las propiedades del polvo varían.

Como se sugiere es conveniente analizar primero las propiedades que se desean en el material en polvo y luego analizar los procesos de producción existentes.

Entre las principales propiedades se cuentan: la composición, el tamaño de las partículas, su forma y estructura. Estas propiedades determinan otras características como: la superficie específica que relaciona el área superficial con el peso del polvo, la densidad aparente y la capacidad para fluir. También determina la capacidad del material para dejarse compactar y sinterizar apropiadamente.

Composición

La composición química del material en polvo, determina tanto las propiedades finales del producto como el proceso para producirlo. En el momento de compactar una pieza, es muy importante el comportamiento ante las grandes deformaciones que pueden ocurrir y esto viene determinado por la composición química. La aleación y las impurezas también afectan la sinterización, ya que parte de las impurezas pueden cambiar de fase a la temperatura de sinterizado.

La determinación de los componentes se realiza en general con las técnicas habituales utilizadas por los analistas químicos.

Forma, tamaño y superficies de las partículas.

El tamaño, la forma y la superficie de las partículas son factores que se relacionan, ya que una disminución en el tamaño de las partículas o una desviación de la forma esférica aumentan la superficie específica. Su importancia radica en la influencia que tienen en el proceso de compactado y sinterizado.

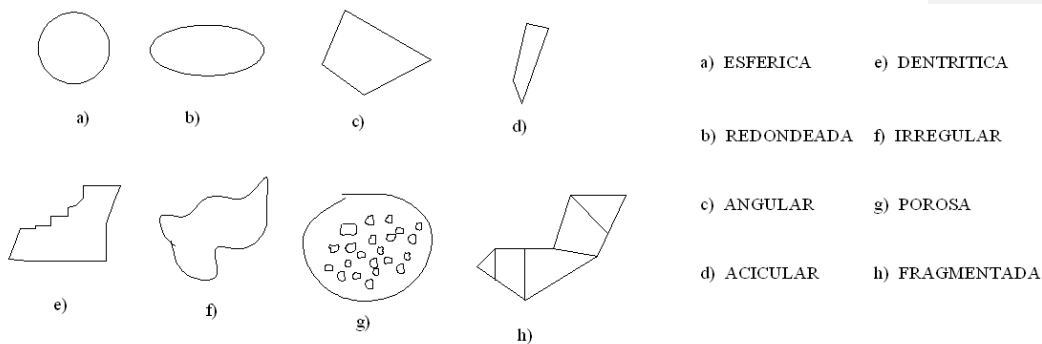
La figura 1.3 muestra una de las alternativas más comunes para la clasificación de la forma de las partículas. La figura 1.4 presenta los principales factores de forma, que se deben tener en cuenta al comparar las diversas posibilidades.

Las partículas muy finas e irregulares generalmente llevan a una alta superficie específica, que es una propiedad deseada en el proceso de sinterizado.

Pero las partículas muy finas tienden a tener bajas propiedades de flujo y a disminuir la densidad aparente, estos factores son muy importantes durante el proceso de compactación. Aunque las partículas esféricas tienen la forma óptima para permitir un buen flujo y buena densidad aparente, tienen el menor número de puntos de contacto que hacen que el área de enlace sea menor.

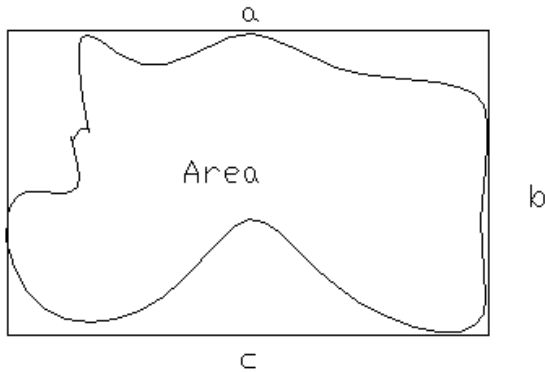
El tamaño de las partículas se puede determinar mediante el uso de microscopios ópticos o de electrones, en el caso de polvo muy fino. Este método es bastante eficiente pero demasiado laborioso ya que requiere que se haga la medición sobre toda una muestra que en general debe ser pequeña. Por lo tanto la selección de la muestra debe ser bastante precisa. Otro método alternativo bastante usado es el tamizado, que consiste básicamente en hacer pasar el polvo por diferentes tamices y dependiendo del porcentaje de partículas que consiguen pasar, se determina su diámetro promedio. Otra forma empleada para conocer el tamaño de partículas muy pequeñas es aprovechar la relación que existe entre la velocidad de una partícula en un fluido y su tamaño. La relación viene dada por la ecuación de Stokes, que expresa una relación entre la velocidad terminal de la partícula, la densidad de la partícula, la densidad del fluido, diámetro de la partícula y viscosidad del fluido.

Figura 1.3 Figuras típicas de grano



Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya (8)

Figura 1.4



a,b = Longitudes del rectángulo
C = Perímetro de la partícula proyectada.
Área de la partícula proyectada.

Factores de forma

Fuente: Universidad Politécnica de Catalunya (8)

Para que la medición sea válida se exige que el número de Reynolds esté por debajo de 0.2. Se debe tener en cuenta que el diámetro corresponde al tamaño de una partícula esférica equivalente.

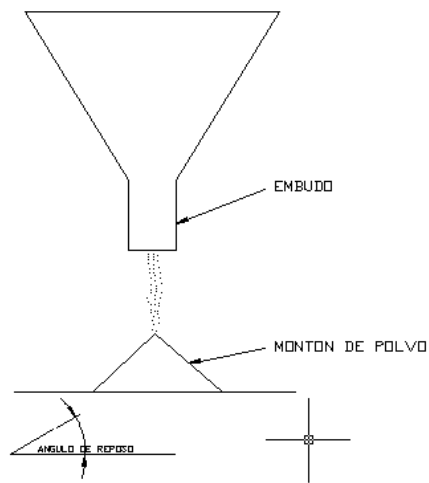
Una medición del área total superficial de una masa de polvo puede ser un buen indicativo del tamaño promedio de las partículas. Existen dos métodos para realizar este cálculo. El método de absorción que consiste en exponer a las partículas a la acción de un gas que se adhiere a la superficie de éstas formando unas macromoléculas. Se debe determinar cuánto gas fue absorbido y dependiendo de esta cantidad se determina el área superficial. El segundo método llamado permeametría se basa en el cálculo de la resistencia ofrecida al paso de un determinado fluido por una columna de material en polvo. El aparato consiste de un tubo en donde se coloca el polvo, una bomba que suministra al fluido la presión deseada y un medidor de la caída de presión al final. La superficie total se calcula mediante la **ecuación de Carman** que expresa la superficie específica en términos de la constante de permeabilidad, la viscosidad cinemática y la fracción de volumen de vacíos respecto del volumen total.

Flujo

La velocidad a la cual el polvo puede fluir a través de un orificio es muy importante ya que refleja en qué medida el polvo conseguirá llenar completamente el molde de una determinada pieza. La determinación de esta propiedad se lleva a cabo mediante la

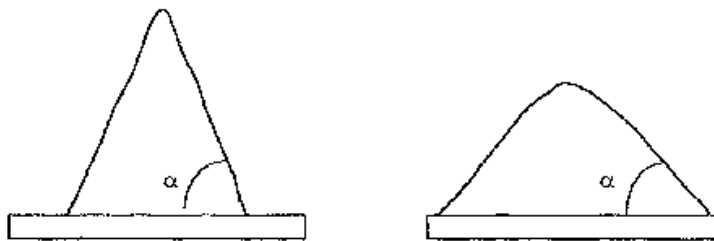
utilización de un aparato medidor de flujo, (ver figura 1.5) que consiste en un embudo de forma cónica construido bajo ciertas medidas estándar . Se mide entonces el tiempo que tarda en vaciar 100 grs. de polvo por un embudo en 50 seg. Si el polvo no termina de caer en dicho tiempo el polvo no cuenta con la fluidez requerida y es recomendable tamizarlo.la figura 1.6 muestra el ángulo en reposo de un buen material para fluir y otro que no lo es. Esto es debido a que en el primero, la fricción entre partículas es mayor que en el segundo y esto hace que el polvo fluya más lentamente.

Figura 1.5 Prueba de fluidez



Fuente :Método de Pruebas ASTM

Figura 1.6



mal flujo

buen flujo

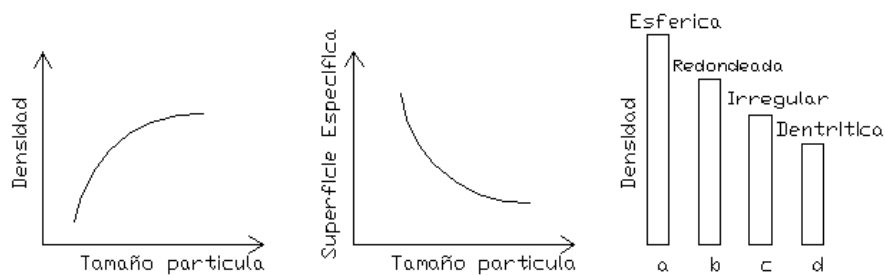
Fuente: Método de Pruebas Standard ASTM (1)

Densidad Aparente

La densidad aparente de una masa de polvo es el peso por unidad de volumen. El volumen incluye todos los vacíos entre partículas y la porosidad interna del material. Este valor se obtiene vertiendo el material en un contenedor de volumen conocido bajo condiciones estándar y luego se procede a pesarlo.

Esta densidad depende de la forma de las partículas, de su tamaño y distribución. Así como de su porosidad. Su interés reside en el hecho de que las matrices se llenan normalmente con un volumen fijo de polvo, por lo que la densidad, indica la profundidad con la que deben diseñarse.

Figura 1.7 Relación Densidad Aparente-Tamaño de Partícula



Relación Superficie Específica-Tamaño de Partícula
Relación Densidad Aparente – Forma de Partícula.

Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

La figura 1.7 muestra cualitativamente cómo varía la densidad aparente y la superficie específica respecto del tamaño de las partículas, así como el efecto de la forma sobre la densidad aparente. La figura 1.7.a muestra cómo para un mismo material constituyente, un tamaño de partículas muy pequeño tiene menor densidad aparente que un tamaño moderadamente mayor. A medida que se hacen más pequeñas las partículas que ocupan un mismo volumen, la superficie específica aumenta.

La figura 1.6 c. Muestra cómo las partículas de forma esférica consiguen acomodarse de forma óptima, de tal forma que la densidad aparente es la máxima respecto a las otras formas.

Densidad y otras propiedades del material en verde

El término material en verde se refiere al producto que se obtiene al finalizar la compactación pero antes de ser sinterizado. Densidad en verde se refiere entonces a la densidad al final de la compactación, que puede medirse mediante técnicas estándar como pesando la pieza en aire y dentro del agua. En algunos casos con piezas complejas es más conveniente sumergirlas en mercurio.

Para conocer las propiedades del material en verde, se la somete a las pruebas estándar de dureza, resistencia (como la prueba de rotura transversal, rotura radial *en* el caso de piezas cilíndricas), análisis de microestructura, etc.

Un efecto muy importante como se verá más adelante es la descarga elástica, que ocurre después de que el material es expulsado del molde. Tanto en la fricción radial como en la dirección axial, se percibe un ligero cambio en las dimensiones, debido a la recuperación de la deformación elástica (*springback*). Este cambio en medidas, puede afectar la construcción de piezas de alta precisión y además en el peor de los casos, puede producir una fractura de la pieza.

Plasticidad

La plasticidad es la cualidad de ser fácilmente deformable con carácter permanente que poseen los polvos. Cuanto mayor es la plasticidad, mayor es el aumento de la superficie de contacto de los polvos durante la compactación. En este caso, la resistencia en verde y la densidad aumentan considerablemente. La plasticidad es función de la composición química del polvo, de su forma y de su micro estructura.

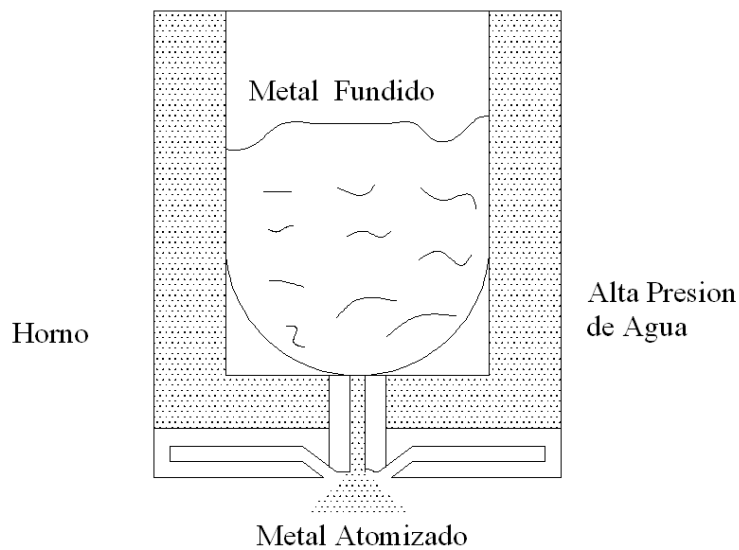
1.1.2 Obtención de polvos

Los polvos metálicos son usualmente puros, pero el grado de pureza, el tamaño y forma del grano dependen del método para su manufactura. Entre los más comunes se encuentran los siguientes;

Atomización

El metal se funde en un horno que se alimenta a una velocidad determinada en base a las dimensiones del surtidor. El metal se atomiza mediante la propulsión de un gas o líquido. La acción de chorro sobre el flujo de metal separa el material en diminutas gotas que luego caen libremente dentro de un contenedor (ver figura 1.8)

Figura 1.8 Atomización



✓

Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

Debe tenerse cuidado principalmente, de controlar la temperatura del metal, velocidad del chorro y la cantidad de metal que se mezcla con el gas para que al final el resultado sea óptimo. El tamaño puede llegar al orden de los micrones y la forma puede variar desde partículas esféricas hasta completamente irregulares. Este proceso se emplea frecuentemente con metales como el hierro, aluminio y cobre. También con algunos materiales que luego se emplean en aleaciones.

Proceso Electrolítico

Consiste en someter al material a un proceso de electrólisis dentro de una cierta solución. Dependiendo de las condiciones químicas y físicas el material se deposita sobre el cátodo de tal forma que se forma una masa o una cadena de copos que luego debe triturarse mecánicamente para obtener el polvo. En general, las condiciones que garantizan una buena producción de polvo son contrarias a las condiciones que se necesitan para un correcto galvanizado. El polvo metálico que se produce es bastante

puro y dependiendo de la solución se pueden variar las características finales de compactación y sinterizado.

Reducción

Es una de las técnicas más difundidas para la producción de polvo metálico, donde los óxidos metálicos son la materia prima para la reducción. Normalmente el mineral no se encuentra tan puro como para realizar una reducción directa, se debe antes realizar una etapa de concentración y purificación. En esta primera parte el material se seca y calienta a 900°C, luego se tritura a menos de 100 μ m y se separa magnéticamente. Se procede a reducir el producto en un horno continuo a una temperatura próxima a los 1000°C. La elección del agente reductor depende del comportamiento termodinámico pero también del económico. Se emplea ampliamente el carbón, que es bastante barato, con el inconveniente que es difícil de controlar el contenido de carbón en el polvo metálico resultante. Se emplea también hidrógeno o atmósferas ricas en hidrógeno pero son muy costosas. En muchos casos la reducción ocurre a altas temperaturas y el material final se torna parecido a una esponja, que debe molerse para convertirla en polvo. El tamaño final del material en polvo depende de varios parámetros: el tamaño de las partículas del óxido, la temperatura de reducción y el tiempo que se toma en la reducción. En general el resultado son partículas muy finas que además tienen facilidad para sinterizarse. La forma es en general irregular, la densidad aparente es baja y con pocas propiedades para fluir.

Trituración

Proceso mecánico que convierte el metal frágil en un polvo con forma de copos. Algunos metales se pueden transformar en materiales frágiles mediante la inserción de impurezas como el azufre, luego se procede a la pulverización mecánica. Con otros metales, la fragilidad se logra calentando el material inmerso en hidrógeno, después el hidrógeno se retira calentando el material en el vacío. El polvo que se produce, generalmente es de forma angular y requiere de una subsiguiente trituración antes de que se pueda emplear en la pulvimetalurgia.

Hidrometalurgia

Esta técnica se basa en el hecho que dentro de ciertas condiciones de presión y temperatura el metal en polvo precipita de su solución o sal por el hidrógeno. El tratamiento de esta sal en solución es bastante atractivo debido a que se puede emplear directamente en el proceso de extracción del mineral, haciendo que uno de los elementos resultantes de ésta sea exactamente el material en polvo. Se emplea para la

producción de hierro, níquel, cobre y cobalto entre otros. El polvo producido por esta técnica suele ser muy fino, de gran pureza y baja densidad aparente.

Precipitación durante la fase gaseosa.

La técnica consiste en la obtención del polvo metálico por condensación del estado gaseoso. Por ejemplo la producción de hierro y níquel se consigue mediante un enfriamiento controlado que consigue separar el polvo metálico del monóxido de carbono. Las características del polvo pueden variarse mediante unas cuidadosas modificaciones en las condiciones de producción. Las formas de las partículas pueden variar desde esféricas para el hierro y semejante a fibras para el níquel.

1.1.3 Mezclado

La manipulación de polvos, una vez estos se han obtenidos, está encaminada a facilitar las etapas de la compactación y de la sinterización y a mejorar las propiedades del componente acabado. No hay que olvidar que los polvos tienen una naturaleza metálica y que es fácil que reaccionen con el medio ambiente a través de su superficie. No es casualidad el hecho de que los metales se encuentren en la naturaleza en forma de compuestos. Es una exigencia termodinámica, pues en este estado la entalpa libre es menor. Por otra parte es preciso tener en cuenta que debido a la viscosidad de la masa de polvos, ésta no cumple con el principio de Pascal propio de los fluidos.

Lubricación.

EL lubricante (acrawax) es un elemento básico en el mezclado de polvos, cuyo objetivo es aumentar la fluidez del sistema para que la densidad del componente sea elevada y homogénea y que las herramientas del molde, no sufran atascamiento, mayor desgaste o fracturas.

1.1.4 Prensado

El Prensado o Compactación, se pueden distinguir tres fases: llenado del molde, compresión (o prensado) y expulsión de la pieza. En la fase de llenado, la cavidad de la matriz, que es el negativo de la pieza final, se llena de polvo previamente mezclado. La cantidad de polvo se determina por volumen o por peso. En el primer caso, se trata de llenar la cavidad hasta que rebosa el molde. Luego se enrasa a nivel con la cara inferior de la matriz. Esta operación se suele efectuar automáticamente por medio de una tolva de alimentación de forma cónica conectada a un tubo vertical terminado en una zapata giratoria. Al principio de cada ciclo de compresión, el dispositivo de alimentación se coloca sobre la cavidad de la matriz para permitir la entrada del polvo a la misma, lo que se realiza moviendo hacia atrás y adelante la zapata de alimentación.

La rotación de la zapata de alimentación detiene la salida del polvo y a su vez el borde inferior elimina el polvo en exceso enrasando la cavidad. Luego el dispositivo se separa de la matriz para dejar actuar a los punzones. Los punzones se desplazan en una forma predeterminada y se compacta la pieza. Al final se procede a expulsar la pieza con la ayuda de los punzones inferiores y se procede a repetir la operación.

Una tolerancia de $\pm 1\%$ en el peso de polvo es normal en la práctica industrial. Se pueden conseguir tolerancias más estrechas mediante el empleo de balanzas de precisión o llenando los moldes por peso y no por volumen. Pero cuando el llenado se hace por peso es difícil obtener una densidad aparente uniforme, por esta razón el llenado se lleva a cabo por volumen y gravedad.

La diferencia en peso entre dos piezas puede llevar a una diferencia apreciable en la densidad, que a su vez ejerce una influencia importante sobre la presión específica de compactación necesaria. Además tiene efecto sobre las propiedades mecánicas del producto acabado.

Volviendo al problema de llenado, se aprecia que después de verter el material, éste adquiere una cierta densidad inicial. Esta densidad depende del tipo de polvo, ya que varía con el tamaño y forma de las partículas y con la presencia del lubricante. Cuando se aplica la primera presión de precarga la primera densificación ocurre por reacondicionamiento de las partículas, mejorando así la densidad aparente. Un polvo fino con pocas propiedades para fluir tiende a formar puentes pero esta primera precarga los rompe y facilita el movimiento.

Cuando se establece el contacto metal-metal entre el polvo y las paredes del molde, aparece un fenómeno conocido como soldadura por presión en frío. Este fenómeno describe la adhesión que ocurre entre las superficies de los materiales sin la aplicación de calor. Esta adhesión disminuye la presión transmitida por el punzón al resto del material en polvo.

En las siguientes etapas la pieza comienza a ganar resistencia. Parte de ésta comienza a ser debida al aumento de las áreas de contacto entre partículas y a la deformación plástica de éstas. Los materiales frágiles se caracterizan por incrementar su densidad y resistencia sin que suceda ningún aumento en la deformación plástica. Lo que sucede es que las puntas irregulares de los granos con un aumento en la presión tienden a fracturarse, lo que altera el tamaño y mejora la redistribución. Este mecanismo, es de hecho el único que permite aumentar la densidad en materiales frágiles.

A continuación se resumen los pasos que se distinguen durante la compactación:

Deslizamiento de las partículas sin excesiva deformación.

Compresión elástica en los puntos de contacto, que son puntos temporales de contacto.

Deformación plástica en las zonas de contacto, que ahora se convierten en zonas de contacto permanente.

Crecimiento del área de contacto a través de futuras deformaciones plásticas y/o fragmentación.

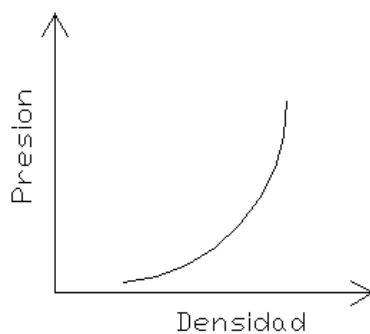
Eliminación de las fronteras entre las partículas cuando las fuerzas son suficientemente grandes.

Compresión final de la pieza como un todo.

Algunos aspectos que vale la pena destacar de las etapas descritas son los siguientes:

La figura 1.9 muestra la curva carga del punzón-densidad típica del proceso de compactación. A medida que aumenta la carga, el aumento en densidad es cada vez menor, esto es debido al endurecimiento del material.

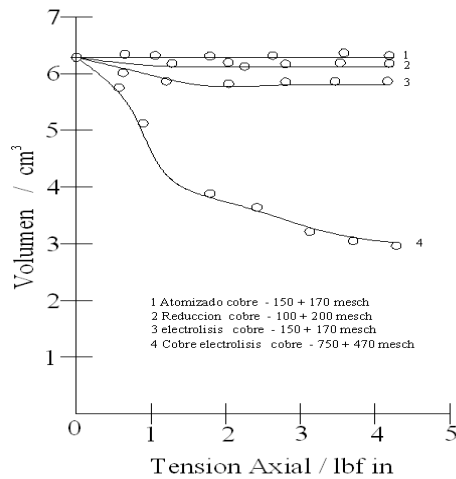
Figura 1.9 Efecto de la compactación



Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales (4)

La figura 1.10 muestra la disminución de volumen para diferentes tipos de forma de las partículas durante las primeras etapas de la compactación. Las curvas 1, 2, 3 representan partículas esféricas con diferentes tamaños mientras la curva 4 representa partículas en forma de copos irregulares. Las partículas esféricas compactan menos que los copos, esto es debido al hecho que las esféricas consiguen distribuirse de forma óptima produciendo así una densidad inicial mayor que los copos irregulares.

Figura 1.8 Efecto de la Forma de las Partículas sobre la disminución de volumen

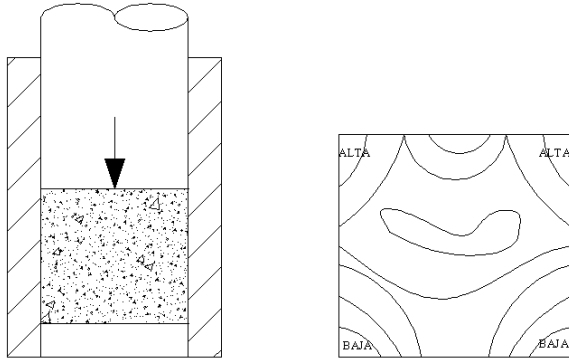


Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales (4)

El fenómeno de fricción se manifiesta de diferentes formas durante el proceso de compactación. La fricción interna entre las partículas es una de ellas. La otra es la que aparece entre la masa de polvo y las paredes tanto del molde como de los punzones.

Estas fuerzas de fricción entre las paredes del molde y el polvo disminuyen la transmisión de presión del punzón a las partículas del material, causando así una variación local en la densidad. La figura 1.11 proporciona una idea cualitativa del efecto de la fricción, ya que muestra como zonas cercanas al punzón poseen mayor densidad y como ésta va disminuyendo a medida que se está lejos de éste.

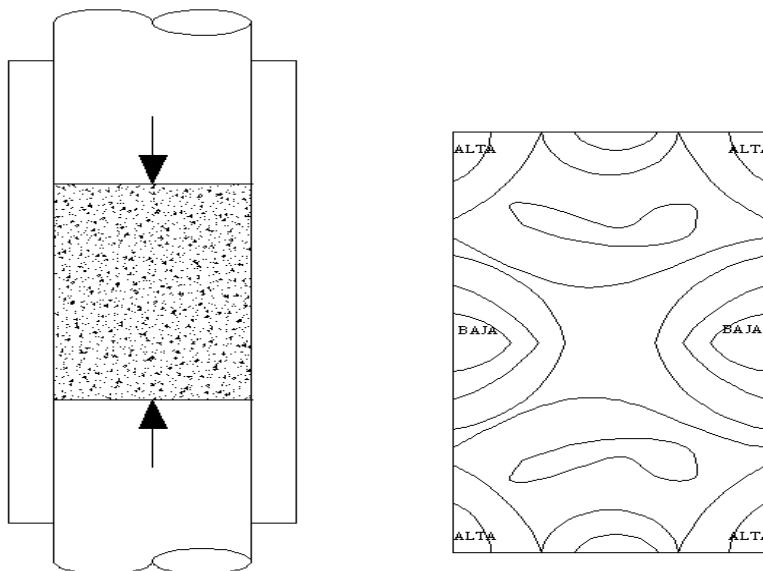
Figura 1.11 Distribución de Densidades debido a la compactación de simple efecto



Fuente: Materials Science Technology (5)

Algunos materiales presentan una diferencia muy notoria entre la densidad arriba y la densidad abajo en procesos de compactación de simple efecto. La figura 1.12 presenta una forma de remediar esto, que consiste en la aplicación simultánea de presión arriba y abajo (compactación de doble efecto).

Figura 1.12 Distribución de Densidades debido a la compactación de doble efecto



Fuente: Materials Science Technology (5)

Cerca de la pared puede existir un flujo considerable de partículas, pero las que están justo en la pared se encuentran casi adheridas, esto causa dislocaciones y distorsiones severas en las proximidades de la pared. En el caso de los cilindros de las figuras 1.9, 1.10 esto se convierte en una limitante de la razón altura y radio.

Una forma de disminuir el efecto de la fricción es mediante el uso de un lubricante, que permite obtener una mayor densidad en verde y permite transmitir mejor la presión.

Algunas de las desventajas que deben tenerse en cuenta para su uso son:

Si se añade como solución al material en polvo, mejora su distribución pero debe eliminarse al final

En algunos casos el lubricante puede disminuir el flujo del material, disminuyendo así la densidad aparente

Eleva el nivel de la presión requerida, entonces aumenta el nivel de tensiones residuales que en el momento de la expulsión de la pieza pueden provocar rotura del material.

Se debe tener cuidado con el efecto del lubricante en el momento de sinterizar la pieza, ya que puede reaccionar y cambiar las propiedades del material. Aunque parecen muchas las desventajas son muchos más los beneficios que se consiguen con una lubricación cuidadosa.

Un material en polvo no se comporta como un verdadero fluido ya que la presión aplicada no se transmite uniformemente a través de la pieza. Por ejemplo en una pieza cilíndrica, la relación P_r/P_a que expresa el cociente entre la presión radial y la presión aplicada es igual a la unidad en el caso hidrostático, pero en el polvo no es así. Lo que se aprecia es que aumenta con la densidad. La presión radial deforma elásticamente el molde y el polvo. Pero además produce una deformación permanente del polvo. Cuando se elimina la presión aplicada, en la dirección radial se observa que el material recobra bastante menos que el molde por lo tanto se requiere una presión externa para la expulsión. Las tensiones elásticas en la dirección de la compactación se eliminan al retirar la presión de compactación, pero la tensión radial permanece. Durante el estado de expulsión cuando la pieza ha salido parcialmente del molde, la sección libre se expande lateralmente. Si la fuerza cohesiva de la pieza es insuficiente para soportar esta alteración súbita de las fuerzas elásticas, se producirá una laminación horizontal en la pieza. Este tipo de problemas normalmente se evita dándole al borde superior del molde un pequeño radio.

Se deduce entonces que las dimensiones de un compacto al ser expulsado del molde, son mayores que las de éste. Esto debe tenerse en cuenta al calcular las dimensiones del molde

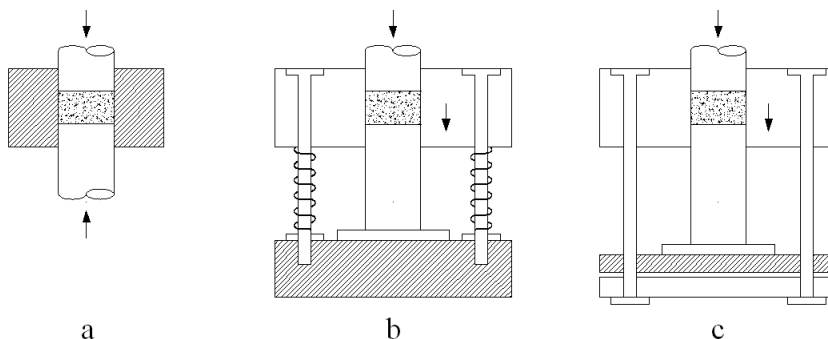
Como se dijo antes, la compactación de doble efecto es muy útil para conseguir una pieza mucho más homogénea. Este tipo de compactación se puede conseguir de diferentes formas que se describen a continuación:

La figura 1.11.a representa la compactación de doble efecto, que consiste en mover los dos punzones en forma simultánea, mientras que la matriz permanece inmóvil. En la figura 1.11.b el molde se soporta sobre unos muelles, a medida que la presión del punzón superior aumenta, también lo hace la fuerza de fricción entre el polvo y las paredes del molde. Entonces se consigue que la matriz se mueva hacia abajo sobre el punzón inferior, por lo tanto se consigue un efecto similar al primero. El caso presentado en la figura 1.11.c es similar al de la figura 1.11.b pero el movimiento de la matriz se controla externamente. La expulsión se consigue con un movimiento continuo del molde hacia abajo y el retiro del punzón superior.

El primer método expuesto es el más popular en la industria norteamericana, mientras que el segundo y tercero son más populares en Europa.

La fabricación de este tipo de piezas cilíndricas, en general no ofrece ninguna dificultad. Pero existen otro tipo de limitaciones como el tamaño de la prensa a utilizar y su capacidad. Además la relación altura-diámetro se ve limitada por el efecto de la fricción con las paredes.

Figura 1.13 Compactación de Doble Efecto

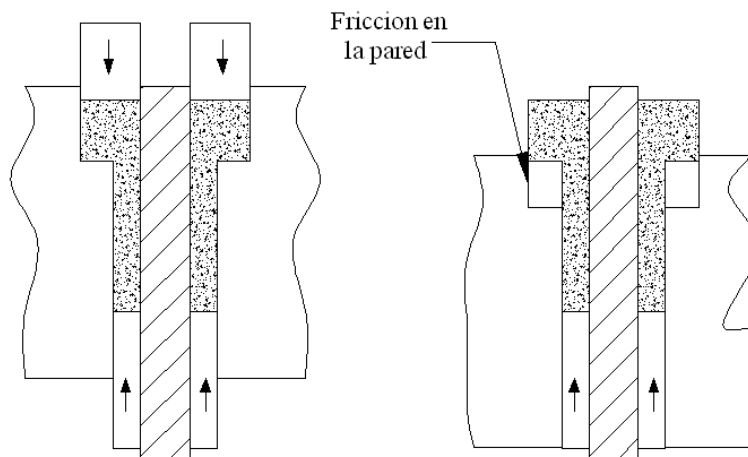


Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

El diseño de piezas más complicadas requiere del uso de un mayor número de punzones y una labor de sincronización en sus movimientos bastante más compleja. La figura 1.14 muestra un método que se usa frecuentemente para la elaboración de bujes con ceja. Si sólo se mueve el punzón de arriba, la diferencia de densidades entre la ceja y el resto de la pieza, es bastante elevada. El movimiento de los dos, permite uniformizar bastante el campo de densidades. Una limitante muy fuerte de esta técnica es el momento de la expulsión, ya que normalmente se realiza empujando la pieza desde

abajo. Pero la zona de la ceja que se encuentra en contacto con el molde, debido a la fricción y contracción del molde se ve sometida a flexión. Esto limita el ancho de la ceja en las piezas que se desean fabricar.

Figura 1.14 Compactación de un buje con ceja



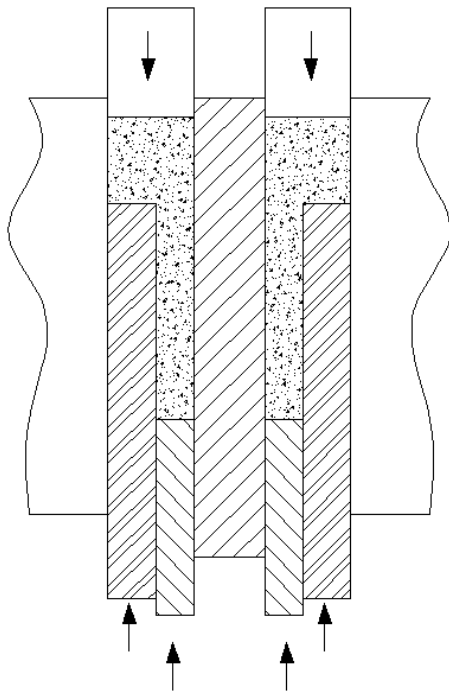
Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

La adición de un punzón en el momento de la expulsión (ver figura 1.15) elimina este problema.

Si adicionalmente se desea que la parte superior no sea plana, debe introducirse una etapa de transferencia del material como la ilustrada en la figura 1.16, que distribuye el material y luego puede precederse a la compactación simultánea.

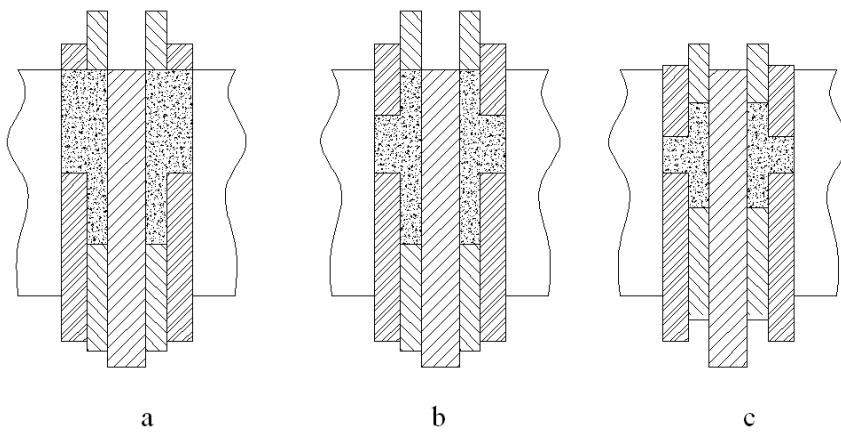
En muchos casos la alimentación se realiza por la parte superior, desde donde se vierte el material al molde. Las características del llenado, dependen de la capacidad del polvo para fluir y naturalmente de la forma del molde. Es frecuente el uso de un vibrador sujeto a la prensa para mejorar la densidad inicial.

Figura 1.15 Adición de un punzón para la expulsión



Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

Figura 1.16 Transferencia y Compactación.



Fuente: Introducción a la Pulvimetalurgia (2)

Se utilizan diferentes métodos en el momento del llenado, como bajar el punzón inferior, llenar y luego se procede a subirlo nuevamente. Si se desea construir un buje de paredes muy delgadas, se baja el punzón inferior y el núcleo que definirá el hueco, se procede a llenar el molde y finalmente se sube nuevamente el núcleo.

1.1.5 SINTERIZADO

Técnicas de sinterizado, variación de las propiedades en función de la temperatura y tiempo.

En la pulvimetalurgia, el sinterizado es el proceso por medio del cual los polvos de metal compactados se transforman en sólidos coherentes por la acción de un calentamiento a temperaturas inferiores a su punto de fusión. Durante el sinterizado, las partículas se sueldan unas con otras y la masa resultante un poco porosa adquiere una cierta resistencia mecánica, la cual varía según su densidad.

Cuando se calientan mezclas de dos o más polvos metálicos (por ejemplo, hierro y níquel) a temperaturas suficientemente altas, se obtiene su aleación simultáneamente con el polvo sinterizado. En ciertos casos puede presentarse una fase líquida transitoria que acelera el proceso de aleación y aumenta la eficiencia del sinterizado.

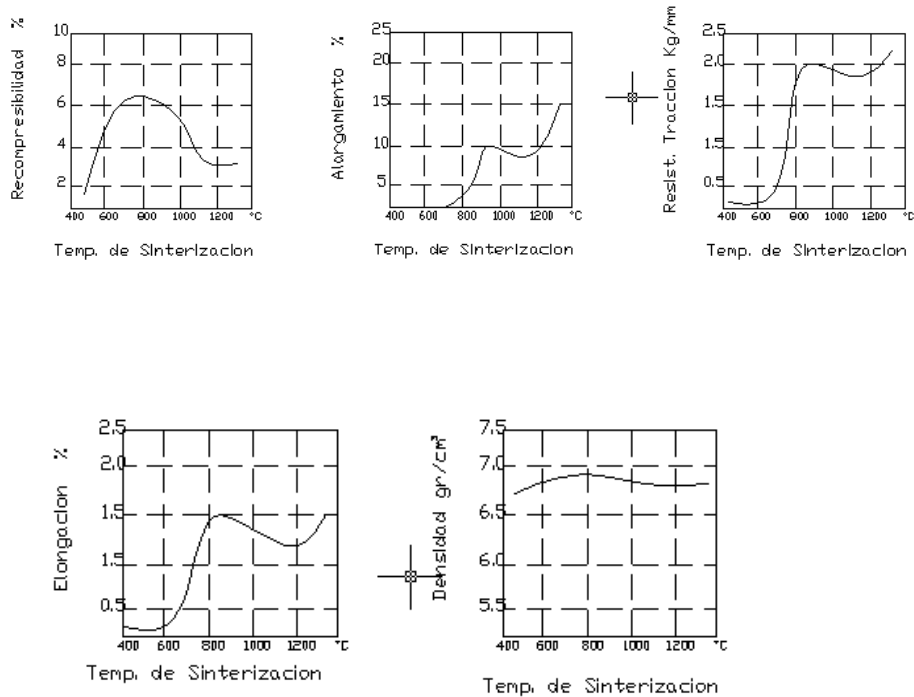
Son dos las variables más importantes que gobiernan el proceso de sinterizado: temperatura y tiempo. Otros factores influyen también en el proceso; ellos son: la presión empleada en obtener el compacto; el tamaño de las partículas del polvo, su forma, el estado que guarda su superficie y la naturaleza del gas que rodea a los compactos dentro del horno.

Durante el sinterizado se presentan varios procesos atómicos, los más importantes de los cuales son el de difusión y el de flujo plástico. Antes de examinar con cierto detalle los procesos elementales del sinterizado, puede ser de utilidad hacer primero una breve referencia de algunos fenómenos macroscópicos típicos del proceso.

Influencia de la temperatura de sinterizado.

En las graficas de la figura 1.18 se ilustra cuáles son las propiedades mecánicas de los polvos de hierro que son afectadas por la temperatura de sinterizado. Atendiendo a su relación con tal temperatura, pueden describirse como sigue:

Figura 1.18



Fuente: Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados (9)

La densidad de los compactos, después de un tiempo de sinterizado de una hora, es afectada sólo ligeramente por el proceso.

Las dimensiones de la pieza sinterizada disminuyen durante su proceso, sin que eso produzca una densificación inmediata. La consiguiente disminución en volumen es más o menos equilibrada por una correspondiente pérdida de peso al iniciarse el proceso. Esta es consecuencia de la reducción de óxidos (el contenido de oxígeno en esta clase de polvo de hierro es de 0.50 a 2%) y a la evaporación del lubricante. Nótese el pico en las curvas a 900°C, que es típico en los productos sinterizados de polvo de hierro puesto, que en ese punto sufre la llamada transformación alfa-gamma.

La resistencia a la tracción alcanza valores notables primero a temperatura arriba de 650°C. Aumenta enormemente entre 750 y 900°C, y solo moderadamente entre 900°C y 1250°C.

La elongación se ve afectada casi en la misma forma que la resistencia, aunque el aumento en alargamiento se retarda un poco con respecto a la resistencia, la influencia de la transformación alfa-gamma a 900°C es más clara.

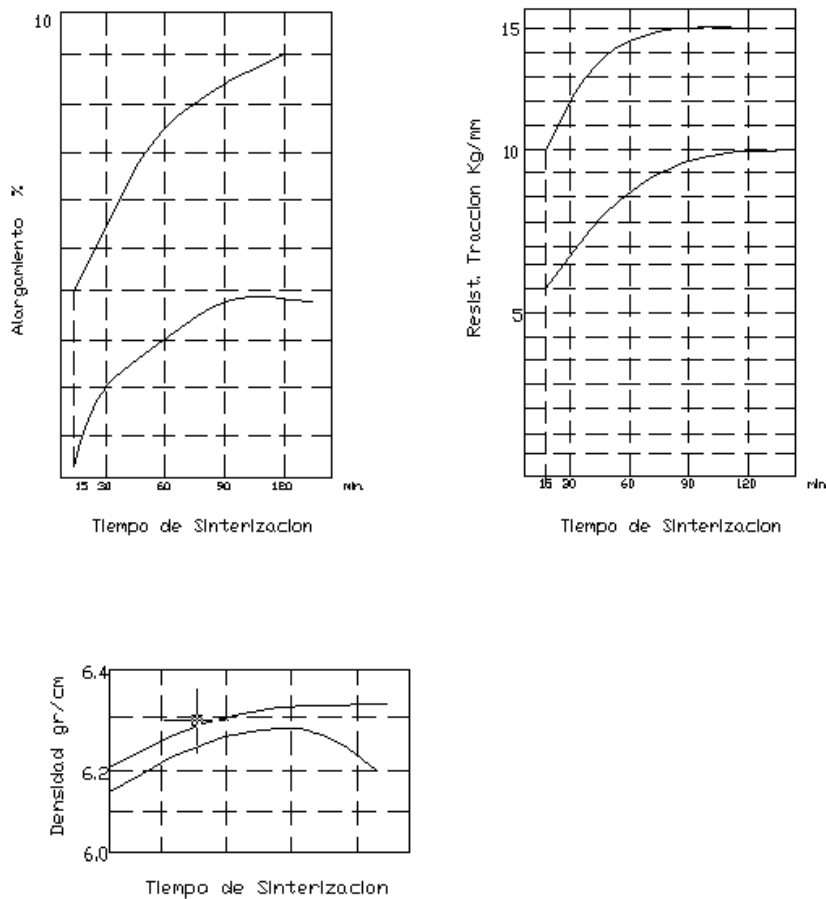
La recompresibilidad es el aumento porcentual relativo de la densidad que se obtiene reprensando una pieza ya sinterizada, a la misma presión que la aplicada previamente para obtener el compacto crudo. Esta propiedad puede expresarse:

$$\text{Recompresibilidad} = \frac{A - B}{B}$$

$A =$ densidad después del reprensado
 $B =$ densidad antes del prensado.

La recompresibilidad puede mejorarse notablemente calentando la pieza sinterizada arriba de los 400°C; nótese que alcanza su valor óptimo a 650°C, cuando el alargamiento y la resistencia a la tracción empiezan a tener valores porcentuales.

Figura 1.19 .Influencia del tiempo de sinterizado



Fuente: Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados (9)

La relación de las propiedades con el tiempo de sinterizado pueden describirse de la siguiente manera:

La densidad de las piezas varía muy poco con el tiempo de sinterizado.

La resistencia a la tracción aumenta con suma rapidez durante los primeros 15 minutos del proceso de sinterizado, después de los cuales la curva asciende cada vez más lentamente al aumentar el tiempo.

El alargamiento aumenta con el tiempo de sinterizado, casi en la misma forma que la resistencia a la tracción.

De esta síntesis de las relaciones entre las propiedades mecánicas de los compactos de polvo de hierro con la temperatura y tiempo de sinterizado, pueden sacarse las siguientes conclusiones prácticas:

1) Para obtener resistencia mecánica, los compactos deben sinterizarse a temperaturas de 850°C (1560°F).

2) Para desarrollar propiedades mecánicas que hagan útiles a los productos, es necesario sinterizarlo durante 15 minutos como mínimo. Valores muy buenos de resistencia a la tracción y de alargamiento se obtienen después de 1 ½ hora de sinterizado, debiéndose tener en cuenta que resulta inapropiado destinarles un mayor tiempo.

3) El efecto del trabajo de endurecimiento inducido en las partículas de polvo de hierro, desaparece a temperaturas entre 650 y 850°C y las piezas pueden reprintsarse más eficientemente después de un sinterizado previo dentro de ese rango de temperatura.

Fundamentos físicos del sinterizado

Una vez que se discutieron a grandes rasgos los efectos macroscópicos del sinterizado, de la misma forma se tratarán los microscópicos.

Las etapas del sinterizado. En la figura 1.20 se ilustran las dos etapas, a través de las cuales un polvo de metal llega a formar un sólido coherente.

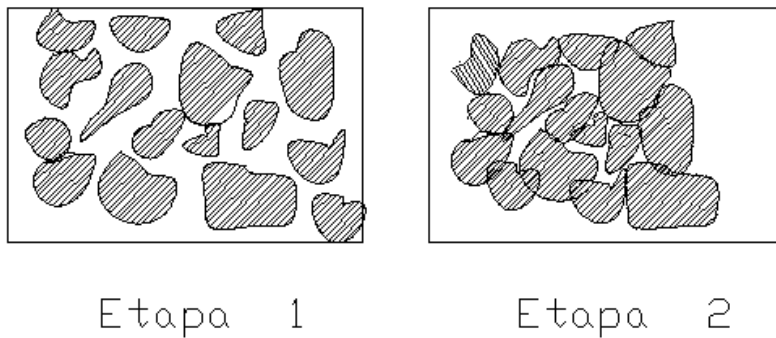
En la etapa 0, las partículas se han comprimido hasta formar un cuerpo de contornos definidos, pero el contacto entre las partículas adyacentes es más o menos puntual.

Etapas 1. Después de un cierto período de sinterizado las partículas se han adherido más íntimamente unas con otras, y lo que en la etapa anterior eran puntos de contacto se ha transformado en pequeñas áreas soldadas. Mientras esto sucede, las dimensiones del compacto aumentan casi en la proporción con que aumenta el tamaño de las áreas de contacto.

Etapa 2. La coalescencia de las partículas ha progresado formándose poros aislados. Durante esta etapa, la pieza aumenta en menor proporción que durante la anterior. Los poros aislados tienden a esferoidizarse, y mientras que los más pequeños muestran una tendencia a disminuir, los más grandes la presentan a crecer. Por tanto, la proporción del tamaño de poro aumenta, aunque la porosidad total disminuye al mismo tiempo.

La coalescencia es el proceso en el que dos dominios de fase de composición esencialmente idéntica entran en contacto para formar un dominio de fase mayor.

Figura 1.20



Fuente: Cerámica de Materiales (6)

De las consideraciones anteriores se desprende la evidencia de que en el proceso de sinterizado, se presenta un transporte e intercambio de masa entre las partículas adyacentes de la pieza.

Estructura atómica de los metales.

Cualquier metal, en estado sólido, tiene una estructura cristalina o, más exactamente dicho, es un aglomerado denso de cristales o granos. En cada grano los átomos están regularmente acomodados formando arreglos cristalinos, sin embargo, esta regularidad no es tal en los límites de los granos donde los átomos se encuentran en desorden.

Endurecimiento y recuperación

Cuando un metal se sujeta a esfuerzos cortantes lo suficientemente altos, sucede un “resbalamiento” entre ciertas capas adyacentes de sus átomos acomodados desordenadamente. Este es el mecanismo fundamental de la deformación plástica de los metales. El resbalamiento de las capas crea nuevas y más largas zona de átomos dislocados, en las cuales se almacenan grandes esfuerzos internos que obstruyen una

deformación mayor y son los responsables del efecto conocido como “trabajo de endurecimiento”. (El aumento de la presión cuando se comprime un polvo de las más altas densidades es debido en gran parte a la presencia de este efecto en las partículas).

Todavía a algunos cientos de grados sobre la temperatura ambiente, los átomos están más o menos apiñados en la rejilla cristalina, pero un aumento mayor de temperatura los hace cada vez más móviles, los átomos dislocados se mueven hacia sus posiciones normales, las zonas desarregladas empiezan a reorganizarse, desapareciendo los esfuerzos internos. En otras palabras, el metal que ha sufrido un trabajo de endurecimiento se recupera.

La recuperación de las partículas de polvo durante el sinterizado es la razón del aumento de reconpresibilidad de los compactos de polvo de hierro entre 400 y 600°C

Difusión superficial , evaporación superficial y evaporación –condensación.

Al llevar la temperatura de un metal aproximadamente a 0.3 de la absoluta de su punto de fusión, los átomos de la superficie adquieren una movilidad tal que empiezan a errar, las fuerzas de la tensión superficial hacen que ese movimiento se oriente de preferencia de las partes convexas de la superficie a las cóncavas o las menos convexas. Este flujo de los átomos a lo largo de la superficie del metal se ha llamado “difusión superficial” y es uno de los mecanismos por los que se realizan el transporte de masa en el sinterizado.

Difusión de volumen.

A temperatura mayor de 0.5 del punto absoluto de fusión del metal (para hierro, 1627 °C), se presenta otro mecanismo de transporte de masa, por medio del cual se transportan átomos a través del volumen del metal.

Ya se ha dicho que a ciertas temperaturas los átomos están bastante apiñados en la rejilla para poder moverse. Cuando la temperatura es de 0.5 de la absoluta del punto de fusión, el apiñamiento se afloja lo suficiente para que los átomos puedan moverse un poco en sus lugares. El movimiento aumenta con las temperaturas al grado que un átomo pueda dejar su lugar, que es ocupado rápidamente por un vecino cuyo lugar a su vez es ocupado por otro. Así, a una temperatura dada existe un promedio definido de lugares vacíos que aumenta con la temperatura. La tensión superficial, que varía con la curvatura de la superficie del metal, es un elemento que controla y gobierna este proceso. La acción de la tensión superficial y de los esfuerzos en los límites de los granos crea nuevos vacíos y los transfiere a los poros para el caso de un metal sinterizado, eliminándolos sobre todo de los poros más grandes, de este modo, la concentración de los lugares vacíos es mayor en los poros más grandes y menor en las inmediaciones de los poros más pequeños, de esta forma, el vagabundeo de las vacancias bajo la influencia del gradiente de concentración se mueve de los lugares de mayor a los de menor concentración. Este flujo de las vacancias a través del metal ha sido designado con el nombre de “difusión de volumen” siendo uno de los más efectivos mecanismos de transporte de masa en metales, ya que la consecuencia es el movimiento de los átomos en dirección opuesta.

La proporción en que se realiza la difusión depende de la temperatura, sin embargo, en el proceso interviene la geometría de la forma en que están acomodados los átomos. La proporción de la difusión de volumen cambia bruscamente cuando a ciertas temperaturas sufre una transformación en su estructura cristalina. En el hierro, por ejemplo, la proporción en que aumenta la difusión sufre una caída brusca cuando sobrepasa la temperatura de 906°C (1660°F), que es cuando su estructura cristalina cambia de alfa a gamma.

Recristalización y crecimiento de grano

La difusión no es el único proceso que ocurre en un metal a temperaturas superiores a 0.5 de la absoluta del punto de fusión. Otra importante consecuencia del aumento en la movilidad de los átomos del metal a tales temperaturas, es el proceso denominado “recristalización”, que se refiere a una reorganización parcial o total del sistema de granos del metal.

Con anterioridad, se hizo mención a las zonas deformadas, creadas por la deformación plástica y a los elevados esfuerzos internos en los granos cristalinos, que son parcialmente eliminados por el proceso de recuperación a temperatura abajo de la absoluta del punto de fusión, la distorsión remanente de la estructura en cada grano empieza a relajarse, los esfuerzos internos provocan que pequeños grupos de átomos inicien la reforma de una rejilla no deformada, formándose de esta manera pequeños núcleos cristalinos dentro de los granos deformados. A este proceso se le llama “enucleación”, y puede considerarse como el principio de la recristalización, el número de núcleos cristalinos y la proporción en que se formen, depende de la temperatura y del grado en que hayan sufrido una deformación en frío. Durante el calentamiento, los núcleos cristalinos crecen progresivamente consumiendo a los antiguos granos deformados, hasta convertirse en los nuevos e indeformados granos de metal. Si el calentamiento del metal se continúa después de terminado el proceso de recristalización, algunos de los nuevos granos empiezan a crecer aún más consumiendo a los vecinos, fenómeno que se conoce con el nombre de “crecimiento del grano” y es la causa de que la estructura granular del metal sea más burda. El mecanismo de este proceso puede explicarse como un desplazamiento de los límites de grano provocando por la tendencia del metal hacia un estado de menor energía, con lo que disminuye el área total de los límites y la energía de superficie almacenada en ellos.

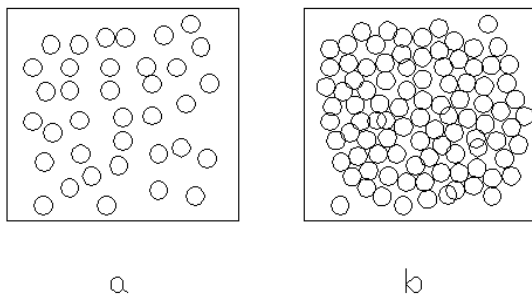
En el sinterizado, la recristalización y el crecimiento del grano juegan un papel secundario. En el polvo suelto de metal o en un compacto de polvo, por lo general, el proceso de sinterizado se inicia antes y prosigue más o menos independientemente del proceso de recristalización, si es que éste llega a realizarse.

El mecanismo del sinterizado

Los diferentes mecanismos de transporte de masa tienen efectos desiguales en la primera y segunda etapa del sinterizado a causa de las diferentes geométricas internas del compacto.

En la figura 1.21 (a) se ilustra, con un arreglo de circunferencias, el principio de la unión de dos partículas de polvo de metal. Puede observarse la distribución de los espacios vacíos y de los átomos evaporados en el exterior de las partículas. En la figura 1.21 (b) se observan los poros cerrados en el metal sinterizado. El sinterizado se inicia a temperaturas de 1125° C para el hierro.

Figura 1.21



Fuente: Cerámica de Materiales (6)

A estas temperaturas, todos los mecanismos de transporte de masa se encuentran en operación, pero no todos contribuyen, en la misma intensidad al proceso de sinterizado.

Primera etapa del sinterizado.

Como ya se vio, esta etapa se caracteriza por el crecimiento de las áreas de contacto entre las partículas de la pieza y por la presencia de un sistema de poros interconectados. En principio, esto mantiene abiertas todas las posibilidades para que se realice cualquier mecanismo de transferencia de masa. El grado en que ello suceda se discutirá enseguida:

Evaporación –Condensación y Difusión Superficial

Tales mecanismos pueden en principio contribuir a la densificación de un compacto de polvo de metal, si la masa se transporta de las regiones externas a través de los poros hasta el centro del compacto, esto será posible en la primera etapa, en tanto exista el sistema de poros interconectados, durante la segunda etapa, cuando los poros están cerrados estos mecanismos sólo contribuirán a la esferoidización de aquellos.

En consecuencia, a pesar de la presencia indudable de tales mecanismos en un compacto de polvo de metal a temperaturas de sinterizado, el transporte de masa que ellos realizan es bastante bajo en comparación con el observado en la práctica.

El hecho de que la resistencia mecánica de las partes de polvo metálico empieza a crecer con intensidad, en cuanto las temperaturas permiten el vagabundo de las vacancias, indica que la difusión de volumen juega un importante papel, al menos durante la primera etapa del sinterizado. Se presenta una elevada concentración de huecos en el punto de contacto entre las partículas, provocada por las fuerzas de tensión superficial. Los huecos se difunden en la dirección en que su concentración es menor, en tanto que el material al fluir en sentido inverso forma un “cuello” entre las partículas.

Flujo Plástico

Al formarse pequeños cuellos entre las partículas adyacentes de una pieza, se originan fuerzas superficiales muy grandes en las cercanías de los contactos y que tienden a ensanchar los cuellos, si la temperatura es lo suficientemente alta (cuando el límite elástico aparente del metal ha disminuido en forma considerable), se presenta el flujo plástico por la acción de tales fuerzas, provocando una progresiva coalescencia de las partículas.

Segunda etapa del sinterizado

Esta etapa se caracteriza por la esferoidización de los poros cerrados y por la disminución del volumen total de los poros de una pieza prensada.

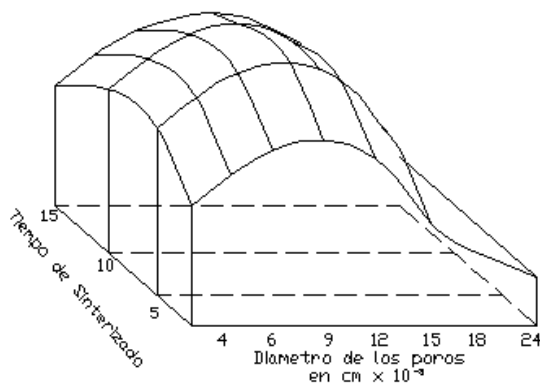
Difusión de volumen y flujo plástico.

Estos mecanismos juegan un importante papel durante la segunda etapa.

La forma peculiar en que la difusión de volumen contribuye a la contracción de una pieza prensada en esta segunda etapa se entiende por qué al contar cuidadosamente el

número de poros y su distribución de tamaño, al analizar la pieza después de la temperatura se encuentra el hecho un poco inesperado, de que todos los poros no disminuyeron de tamaño, mientras el sinterizado se realizó a temperatura constante, el número total de poros disminuyó regularmente, el promedio del tamaño del poro aumentó, como se ve en la figura 1.22 Esto significa que algunos de los poros más pequeños fueron absorbidos por otros más grandes.

Figura 1.22



Fuente: Ciencia e Ingeniería de los Materiales (4)

Ya que la tensión superficial en los poros más chicos son mayores que en los más grandes, la concentración de las vacancias es mayor cerca de los chicos, consecuentemente las vacancias fluyen de los primeros a los últimos, con el efecto consiguiente de que los poros pequeños disminuyen de tamaño más rápidamente que los grandes. Algunos de estos últimos pueden también aumentar de tamaño. En estas condiciones, la superficie exterior de las piezas constantemente aumenta en la proporción que disminuyen los poros más pequeños dentro de la pieza, esto explica por qué se está encogiendo.

El diagrama de la figura 1.22 se construyó con los resultados obtenidos al sinterizar compactos de hierro a 1000°C (1830°F) en atmósfera de hidrógeno. La curva punto-guión determina el tamaño del poro para el cual se obtiene el mayor número de poros en cada intervalo de tiempo.

Del resumen anterior, es fácil concluir que la difusión de volumen y el flujo plástico son la clave en la segunda etapa del sinterizado, pero la forma en que contribuyen al proceso es bastante complicada

Influencia de las atmósferas de sinterizado.

Casi todos los metales de importancia técnica, reaccionan con el gas de la atmósfera que los rodea aún a temperatura ambiente y más todavía cuando se trata de temperaturas elevadas.

Como consecuencia de esa reacción, muchos metales, el hierro en particular, se cubren con una película delgada, pero que se adhiere fuertemente de sus propios óxidos. Esta película no necesariamente es visible en todos los casos, porque con espesores muy delgados las películas de óxido son transparentes como el vidrio. Aún más, normalmente cualquier superficie de metal está cubierta con una capa de gases absorbidos que es muy difícil de remover.

Como ni la película de óxido ni la capa de gas adherida a las partículas de polvo son destruidas completamente en el proceso de prensado, causan serios problemas durante el sinterizado, ya que bloquean el intercambio de átomos entre las partículas adyacentes. Por lo tanto, mientras no se eliminen los óxidos y gases absorbidos, el proceso de sinterizado no puede empezar, es aquí donde las atmósferas de sinterizado se vuelven importantes, porque dependiendo de su naturaleza, pueden eliminar tales obstáculos, si un compacto de polvo de hierro, por ejemplo, se va a sinterizar en aire, el aire absorbido nunca podría eliminarse; por el contrario, se absorbe más aire, presentándose una oxidación excesiva que convierte a todo el compacto en óxido de hierro.

Si por otra parte, el sinterizado se lleva a cabo en atmósfera inerte, v. gr.: Argón; o reductora, v. gr.: Hidrógeno, Amoníaco disociado o monóxido de Carbono, las moléculas de gas absorbidas en las partículas de polvo son gradualmente intercambiadas por otras de la atmósfera protectora o reductora, y cuando la temperatura es suficientemente alta, la película de óxido se descompone, en algunos casos esta descomposición puede provocarse por la acción de la atmósfera reductora, se menciona anteriormente que arriba de la temperatura de Tamman los átomos tenían un movimiento tal que provocaban la difusión. En el caso de partículas cubiertas de óxido, significa que esas temperaturas de átomo son capaces de penetrar las debilitadas partículas de óxido y establecer puentes metálicos entre las partículas. Para el caso particular del óxido de hierro, las temperaturas de Tamman son de 628°C (1160°F), 648°C (1200°F) y 570°C (1060°F) para Fe₃O₄, Fe₂O₃ y Fe, respectivamente. Estas temperaturas son muy próximas a las correspondientes del hierro metálico (627°C, 1160°F), y esta es otra más de las razones por las que se ha definido el rango de 600 a 650°C (1110°F a 1200°F) como el correspondiente al inicio del proceso del sinterizado para los compactos de polvo de hierro.

La razón más importante por lo cual se usan atmósferas especiales de sinterizado, es la de proporcionar protección contra la oxidación y reoxidación de las partículas de polvo sinterizadas. Además al reducir los óxidos que cubren las partículas en la pieza sinterizada, la atmósfera puede crear átomos de gran movilidad que promuevan el intercambio de masa, los átomos de la atmósfera pueden entrar en la pieza a través de los poros interconectados quedando después atrapados cuando aquéllos se cierran y obstaculizan su encogimiento, por otro lado, esos átomos pueden difundirse en el metal y ocupar algunos de los espacios vacíos, estorbando la difusión de volumen, o moverse en los límites de los granos y obstruir el flujo plástico.

Finalmente, existe la posibilidad de que los átomos de la atmósfera puedan alearse con el metal. Por ejemplo, las piezas de polvo de hierro pueden carburizarse en atmósferas que contengan CO, o nitrurarse en las de amoníaco.

Hornos

Los hornos son el otro elemento básico en cuanto a maquinaria en la pulvimetalurgia junto con las prensas, en algunos casos pueden ser más útiles que las mismas prensas, ya que al variar ciertos parámetros estos capaces de sinterizar múltiples tipos de piezas sin importar que densidad contenga la pieza, y en algunos casos se pueden corregir errores dimensionales, sin tener que llegar al caso de desechar las piezas prensadas.

A continuación veremos algunas tipos de hornos de sinterizado y sus características básicas :

El horno horizontal con avance de la carga de un lado al otro del mismo es el mejor a la demanda de la industria.

El diseño de un horno de este tipo se basa en los siguientes factures:

Temperatura de sinterizado
Atmósfera de sinterizado
Capacidad de producción
Mantenimiento

Si la temperatura de sinterizado no excede de 1150°C (2100°F), este puede llevarse a cabo en un horno continuo en banda de malla, este horno ofrece la ventaja de que las piezas pueden transportarse a través del horno a velocidades variables, con o sin el uso de bandejas. El material recomendado para la banda y las resistencias es la aleación de 80% Ni y 20% Cr, que permite sinterizar hasta 1150°C en la cámara de calentamiento la banda se apoya en un hogar de carburo de silicio.

El horno empujador se diferencia del anterior en que no tiene banda y las piezas se colocan en bandejas, cuando no es dañina la presencia de carbón durante el sinterizado, se pueden usar charolas de grafito, la capacidad de producción de este horno está limitada por las dimensiones de la cámara de calentamiento.

Para grandes volúmenes de producción, puede usarse al llamado horno de rodillos.

Los materiales más comúnmente usados en las resistencias eléctricas son el Nicromo (aleación de níquel y cromo) para temperaturas del horno hasta de 1150°C (2070°F), Kauthal (aleación de Fe-Cr-Al-Co) para temperaturas hasta 1300°C (2370°F), molibdeno hasta 1650°C (1300°F)

La selección del equipo de sinterizado más conveniente debe basarse en la consideración de muchos factores, entre los que se pueden citar: el tipo del material por sinterizar, forma y tamaño de los productos a fabricar y la capacidad de producción, posibilidades de aumento en la producción, etc. Una información completa de la

construcción y operación de los diversos tipos de hornos para sinterizado, puede encontrarse, por ejemplo, en el “Treatise on Powder Metallurgy” de Goetzl o en el “Sintereisen and Sinterstahl” de Kieffer-Hotop.

Atmosferas Controladas.

Las condiciones locales, así como el tipo de producción determinan la selección de la atmósfera de sinterizado. La correcta selección es de gran importancia en la economía del proceso.

De los diversos tipos de atmósferas que pueden emplearse en el sinterizado (A, He, CO, H₂O, O₂, aire, etc.), sólo cuatro de ellos se emplean preferentemente. Ellos son:

- I) hidrógeno.
- II) atmósferas derivadas del amoníaco
- III) atmósfera derivadas de hidrocarburos gaseosos
- IV) Vacío.

Por la influencia de la atmósfera sobre los productos sinterizados puede hacerse la siguiente clasificación:

- Atmósfera oxidante (aire, bióxido de carbono, vapor de agua)
- Atmósfera reductora (hidrogeno, monóxido de carbono, metano, amoníaco disociado)
- Atmósferas carburantes (monóxido de carbono, metano, propano).
- Atmósferas inertes (vacío, helio, argón, nitrógeno)
- Atmósferas nitrurantes (amoníaco, para aceros inoxidables o el cromo, algunas veces se sustituye por nitrógeno)

Cuando se usan mezclas de los gases anteriores, el efecto puede variar, por ejemplo: mezclas de bióxido y monóxido de carbono pueden ser oxidantes, reductoras, carburantes o descarburantes.

Para el sinterizado de compactos ferrosos, sólo en casos muy especiales se usan atmósferas oxidantes, uno de estos casos es la evaporación de los lubricantes usados en la obtención de la pieza prensada, esto se logra en un horno entre 350 y 450°C (660-800°F), con atmósfera de aire o de gases en combustión, quedando una oxidación en la pieza prensada.

Las atmósferas reductoras son con mucho las más usadas en el sinterizado de piezas de hierro puro, hierro-cobre o hierro-cobre-carbón. El hidrogeno puro, producido por electrolisis es muy bueno como reductor; pero resulta demasiado caro y solo es recomendable usarlo en el sinterizado de piezas también caras como filtros de acero inoxidable o imanes, ya que tales objetos necesitan de esa atmósfera.

Un excelente sustituto del hidrógeno puro es el amoníaco disociado, que produce un gas con 75% de H₂ y 25% de N₂ la fuerte acción reductora de este gas favorece la eliminación de los óxidos presentes en todos los polvos comerciales, es fácil de manejar y el más apropiado para una producción mediana, especialmente si se fabrica simultáneamente muchas piezas diferentes, aún cuando la atmósfera de amoníaco

disociado no es lo más barato, elimina muchos problemas de producción y proporciona una calidad elevada y uniforme al producto sinterizado, el gran inconveniente es que el uso de amoníaco está estrictamente regulado en México por la SEMARNAP, y de hecho está prohibido para su uso en los sinterizados

El gas exotérmico es producido en generadores especialmente diseñados, donde se mezclan el gas combustible (CH_4 y el aire) se mezclan en una relación tal que se efectúe una combustión incompleta, el calor generado en la cámara de combustión es suficiente para mantener la reacción, el análisis del gas producido en el generador es muy complicado, depende sobre todo de la relación aire/combustible, si su composición depende de su efecto, reductor, carburante, descarburante, inerte y aún oxidante, se utiliza en la producción en gran escala (hornos continuos de banda) de piezas de hierro puro o hierro-cobre.

Cuando la relación aire/combustible es baja y debe suministrarse calor al generador, se obtiene el llamado gas endotérmico que es más apropiado para el sinterizado de compactos de mezclas de Fe-C y Fe-Cu-C. Obteniéndose de esta forma mejores propiedades físicas que sin C. (2)

Las atmósferas inertes tienen por objeto impedir las reacciones químicas entre la atmósfera y el producto, el vacío se considera como la atmósfera inerte ideal y se usa en la fabricación de piezas especiales como acero inoxidable, imanes y metales duros, sobre todo si contiene carburos de titanio. En algunos casos se usan N, Ar y también He.

Cuando se sinterizan aceros inoxidables y aleaciones de cromo en atmósferas que contengan N, se pueden nitrar, para mezclas de Fe-C y Fe-Cu se ha intentado agregar amoníaco a la atmósfera de sinterizado con el objeto de obtener piezas nitradas, sin embargo, resulta un verdadero problema controlar las dimensiones de los productos sinterizados en esas condiciones

Control de las atmósferas controladas.

Para el caso de un disociador de amoníaco donde el olor del gas y un registrador de la temperatura son en general suficientes para el control de su operación. Para otros generadores de gas, deben usarse instrumentos de control más complicados. En un horno que se abastece por nitrógeno, existe igualmente varias regulaciones por parte de la STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social), en cuanto al trato que se le debe dar a un recipiente de presión, las formas de control, más comunes son las válvulas de seguridad.

1.1.6 Operaciones Adicionales

Calibrado

El calibrado es una operación usada para obtener la máxima presión en las dimensiones de una pieza, compensando el crecimiento excesivo o cualquier otro defecto dimensional ocasionado por el proceso de sinterizado. Esta operación se efectúa por lo general en las mismas prensas usadas en el consolidado del polvo, con matrices y punzones endurecidos y cuyas medidas sean las requeridas del producto terminado. El calibrado se hace indispensable en la fabricación de cojinetes porosos, casquillos, anillos, etc., donde la exactitud de las dimensiones son de importancia vital, como también en el caso de engranes, levas y otras partes de una máquina. En esta operación se produce una pequeña deformación plástica, por lo que, normalmente las fuerzas necesarias son bastante moderadas.

Doble prensado y doble sinterizado.

El doble prensado tiene un doble propósito. No solamente proporciona precisión en las dimensiones como en el calibrado, sino que, empleando fuerzas más grandes se aumenta la densidad del producto. En la operación de sinterizado se obtiene una pieza recocida maleable, en la que se produce un flujo plástico considerable durante el reprensado. Su dureza y resistencia a la tracción aumentan por igual, en tanto que su alargamiento disminuye.

Si la unión de las partículas producidas por el sinterizado es lo suficientemente fuerte, la deformación plástica dentro de la matriz hace posible obtener por este método, formas mucho más complejas que pueden moldearse directamente en el polvo. La presión necesaria para este trabajo depende del metal en particular y de las propiedades requeridas, por lo general, la presión usada en el doble prensado es la misma que la de compresión, algunas veces puede ser hasta del doble de ésta.

El grado de deformación requerido por el doble prensado de un compacto, depende de cuatro factores: naturaleza del metal (dureza y plasticidad), densidad y estructura granular del compacto sinterizado, presión aplicada durante el reprensado y forma y diseño de la matriz.

El doble prensado tropieza frecuentemente con algunas serias dificultades causadas, ya sea por una lubricación insuficiente en las paredes de la matriz, o por la forma del compacto.

Piezas sinterizadas de polvos duros o abrasivos deterioran las paredes de la matriz, sobre todo durante la expulsión, este efecto se presenta sobre todo en compactos de hierro y acero y aún de aluminio, magnesio y metales refractarios. Los efectos del factor- forma son diversos, secciones transversales irregulares o densidad no uniforme provocan distorsiones, crecimiento o encogimientos durante el sinterizado, lo que hace necesario un cuidadoso reajuste en el calibrador o reprensado. El cuerpo sinterizado fluye y se deforma menos que la masa de polvo original por lo que no se pueden obtener ciertos perfiles de dimensiones precisas.

Sellado de porosidad

El sellado de porosidad es un proceso complementario para una pieza sinterizada que necesita un recubrimiento químico como puede ser un niquelado, cromado o cualquier tipo de proceso de inmersión en sustancias líquidas.

Sin el sellado de porosidad la pieza sinterizada, absorbe el recubrimiento, como si de una esponja se tratara, el sellado de porosidad, se lleva a cabo con una cera especial, que rellena las minúsculas cavidades de la pieza sinterizada cubriéndola con una película, que impide que al sumergir la pieza en otra sustancia para el recubrimiento final ese sea absorbido por la pieza

1.1.7 Herramentales

La producción a base de polvos metálicos se basa en volúmenes altos de producción, para ello necesita de herramientas (entiéndase herramientas: las matrices, punzones y núcleos que necesite la pieza en cuestión) fáciles de fabricar y de gran resistencia al desgaste. Los herramentales se fabrican básicamente de aceros indeformables y de carburos cementados. Cabe aclarar que las matrices deben tener mayor dureza que el resto de los herramentales por dos puntos de dureza mínimo, la escala en cual se diseñan los herramentales es RC con durezas para punzones de 58 RC y 60 para matrices y núcleos

La operación más laboriosa en la fabricación de matrices es el desbaste y pulido o acabado de las mismas. Por este motivo el equipo destinado al compactado y calibrado debe tener gran precisión con tolerancias muy limitadas, es aquí donde la pulvimetalurgia se apoya en otras tecnologías, como es el maquinado o la erosión (ya sea por penetración o por corte de hilo).

El primer problema que se plantea en la fabricación de herramentales es la elección del material, las herramientas tienen distintos componentes que desempeñan distinta función y por lo tanto, las propiedades son diferentes, es necesario considerar cuidadosamente la función a desempeñar, dependiendo de la herramienta en cuestión y por el resto de los componentes antes de diseñarla.

Interesa que la herramienta sea resistente al desgaste (tenacidad) principalmente, los herramentales se fabricaran de aceros aleados; se necesita un componente duro y barato se escogerá un acero al carbono para fabricarlos, se necesita resistencia al desgaste donde la precisión dimensional de los carburos cementados son la mejor elección, si estos no se anteponen a los aceros aleados es debido al elevado costo de este material.

Como mencionamos anteriormente la matriz debe ser más dura que el resto del herramental, para estas variaciones de las propiedades de los componentes de herramental puede obtenerse aplicando convenientemente los conocimientos existentes sobre los tratamientos térmicos de los metales empleados.

Fabricación de herramental.

Las herramientas o molde se fabrica en tres etapas: Hechurado (o fabricación), los tratamientos térmicos y los acabados. Obviamente estos son las etapas básicas, estas etapas incrementan dependiendo del tipo de molde y del material que se requiera.

Hechurado.

La conformación del herramental se realiza de acuerdo con el tipo de material empleados, si se trata de acero al carbono, lo que es más probable de acero aleado, se deforma en caliente (forja), o se aplica deformación en frío después de haber realizado un tratamiento térmico de recocido. Las piezas de metal duro se hechura o fabrican básicamente por proceso de maquinado, para dar la forma o diseño general del producto a fabricar después de haber torneado, taladrado rectificado o cualquiera que sea las operaciones de maquinado que necesite llevar a cabo el herramental esta listo para los tratamientos térmicos que sea necesarios.

Tratamientos térmicos.

El primer tratamiento térmico del que depende la fabricación del herramental es el recocido, el cual nos deja la forja lista para poder ablandar el material, lo cual se obtiene calentando la pieza hasta situarla en el diagrama de equilibrio en el campo austenítico para posteriormente enfriarla dentro del horno o al aire para lograr un recocido.

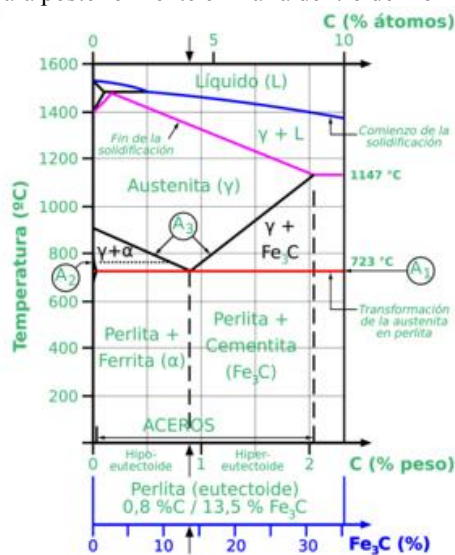


Diagrama de equilibrio

Ya teniendo el material recocido, necesitamos darle la dureza deseada, la cual se obtendrá por cualquiera de los siguientes métodos:

Nitruración: La nitruración se consigue a base de calentar el acero a 550° C durante unas 70 horas e presencia de NH₃, produciéndose un endurecimiento superficial por formarse los nitruros de los elementos maleantes.

Cromado. Se deposita una capa de cromo directamente sobre el acero para soportar las grandes presiones a que están sometidas las matrices.

Endurecimiento Martensítico; Esto es enfriar rápidamente desde la zona de temple (austenítica).

Revenido: Se ejecuta en los aceros aleados, los cuales después del temple se calientan precipitando carburos que los endurecen.

Acabados.

Las operaciones finales de la fabricación de la matriz son el acabado y el ajuste.

Las matrices de acero tratado y de metal duro se pueden ajustar a las dimensiones previstas mediante el lapeado, bruñido como acabado superficial

El lapeado y el bruñido son dos procesos de acabado muy semejantes es un proceso abrasivo que elimina la última partícula de material no deseado. A veces, el lapeado utiliza una pasta abrasiva que se frota sobre la pieza para alisarla progresivamente.

En el proceso de pulvimetalurgia, el herramental está basado en redondos, ya sea debido a las formas de el producto producir, o debido a la sujeción del herramental ya que esta se basa en lo que se conoce como mamelones los cuales son extremos de los punzones con mayor diámetro generando un cuello, del cual es de donde se realiza la sujeción a los accesorios de la maquina, por lo cual en la pulvimetalurgia el bruñido es un proceso de acabado superficial más común.

El bruñido se ha asociado durante mucho tiempo con el lapeado porque ambos procesos se utilizaban para el acabado de orificios, pero deben ser diferenciados.

Las principales ventajas del bruñido sobre el lapeado son los grandes arranques de material y los ciclos de tiempo más rápidos.

El bruñido es un proceso de arranque de metal utilizado tras la fundición, taladrado o rectificado para obtener una geometría de precisión y un acabado superficial perfecto, eliminando tensiones residuales causadas por estos procesos. Es un método rápido y eficiente en el dimensionado de precisión de una amplia gama de piezas, desde componentes de motores de turbinas a guías de válvulas.

En la última década el bruñido ha llegado a ser un proceso mejor descrito como acabado de orificios, dada la cantidad de arranque logrado y el incremento substancial de los porcentajes alcanzados. Resulta ahora práctico arrancar 0,4 mm o más durante un mero

bruñido de un orificio de acero duro, 25 mm de diámetro por 25 mm de longitud en 40 segundos. La redondez, la rectitud y la cilindrada pueden mantenerse a 0,01 mm durante operaciones de bruñido de desbaste, y menos de 1 μ durante el acabado. Dado que los puntos de corte de los granos de abrasivo de bruñido son muy pequeños y cortan simultáneamente, el calor y la tensión generada en la pieza de trabajo nunca llegan a concentrarse. Como resultado, el proceso daña mínimamente la superficie bruñida es excelente.

La electroerosión y el corte por hiloerosión suelen ser en ocasiones operaciones necesarias dependiendo de las formas y tolerancias de la pieza a producir, la electroerosión, consiste en conectar dentro de un baño conductor la pieza con el ánodo de una batería y situarla frente a un negativo de grafito o cobre conectado al cátodo. En las zonas en las cuales la densidad de corriente sea mayor, habrá mayor velocidad de disolución de la matriz.

El acabado final o ajuste de el herramental debe ser extremadamente fino, por lo cual el pulido se hace de forma manual con lija, primero porque se tiene que dar un acabado muy específico y segundo porque las formas principalmente de los punzones en ocasiones son tan complejas que existen recovecos en los cuales el elemento abrasivo usado por la maquina, no puede accesar, también se realiza esta operación de forma manual, ya que se debe estar comprobando la holgura entre componentes la cual debe ser muy estrecha 0.0005", es decir debe de existir una diferencia de medidas entre el punzón y el núcleo, o entre los punzones y matriz de 0.00025"

Los acabados son fundamentales para el buen funcionamiento del molde, debido a que sin un buen acabado pueden darse continuos atascamientos en el molde y posibles desprendimientos de polvo después del compactado.

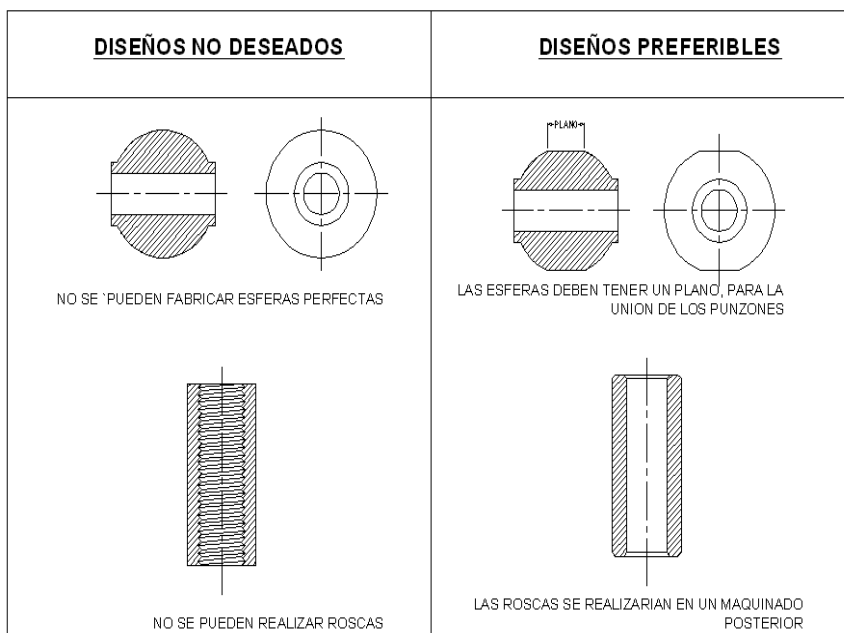
Limitaciones de Diseño.

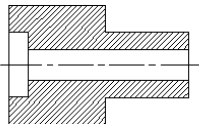
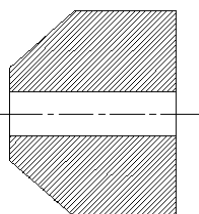
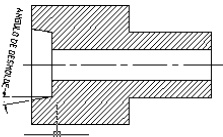
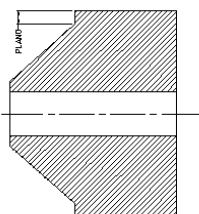
En el diseño de una pieza por el método de compactación en frío, se tienen varias limitantes que deben tenerse en cuenta. La capacidad de la prensa, los límites en la sección transversal y longitudinal son algunas de éstas. También la altura de la profundidad de llenado, el efecto de la fricción, etc. Algunas de estas limitantes se pueden superar con el uso de prensas más grandes, con el empleo de lubricantes o rediseñando algunas secciones. Pero existen cierto tipo de configuraciones que son virtualmente imposibles de construir. La figura 1.23 muestra algunas de ellas. Las características que son indeseables en una pieza se pueden agrupar en dos partes: el primer grupo lo constituyen aquellas formas donde se rompe el flujo de material o el proceso de expulsión se torna imposible de la forma convencional. El segundo grupo lo forman aquellas piezas que requieren diseñar elementos muy delgados o débiles que pueden romperse durante la compactación.

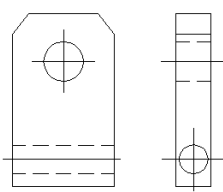
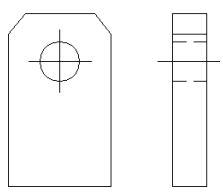
En el primer grupo se encuentran piezas con agujeros en direcciones diferentes a la del movimiento de los punzones. Entradas y salidas agudas como las roscas de los tornillos que hacen imposible la expulsión de la manera convencional.

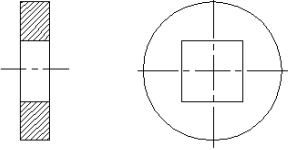
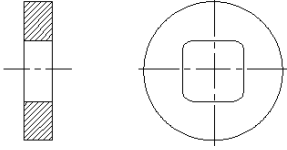


Muchos de estos inconvenientes obligan a maquinar la pieza después del sinterizado. En el segundo grupo se encuentran piezas con agujeros o cambios de sección muy estrechos que obligarían a que el molde o el núcleo tuvieran secciones muy delgadas. Piezas con chaflanes muy pequeños que obligarían a construir el punzón con pestañas muy delgadas. Finalmente se incluyen en este grupo cambios de sección súbitos o fuertemente asimétricos.

Figura 1.23 Formas preferibles y no deseadas en el diseño de piezas por pulvimetalurgia.



DISEÑOS NO DESEADOS	DISEÑOS PREFERIBLES
 <p data-bbox="268 638 545 660">LAS CAVIDADES NO DEBEN SER RECTAS</p>  <p data-bbox="255 929 593 963">NO SE PUEDEN FABRICAR PIEZAS CON ANGULOS EXTERIORES</p>	 <p data-bbox="694 627 1037 660">SE RECOMIENDA QUE LOS ESCALONES TENGAN UN ANGULO DE SALIDA O DESMOLDE</p>  <p data-bbox="662 929 1029 963">LOS ANGULOS DEBEN TENER UN PLANO EVITAR QUE LOS PUNZONES SUFRAN FRACTURAS</p>

DISEÑOS NO DESEADOS	DISEÑOS PREFERIBLES
 <p data-bbox="252 1400 598 1422">NO SE PUEDEN OBTENER BARRENOS LATERALES</p>	 <p data-bbox="662 1377 1021 1422">EL BARRENO LATERAL SE DEBERA REALIZAR EN UN MAQUINADO POSTERIOR</p>

DISEÑOS NO DESEADOS	DISEÑOS PREFERIBLES
 <p data-bbox="245 636 608 674">CUALQUIER BARRENO INTERIOR CON ESQUINAS ES INDESEABLE</p>	 <p data-bbox="730 629 1070 680">ES PREFERIBLE QUE CUALQUIER ESQUINA ESTE REDONDEADA, PARA EVITAR FRACTURAS AL EXPULSAR LA PIEZA</p>
 <p data-bbox="264 815 608 853">ESTE DISEÑO NO SE PUEDE FABRICAR DEBIDO A QUE SERIA IMPOSIBLE DESMOLDAR LA PIEZA</p>	 <p data-bbox="794 815 1050 853">SE DEBERIA DE MAQUINAR LA PIEZA POSTERIORMENTE</p>

Fuente: Proceso de Compactación de Pulvimetalurgia (8)

1.2 PROCESO DE MAQUINADO

El maquinado es un proceso que exige tiempo y desperdicia material. Sin embargo, es muy preciso y puede producir una tersura de superficie difícil de lograr con otros procesos de formación. El maquinado tradicional se lleva a cabo con el uso de una herramienta de corte, que remueve el material de la pieza de trabajo en forma de virutas, con lo cual se le da la configuración deseada. En la actualidad el maquinado en máquinas de control numérico computarizado es la forma más común de maquinar piezas debido a su precisión.

A continuación veremos lo que es básicamente el desbaste por control numérico computarizado, desde su origen, trascendencia y aplicaciones.

1.2.1 Antecedentes del Maquinado por Control Numérico Computarizado

Desde el momento que los pueblos primitivos se dieron cuenta del concepto cantidad, las personas han utilizado algún procedimiento o mecanismo para contar y llevar a cabo cálculos, los pueblos primitivos usaban los dedos de las manos y pies, así como piedras para contar.

Aproximadamente en el año 4000 AC, el ábaco, fue realmente la primera computadora, fue desarrollado en el Oriente y usa el principio de cuenta móvil sobre varios alambres para efectuar los cálculos; el ábaco es muy preciso cuando se utiliza correctamente, hoy se le encuentra en los negocios orientales más pequeños y antiguos.

En 1642 fue construida la primera calculadora mecánica, por un francés de nombre Blaise Pascal, estaba construida en ocho ruedas o caratulas, cada una con los números del 0 al 9, y cada rueda representaba las unidades, decenas, centenas, miles, etcétera, podía, sin embargo, solamente sumar o restar, la multiplicación o la división se efectuaban mediante, sumas o restas repetidas

En 1804, un mecánico francés, J. M. Jacquard, introdujo un sistema de tarjetas perforadas para dirigir las operaciones de un telar. En los Estados Unidos, Herman Hollerith introdujo el uso de tarjetas perforadas para registrar información personal, como edad, sexo, raza y estado civil u ordenar y almacenar, el censo norteamericano de 1890. La información fue codificada en tarjetas, leída y tabulada por sensores eléctricos. Este uso de las tarjetas perforadas llevó al desarrollo de las primeras máquinas de oficina para la tabulación de datos.

A fines de los años cincuenta, Kilby de Texas Instruments y Noyce descubrieron que se podían grabar en una pequeña pieza de silicio de aproximadamente $1/4'' \times 1/3''$ de espesor cualquier cantidad de transistores junto con sus interconexiones. Estos chips, conocidos como circuitos integrados (IC), contenían secciones completas de la computadora, como un circuito lógico o un registro de memoria. Estos chips se han mejorado aún más, y hoy se amontonan miles de transistores y circuitos en este pequeño chip de silicio. El único problema con este chip avanzado, es que los circuitos estaban fijados de una manera rígida y los chips solamente pueden hacer las tareas para las que fueron diseñados.

En 1971 Intel Corporation produjo el microprocesador un chip que contenía la totalidad de la unidad de procesamiento central (CPU) de una computadora individual. Este único chip podía ser programado para llevar a cabo cualquier cantidad de tareas, desde dirigir una nave espacial a operar un reloj o controlar las nuevas computadoras personales.

-

El papel de la computadora en la vida actual.

Aunque las computadoras actuales nos maravillan (particularmente a la vieja generación), se han convertido en parte de la vida cotidiana. En los años por venir, su influencia será todavía mayor.

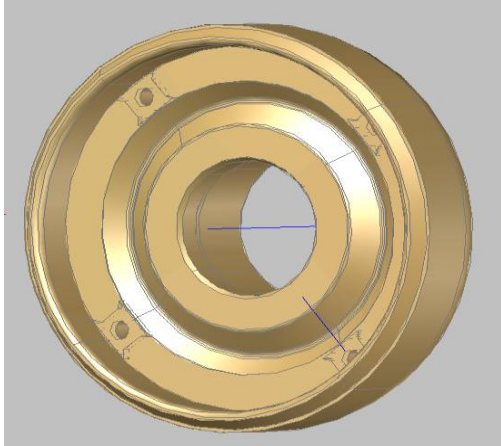
Nos admira que hoy algunas computadoras pueden ejecutar un millón de cálculos por segundo debido a los miles de transistores y circuitos amontonados en los pequeños chips (IC). Los científicos de la computación pueden prever con el día cuando mil millones de transistores e interruptores controlan el flujo de electrones. Eran mucho más pequeños que electrónicos (con las conexiones necesarias) puedan amontonarse en un solo chip. Un solo chip tendrá una memoria entonces lo suficientemente grande para almacenar el texto de 200 novelas largas. Avances de este tipo reducirán el tamaño de las computadoras de una manera considerable.

En la vida cotidiana todo el mundo está afectado y seguirá afectado por la computadora. Las computadoras de las tiendas departamentales enlistan y totalizan sus compras y al mismo tiempo mantienen actualizado el inventario y aconsejan a la empresa sobre los hábitos de compra de las personas, por lo tanto la computadora permite que la empresa compre con mayor conocimiento, las computadoras de las empresas de crédito saben cuánto debe cada adulto, a quién y la forma en que la deuda se está cancelando. Las computadoras en las escuelas registran los cursos, calificaciones y otra información de los estudiantes. Se mantienen registros hospitalarios y médicos sobre quien quiera que haya sido admitido en un hospital.

En la industria manufacturera, la computadora ha contribuido a la manufactura eficiente de todos los bienes, se tiene la impresión que el impacto de las computadoras será incluso mayor en el futuro. Las computadoras continuarán mejorando la productividad mediante el diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se puede investigar el diseño de un producto, desarrollarlo completamente y probar el diseño antes de iniciar la producción (Figura 2.18). La manufactura asistida por computadora (CAM) da como resultado menos desperdicio y más confiabilidad al usar el control por computadora en la secuencia de maquinado y las velocidades y avances de corte.

Los robots, que son controlados por computadora y que utilizan rutinas para el movimiento de las piezas trabajadas.

Los robots se pueden programar para pintar automóviles, soldar alimantar forjas, cargar y descargar maquinaria, ensamblar y llevar a cabo tareas peligrosas, aburridas y precisas actualmente ejecutadas por los seres humanos.



Control numérico por Computadora

El control numérico (CNC) se define como un método de controlar con precisión la operación de una máquina mediante una serie de instrucciones codificadas tomadas por números y letras del alfabeto, símbolos para la unidad de control de la máquina puede comprender, estas instrucciones se convierten en pulsos eléctricos de corriente que los motores y controles de la máquina siguen, para llevar a cabo las operaciones de maquinado sobre una pieza de trabajo los números, letras y símbolos son instrucciones codificadas que se refieren a distancias, o posiciones funciones, o movimientos específicos que la máquina herramienta puede comprender, la maquinaria, la pieza, los dispositivos de medición y de registro incorporándose, las máquinas – herramienta de control numérico por computadora aseguran que la pieza que se está manufacturando será exactamente lo que se requiere. Las máquinas de control numérico por computadora (CNC) minimizan el error humano.

El papel de una computadora en CNC.

La computadora tiene también muchos usos en el proceso manufactura. Se utiliza para el diseño de las pieza con el mismo grado de precisión, mediante el diseño asistido por computadora (CAD), en las pruebas, inspección, control de calidad, planeación, control de inventarios, recolección de datos, programación del trabajo, almacenamiento y en muchas otras funciones de la manufactura, la computadora ha causado profundos efectos en las técnicas de manufactura, mismos que seguirá teniendo en el futuro, Las computadoras llenan tres papeles importantes en el control numérico por computadora (CNC):

1. Prácticamente todas las unidades de control de la máquina (MCU) incluyen o incorporan una computadora en su operación, estas unidades generalmente se llaman control numérico por computadora (CNC).

2. La mayor parte de la programación de piezas para las máquinas herramienta CNC se lleva a cabo con asistencia de computadoras fuera de línea.

3. Un número cada vez mayor de máquina - herramienta controlado o supervisado por computadoras que pueden estar situadas en un cuarto de controles separado. Esto se conocen comúnmente como control numérico directo (CND).

1.2.2 Rendimiento y Ventajas del Maquinado por Control Numérico Computarizado

Rendimiento.

El Control Numérico Computarizado ha tenido grandes progresos desde que se introdujo por primera vez a mediados de los años 50, como un medio de guía de manera automática, los movimientos de las máquinas herramienta, sin ayuda humana. Las primeras máquinas en procesar un posicionamiento punto a punto (movimientos en línea recta), eran máquinas muy costosas y requerían de técnicos muy preparados y de matemáticos para producir los programas en cinta. No solamente han mejorado de manera dramática las máquinas herramienta y sus controles, sino que el costo se ha venido continuamente reduciendo, las máquinas CNC ahora están dentro del alcance financiero de los pequeños talleres de manufactura y de las instituciones educativas, su aceptación mundial ha sido el resultado de su precisión, confiabilidad, capacidad de repetición y productividad.

Precisión

Las máquinas herramienta CNC no hubieran sido aceptadas por la industria de no ser capaces de efectuar maquinados con tolerancias muy estrechas, cuando se estaba desarrollando CNC, la industria estaba buscando una manera de mejorar las velocidades de producción y lograr una mayor precisión en sus productos, un mecánico diestro es capaz de trabajar con tolerancias estrechas, como por ejemplo (0.025 mm), o incluso menos en la mayor parte de las máquinas herramienta. Le ha tomado al mecánico muchos años de experiencia para adquirir esa destreza, pero esta persona no puede ser capaz de trabajar con esta precisión todo el tiempo, Algún error humano significará que alguna pieza producida tendrá que enviarse a desperdicio.

Las máquinas herramienta modernas CNC son capaces consistentemente de producir piezas que tienen una precisión con tolerancias de hasta ,0001 a .0002 pulg. (0,0025 a 0.005 mm), las máquinas herramienta están mejor fabricadas y los sistemas de control electrónicos aseguran que se producirán las piezas con las tolerancias permitidas por los planos de ingeniería.

Confiabilidad.

El rendimiento de las máquinas herramientas CNC y de sus sistemas de control tenía que ser por lo menos tan confiable como los mecánicos herramentistas y matriceros para que la industria aceptara este concepto de maquinado. En vista que los consumidores en todo mundo estaban demandando productos mejores y más confiables, había una gran necesidad de equipo que pudiera maquinar a estrechas tolerancias y que se pudiera contar en su capacidad de repetir lo anterior una y otra vez. Las mejoras en los cojinetes, tornillos de bolas y mesas de las máquinas, todas ayudaron a que las máquinas fueran más robustas y más precisas, se desarrollaron nuevas herramientas de corte y sus soportes que correspondían a la precisión de la máquina herramienta y que hacían posible la producción de manera consistente de piezas precisas.

Capacidad de repetición.

La capacidad de repetición y la confiabilidad son muy difíciles de separar porque muchas de las mismas variables afectan a ambas. La capacidad de repetición de una máquina-herramienta involucra la comparación de cada una de las piezas producidas en dicha máquina.

La capacidad de repetición de una máquina CNC debe ser por lo menos la mitad de la tolerancia más pequeña de la pieza; las máquinas herramientas capaces de la máxima precisión y repetición son más costosas debido a la precisión incorporada en la máquina herramienta y al control del sistema.

Productividad.

Ha sido la meta de la industria producir productos mejores a precios competitivos o menores para alcanzar una porción más grande del mercado, para hacer frente a la competencia uniforme del extranjero, los fabricantes deben producir productos de una alta calidad y al mismo tiempo mejorar el rendimiento sobre el capital invertido y reduciendo los costos de manufactura y de mano de obra, estos factores son suficientes para justificar el uso de CNC y para automatizar las plantas; proporcionan la oportunidad de producir bienes de mejor calidad más rápido y a un costo menor.

La unidad de control de la máquina CNC moderna tiene varias características que no se encontraban en las unidades de control de circuitos físicos anteriores a 1970.

Ventajas del CNC.

CNC ha crecido con una velocidad cada vez más rápida y su uso seguirá creciendo dadas las muchas ventajas que ofrece a la industria, algunas de las ventajas de mayor importancia son las siguientes

- 1.- Mayor seguridad del operador-CNC los sistemas CNC se operan por lo general desde una consola ubicada lejos del área de maquinado, misma que en la mayor parte de las máquinas está cerrada.

2.- Mayor eficiencia del operador-una máquina CNC no requiere tanta atención como una máquina convencional permitiendo que el operador lleve a cabo otras tareas mientras la maquina está funcionando.

3.- Reducción de desperdicio en vista del alto grado de precisión de los sistemas CNC, el desperdicio ha sido drásticamente abatido.

4.- Tiempos de entrega son más cortos para la producción que por lo general la preparación y puesta a punto de programa para máquinas controladas numéricamente es breve, muchos de los dispositivos y plantillas antes necesarios ya no se requieren.

5.- Reducción del error humano-el programa CNC reduce o elimina la necesidad de que un operador efectúe cortes de prueba, tome medidas de prueba, efectúe movimientos de posicionamiento o cambie de herramental.

6.- Elevado grado de precisión-CNC, se asegura que todas las piezas producidas serán precisas y de una calidad uniforme.

7.- Operaciones complejas de maquinado se pueden efectuar operaciones complejas con rapidez y precisión utilizando CNC con equipo electrónico de medición.

8.- Menores costos de herramientas las máquinas CNC utilizan generalmente dispositivos simples de sujeción, lo que reduce el costo del herramental hasta en un 70% herramientas de torneado y de fresado estándar eliminan la necesidad de herramientas de perfiles especiales.

9.- Incremento de la productividad, en vista que el sistema CNC controla todas las funciones de la maquina, las piezas se producen con mayor rapidez y con menos tiempo de puesta a punto y de entrega.

10.- Menor inventario de piezas ya no es necesario un gran inventario de refacciones dado que se pueden fabricar piezas adicionales con la misma precisión al utilizar el mismo programa.

11.- Mayor seguridad de la máquina herramienta virtualmente se elimina el daño a las máquinas herramienta debido a errores del operador en consecuencia de la menor intervención de éste último.

12.- Necesidad de una menor inspección por que las máquinas CNC producen piezas de calidad uniforme, se requiere de menos tiempo de inspección.

13.- Mayor uso de la máquina. los ritmos de producción pueden incrementarse hasta en un 80%, porque se requiere de menos tiempo para la puesta a punto y para los ajustes del operador.

14.- Menores requerimientos de espacio un sistema CNC, requiere de menos plantillas y dispositivos y por lo tanto de menos espacio de almacenamiento.

1.2.3 Coordenadas y programación del control Numérico Computarizado

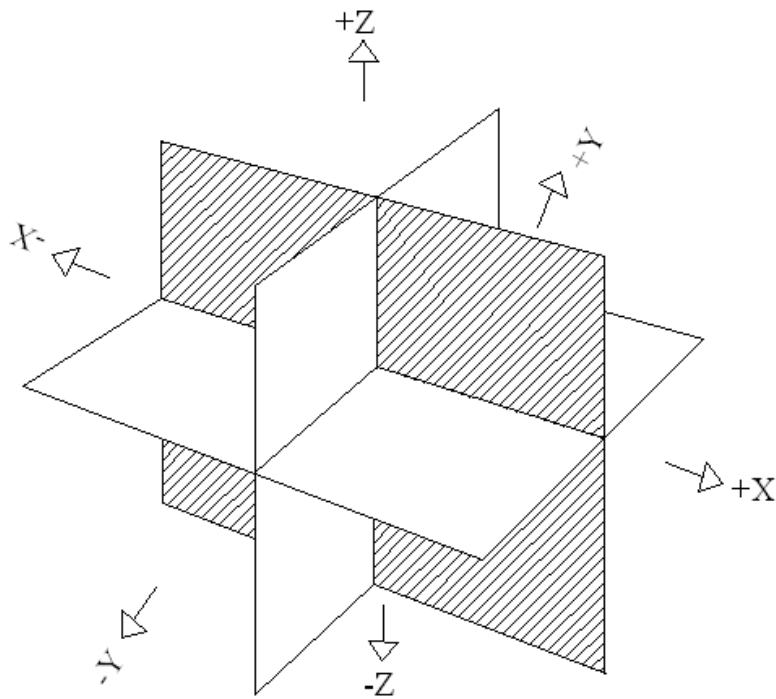
Coordenadas Cartesianas.

Prácticamente todo lo que se puede producir en una máquina herramienta convencional se puede fabricar en una máquina herramienta de control numérico, con sus ventajas. Los movimientos de la máquina herramienta que se utilizan para la producción de un producto son de dos tipos básicos: punto a punto (movimientos rectilíneos) y trayectoria continua, movimientos de torneado.

El sistema de coordenadas cartesianas permite que cualquier punto específico de un trabajo sea descrito en términos matemáticos en relación con cualquier otro punto a lo largo de tres ejes perpendiculares. Esto adecua perfectamente a las máquinas herramientas, ya que su construcción por lo general se basa en tres ejes de movimiento más un eje de rotación, en una máquina fresadora vertical, el eje X está en movimiento horizontal (a la derecha o a la izquierda) de la mesa, el eje Y en el movimiento transversal de la mesa (hacia o alejándose de la columna) y el eje Z es el movimiento vertical del husillo. Los sistemas CNC se apoyan en el uso de coordenadas rectangulares para que el programador pueda localizar con precisión cada punto en su trabajo.

Cuando están localizados los puntos de una pieza, se utilizan dos líneas rectas que se cruzan, una vertical y la otra horizontal. Estas líneas deben estar a 90° entre sí y el punto donde se cruzan se llama el origen, o el punto cero. (Fig: 2.1).

Figura 2.1



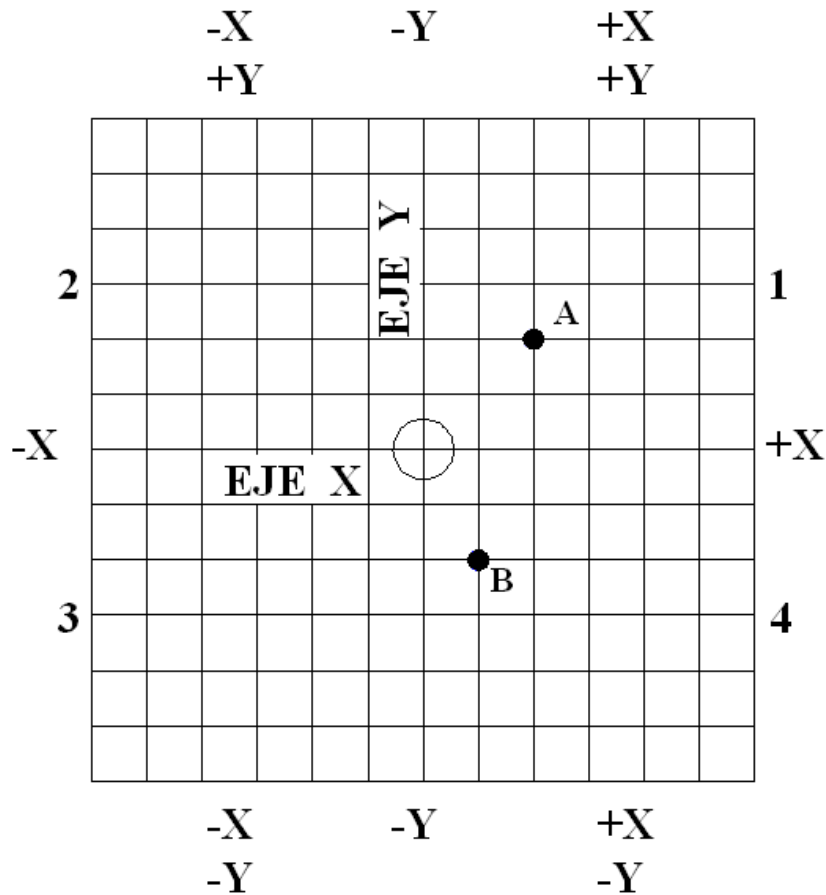
Fuente: Proceso de Manufactura (3)

Los ejes X e Y son horizontales y eje Z representa el movimiento vertical de la herramienta.

Los signos más (+) y menos (-) indican el sentido de movimiento desde el punto cero (origen) a lo largo del eje.

Los cuatro cuadrantes que se forman cuando se cruzan los ejes X y Y están numerados en dirección contraria a las manecillas del reloj (Figura 2.2).

Figura 2.2



Fuente: Proceso de Manufactura (3)

Todas las posiciones localizadas en el cuadrante 1 son de X positiva (+X) y Y positiva (+ Y).

En el segundo cuadrante todas las posiciones tienen X negativa (-X) y Y positiva (+ Y).

En el tercer cuadrante todas las posiciones tienen X negativa (-X) y Y negativa (- Y).

En el cuarto cuadrante todas las posiciones son X positiva (+X) y Y negativa (-Y)

El punto A está dos unidades a la derecha del eje Y y dos unidades por encima del eje X. Suponga que cada unidad es igual a 1 pulg. La localización del punto A es X + 2.000 y Y + 2.000 Para el punto B, la localización es X + 1.000 y Y - 2.000. En CNC, no es necesario indicar los valores más (+) ya que se suponen, sin embargo, es menester indicar los valores menos Por ejemplo las localizaciones tanto A como B se indican como sigue:

A X 2.000 Y 2,000
B X 1.000 Y -2.000

En vista de que CNC depende en forma importante del sistema de coordenadas rectangulares, es fundamental seguir ciertas reglas, De esta manera todos los involucrados en la manufactura de una pieza el ingeniero, el dibujante, programador y el operador de la máquina comprenderán de manera exacta lo que se requiere.

A continuación se enlistan los pasos para necesarios para fabricar una pieza por maquinado CNC

1.- Utilice de ser posibles puntos de referencia sobre la pieza misma. Esto facilita la verificación de la precisión posterior de la pieza por parte del operador.

2.- Utilice coordenadas cartesianas especificando planos X, Y y Z para definir todas las superficies de la pieza.

3.- Establezca planos de referencia a lo largo de superficies de la pieza que sean paralelas a los ejes de la máquina,

4.- Establezca las tolerancias permisibles en la etapa de diseño.

5.- Describa la pieza de manera que sea fácil de determinar y de programar la trayectoria de la herramienta de corte.

6.- Dimensione la pieza de manera que resulte fácil reconocer su forma sin cálculos ni estimaciones

Ejes de la máquina'

Toda máquina CNC tiene ejes controlables deslizantes y giratorios, a fin de controlar estos ejes, se utilizan letras (llamadas direcciones) para identificar cada dirección de movimiento de la mesa o del husillo. En combinación con un número para formar una palabra esto establece la distancia que se mueve, el eje estas palabras son necesarias para que el programador pase la información respecto a la tarea a las personas responsables de la puesta a punto y de la operación en la máquina CNC.

Los constructores de máquinas herramienta siguen estándares establecidos por la Electronics Industries Association (EIA), misma que asigna el sistema de codificación para los ejes de máquinas CNC, Los ejes principales son X, Y y Z, que se aplican a la mayor parte de las máquinas herramienta con algunas excepciones la norma EIA dice que el movimiento del eje horizontal más largo, es paralelo a la mesa de trabajo en el eje X. El movimiento a lo largo del husillo de la máquina es el eje Z y se le asigna al eje Y y al movimiento perpendicular (en ángulo recto) tanto a los ejes X y Z.

Además de los ejes principales existen 4 secundarios paralelos a los ejes X, 1-; Y Z Las direcciones (letras) A, B, YC se refieren a ejes de movimiento rotativo alrededor de los

Ejes principales I, J, Y K son letras también utilizadas para interpolación circular en la programación de círculos o arcos parciales, en tanto que en otras máquinas, una letra R representa radio de un círculo, Algunos centros de mandriles y de torneado también utilizan las letras U y W para movimientos incrementales paralelos a los ejes principales X y Z.

Maquinas que utilizan CNC.

CNC se utiliza en todo tipo de máquinas herramienta, desde la más simple a la más compleja, las máquinas herramientas más comunes, el centro de torneado y el centro de maquinado (máquina fresadora) son las más comunes.

Los centros de torneado fueron desarrollados a mediados de los años 60s, después de que estudios demostraron que aproximadamente el 40% de operaciones de corte de metales se llevaba a cabo en tornos. Estas máquinas de control numérico por computadora son capaces de una mayor precisión y de un ritmo más elevado de producción comparado con un torno convencional el centro básico de torneado opera sobre 2 ejes.

1.- El eje X controla el movimiento transversal de la torre porta herramientas y el eje Z controla el movimiento longitudinal (hacia o alejándose del cabezal) de la torre portaherramientas

2.- El torno convencional ha sido siempre una forma muy eficiente de producir piezas redondas. La mayor parte de los tornos operan sobre dos ejes

El eje X controla el movimiento transversal (hacia dentro o hacia afuera) de la herramienta de corte

El eje Z controla el recorrido del carro longitudinal hacia o alejándose del cabezal.

3.- Los centros de maquinado desarrollados en los años 60 permiten que se lleven a cabo más operaciones sobre una pieza en una sola puesta a punto en vez de pasar la pieza de una a otra máquina para varias operaciones, estas máquinas incrementan de manera importante la productividad porque el tiempo que antes se utilizaba para mover la pieza de una máquina a otra ha sido eliminado los dos tipos principales de centros de maquinado son los modelos de husillo horizontal y de husillo vertical, el centro de maquinado vertical opera sobre 3 ejes.

El eje X controla el movimiento hacia la izquierda o hacia la derecha de la mesa.

El eje Y controla el movimiento de la mesa hacia o alejándose de la columna.

El eje Z controla el movimiento vertical (hacia arriba o hacia abajo) del husillo

4.- La máquina fresadora puede llevar a cabo operaciones como por ejemplo fresado contorneado corte de engranes perforado, mandrilado y rimado.

La máquina fresadora opera en tres ejes:

El eje X controla el movimiento hacia la izquierda o hacia la derecha de la mesa.

El eje Y controla el movimiento de la columna.

El eje Z controla el movimiento vertical hacia Arriba hacia abajo del husillo.

Sistemas de Programación.

Para CNC se utilizan 2 tipos de modos de programación el sistema incremental y el sistema absoluto. ambos sistemas encuentran aplicación en la programación CNC, y ningún sistema es el más adecuado en toda ocasión. La mayor parte de los controles de las máquinas herramienta son capaces de manejar la programación, tanto incremental como absoluta mediante la modificación del código entre los comandos G90 (absoluto) y G91 (incremental)

Sistema Incremental

En el sistema incremental, las dimensiones o posiciones están dadas a partir del punto actual. Como se puede observar, las dimensiones de cada barreno están dadas a partir del barreno anterior. Una desventaja de la programación es el posicionamiento incremental es que si se ha cometido un error en cualquiera de las posiciones este error es automáticamente arrastrado a las localizaciones siguientes. El comando G91 le indica a la computadora y al MCU que el programa debe considerarse en modo incremental

Los códigos de comando que le indican a la máquina cómo mover la mesa y el husillo se explican aquí utilizando una máquina fresadora vertical como ejemplo

- Un comando "más X" (+ X) hace que se localice la herramienta de corte a la derecha del último punto

- Un comando "menos X" (-X) hace que se localice la herramienta de corte a la izquierda del último punto la

- Un comando "más Y" (+ Y) hace que se localice la herramienta de corte hacia la columna

- Un comando "menos Y" (- Y) hace que se localice la herramienta de corte alejándose de la columna

- Un comando "más Z " (+Z) hace que la herramienta de corte o el husillo se mueva hacia o se aleje de la pieza de trabajo

- Un comando "menos Z" (- Z) hace que la herramienta de corte se mueva hacia abajo o hacia dentro de la pieza de trabajo.

Sistema Absoluto.

En el sistema absoluto, todas las dimensiones o posiciones Están dados a partir de un punto de referencias sobre el trabajo o sobre la máquina.

En la programación absoluta, el comando G90 indica a la computadora y al MCU que el programa estará en el modo absoluto

Un comando mas X (+ X) hace que la herramienta de corte se localice a la derecha del cero o punto de origen

- Un comando "menos X " (-X) hace que la herramienta de corte se localice a la izquierda del cero o punto de origen

Un comando más "Y" (+ Y) hace que la herramienta de corte se localice hacia la columna por encima del cero o punto de origen.

Un comando menos "Y" (- Y) hace que la herramienta de corte se localice lejos de la columna por debajo del- cero o punto de origen.

Un comando más "Z" (+ Z) hace que la herramienta de corte quede por encima del programa ZO por lo general la superficie superior de la pieza.

Un comando menos "Z" (-Z) hace que la herramienta de corte se mueva por debajo del cero o punto de origen.

Interpolación Circular.

La interpolación circular facilita el proceso de programar arcos y círculos, en algunos sistemas CNC solamente se pueden programar a la vez un cuarto de círculo o un cuadrante, el bloque para el arco (90°). Sin embargo las unidades de control de máquinas recientes tienen capacidad de un círculo completo dentro del mismo comando, lo que ayuda a reducir la longitud del programa. También mejora la calidad de la pieza porque existe una transición suave en todo el círculo completo, sin interrupciones o descansos entre cuadrantes.

La información básica para programar un círculo debe incluir la posición del centro del círculo, el inicio y el final del arco que se va a cortar la dirección de corte y la velocidad de avance para la herramienta. .

Un método utiliza el comando I y J para identificar las coordenadas del centro del arco un método más simple utiliza el comando R (radio del), mismo que el MCU utiliza para calcular el centro del arco

Planeación del programa.

La planeación del programa es una parte muy importante del maquinado CNC. Debe recolectarse, analizarse y calcularse información de importancia antes de escribir el programa. El programador debe además considerar las capacidades de la máquina consultando el manual de programación y de operación que lista capacidad, requerimientos de herramienta, formato .de programación, etc. procedimientos de maquinado

Para convertirse en un buen programador CNC, el técnico debe tener buenos antecedentes fundamentales en procedimientos y procesos de maquinado convencional. El programador de CNC debe tomar en consideración todas las variables requeridas para la manufactura convencional de las piezas.

Se deben considerar las siguientes interrogantes como referencia para programar la máquina CNC

¿Cuáles son las velocidades y avances de cortes apropiados para el tipo de material que se está maquinando?

¿Interferirán las abrazaderas con el movimiento de los ejes?

¿Están disponibles las herramientas y sujetadores requeridos?

¿La máquina herramienta CNC necesitará de un refrigerante especial, o es adecuado el tipo y concentración actual?

¿Cuál es la dirección de avance de la mesa?

¿Con qué rapidez se puede mover la herramienta a su posición traslación rápida o a la velocidad de avance?

Es bueno recordar que el procedimiento para maquinar una pieza, se haga mediante maquinado convencional que es básicamente el mismo. En el maquinado convencional un operador diestro mueve manualmente las correderas de la maquina se mueven de manera automática a partir de la información suministrada por el programa CNC.

Lista de Herramientas.

El programador deberá preparar una lista de todas las herramientas necesarias para el proceso de maquinado, para cada herramienta deberán calcularse las velocidades y avances correctos con base en el tipo de material de la herramienta que se va a cortar, de la profundidad de corte, etcétera. Algunos sistemas de máquina CNC requieren preestablecer la longitud de la herramienta para fines de compensación. De ser lo anterior necesario, puede necesitarse calibrador especial, y todas las longitudes deberán ser registradas Para su introducción en los registros de compensación apropiados durante la puesta a punto de la máquina Cuando se utilice un cambiador automático de herramientas (ATC), éstas deben ser asignadas a una bolsa para tanto la secuencia como el balance del ATC.

Antes de escribir un programa para una pieza que se va a cortar en una máquina herramienta CNC, el plano del trabajo debe estudiarse cuidadosamente. A fin de determinar la secuencia de las operaciones, el programador debe decidir qué superficies de la pieza deben maquinarse, las operaciones especiales que se requieren y las tolerancias dimensionales de la pieza. También es responsabilidad del programador ver que la máquina herramienta recibe información adecuada para cortar la pieza en la forma y tamaño apropiados; usando lenguaje alfanumérico (letras y números), el programador debe registrar en forma preparada (programa) todas las instrucciones que debe recibir la máquina herramienta para completar el trabajo. El programa debe contener todos los movimientos, herramientas de corte, velocidades, avances y cualquier otra información necesaria para maquinar la pieza, esta información deberá incluirse en un formato uniforme tan claro como sea posible para darle al operador de la máquina CNC una clara comprensión de lo que se requiere.

1. Esbozo de la pieza

Debe prepararse un esbozo preliminar de la pieza. Aunque con mayor frecuencia se utiliza el posicionamiento absoluto, el programador deberá proporcionar la localización de cada eje desde el cero o punto de referencia, ya sea en dimensiones incrementales o absolutas, dependiendo del sistema de posicionamiento a usar en el trabajo.

2. Punto cero (o de referencia)

Debe fijarse un punto cero (o de referencia) sobre la pieza o sobre la máquina herramienta.

Las máquinas que no están equipadas con cambiador automático de herramientas requieren de una posición de cambio de herramienta con suficiente espacio para cambiar herramientas de corte

3. Dispositivos de Sujeción a utilizar

Debe seleccionarse el dispositivo aditamento más adecuado para sujetar la pieza firmemente y que no intervenga con las operaciones de maquinado. de sus componentes.

Debe incluirse en el programa la velocidad en revoluciones por minuto (r/min) de cada herramienta de corte

CAPITULO 2

FABRICACION DE CABEZA DE COMPRESION POR PROCESO DE MAQUINADO

El primero bajo el cual produciremos la cabeza de compresión será el maquinado, usando parámetros comunes en la actualidad, como lo es un torno CNC, con una base metal de fundición

2.1 Determinación de materia prima en el maquinado por control numérico computarizado

El primer paso para establecer los procesos de maquinado, es conocer las especificaciones de dureza y la dificultad de maquinar la pieza

Al entender las necesidades de la pieza, con lleva determinar el material a desbastar, que en este caso será la barra entera de fundición

No se utiliza barra hueca debido a que el diámetro interior de la pieza, no permite tener un estándar, y debido a las tolerancias tan cerradas que se solicitan, para esta pieza, las cuales se manejan en diez milésimas de pulgadas (0.0001 pulg), por lo cual se partirá de un macizo para empezar a devastar sin importar que el desperdicio y el desbaste de material sea mayor.

Tomando en cuenta que las propiedades solicitadas para el producto son 192.27 psi, que a su vez es equivalente a 1.32 N/mm^2 , podemos determinar un acero con las siguientes características:

Densidad de: 6.0

Y Dureza de 50 RB (10)

Se decide usar una barra completa de acero SAE 1045, el cual entre otras muchas se caracteriza por ser un acero maquinadle en alto grado para torneado exterior longitudinal (14) el aspecto de la densidad es un punto simple de alcanzar, ya que la densidad del acero sin importar el tipo es de 7.85 gr/cm^3 .

Las dimensiones necesarias en el tocho de material para el maquinado de la cabeza de compresión como sabemos debe ser mayor que las dimensiones finales, por lo tanto sabiendo que la cabeza de compresión cuenta con un Ø exterior de $1.899'' \pm 0.0098$, el tocho de material debe tener por lo menos un Ø de $2.00''$ para tener $0.100''$ para desbastar, una medida mayor de diámetro significaría mayor tiempo de desbaste de material y mayor desgaste de herramientas de corte (insertos)

2.2 Herramientas a utilizar y programa de maquinado en torno de control numérico

Teniendo en cuenta las propiedades del material se usaran insertos de carburo, y brocas de acero rápido dado la tenacidad de este material, teniendo en cuenta que la cabeza de compresión no utiliza propiedades mecánicas muy elevadas, como dureza o tenacidad, el material no necesita ser maquinado por un elemento muy duro, y al mismo tiempo es necesario que las herramientas a utilizar no se desgasten muy pronto, para evitar constantes herramentajes, con lo cual se elevaría el tiempo de producción

A continuación se muestra el programa del maquinado de la cabeza de compresión en un centro de maquinado por control numérico.

Nº	COMANDOS	S,F,R	OBSERVACIONES
000	T0101		
001	G50 S1300		
002	G96 S550 M03		
003	G00 Z005 M08		
004	X2.05	PORTA TRIGON	
005	G94 X1.4 Z0.03 F0.01	R=2	
006	Z0.01	DESBASTE	
007	Z0.0		
008	X1.85		
009	G01 X1.95 Z-0.05 F0.012		
010	Z-0.3		
011	G00 X2.0 Z5.0 M0.9		
012	G28 U0.0 T0100 M05		
013	M00		
014	T0808		
015	G50 S600		
016	G97 S600 M03	BROCA DE INSERTOS	
017	G00 Z0.5 M08	ø 1- 1/2"	
018	X0.0		
019	Z0.1		
020	G01 Z-0.62 F0.003		
021	G00 Z0.5 M09		
022	G28 U0.0 T0800 M05		
023	T0101		
024	G50 S1300		
025	G96 S550 M03		
026	G00 Z0.05 M08		
027	X2.05		
028	G94 X1.4 Z0.03 F0.01		

Nº	COMANDOS	S,F,R	OBSERVACIONES
029	Z0.01		
030	Z0.0		
031	G00 X2.0	PORTA TRIGON	INSERTO
032	Z0.0		
033	G71 U500 R500	R= 2	
034	G71 PI Q4 U200 W0 F0.012	DESBASTE	
035	N1 G00 X1.7518		
036	N2 G01 X1.8681 Z-0.0581		
037	N3 X1.898		
038	N4 Z-0.3		
039	G00 Z0.5 M09		
040	G28 U0.0 T0100 M05		
041	T0404		
042	G50 S1300		
043	G06 S500 M03		
044	G00 Z0.5 M08	BARRA TRIGON	
045	X1.5	DESBASTE	
046	Z0.0		
047	G71 U500 R600		
048	G71 P5 Q12 U-200 W0 F0.012		
049	N5 G00 X1.762		
050	N6 G02 X1.7 Z-0.631 R0.031		
051	N7 Z-0.0902		
052	----N8 X0.0902		
053	----N9 X0.1606		
054	N10 X1.6598		
055	N11 X1.6299 Z-1.4034		
056	N12 Z-0.3		
057	G00 Z0.5 M09		
058	G280.00 T0400 M05		
059	T0202		

Nº	COMANDOS	S,F,R	OBSERVACIONES
060	G50 S1300		

061	G96 S600 M03		
062	G00 Z0.0 M08	PORTA TRIGON	
063	X1.85		
064	G01 X1.65 F0.01	ACABADO	
065	G00 X2.0 W500		
066	Z0.0		
067	G70 P1 Q4 F0.008		
068	G0.0 Z5.0 M09		
069	G28 0.00 T0200 M05		
070	T0505		
071	G50 S1300		
072	G96 S600 M03		
073	G00 Z0.5 M08		
074	X1.5		
075	Z0.0		
076	G70 P5 Q12 F0.008		
077	G00 Z0.5 M09		
078	G28 U0.0 T0500 M05		
079	T0707		
080	G50 S900		
081	G96 S300 M03		
082	G00 Z0.5 M08		
083	X1.1766		
084	Z-0.09		
085	G01 Z-0.2076		
086	G00 Z0.5 M09		
087	G28 V0.0 T0700 M05		
088	T0100		
089	M30		

El maquinado de esta pieza necesita una 2ª fase, es decir un segundo manejo de la pieza para poder terminar todas las operaciones, en otras palabras se debe sacar la pieza de la maquina y cambiar el método de sujeción para continuar con el resto de las operaciones. El desarrollo de la continuación del programa son las siguientes

Nº	COMANDOS	S,F,R	OBSERVACIONES
090	T0101		
091	G50 S1300		
092	G96 S560 M03		
093	G00 Z0.05 M08	PORTA TRIGON	
094	X2.0		
095	G94 X1.4 Z0.03 F0.01	DESBASTE	

096	Z0.01		
097	Z0.0		
098	G00 X1.95		
099	Z0.0		
100	G71 U500 R500		
101	G71 P1 Q5 U200 W0 F0.0612		
102	N1 G00 X1.322		
103	N2 G01 X1.378 Z-0.028		
104	N3 Z-01799		
105	N4 X1.698		
106	N5 G03 X1.898 Z0.2799 R0.1		
107	G00 Z5.0 M09		
108	G28 U0.0 T0100 M05		
109	T0404		
110	G50 S1300	BARRA TRIGON	
111	G96 S500 M03	DEBASTE	
112	G00 Z0.5 M08		
113	X1.5		
114	Z0.0		
115	G71 U500 R500		
116	G71 P6 Q4 U-200 W0 F0.012		
117	N6 G00 X0.7359		
118	N7 G01 X0.6799 Z-0.028		
119	N8 Z-0.265		
120	N9 X0.6		

Nº	COMANDOS	S,F,R	OBSERVACIONES
121	G00 Z0.5 M09		
122	G28 U0.0 T0400 M05		
123	T0202		
124	G50 S1300		
125	G96 S600 M03	PORTA TRIGON	
126	G00 Z0.0 M08		
127	X1.4	ACABADO	
128	G01 X0.6 F0.01		
129	G00 X1.9 W500		
130	Z0.0		
131	G70 P1 Q5 F0.008		
132	G00 Z5.0 M09		
133	G28 U0.0 T0200 M05		

134	T0505		
135	G50 S1300		
136	G96 S600 M03	BARRA TRIGON	
137	G00 Z0.5 M08		
138	X1.5	ACABADO	
139	Z0.0		
140	G70 P6 Q9 F0.008		
141	G00 Z0.5 M09		
142	G28 U0.0 T0500 M05		
143	T0100		
144	M30		

Fuente: Programa realizado por José Manuel Pencastre Callejas (Manufacturas Industriales) para Torno marca leadwell VP20 control FANUC-TC

Estas son las operaciones necesarias para la fabricación de la pieza por maquinado, en total son 144 líneas de programación desde el macizo de material a extraer la cabeza de compresión finalizada, con todos los detalles necesarios como ángulos chaflanes y barrenos.

Al extraer la pieza de la maquina se debe dar un rebabeado, el cual muchas veces no excede el simple hecho de pasar una cuchilla o charrasca por la pieza, para quitar cualquier sobrante de material que pueda crear problemas en el funcionamiento de la pieza, esta operación comúnmente la realiza el propio operador, entre el proceso de una pieza u otra.

El acabado superficial que necesita esta pieza es simple ya que solo se solicita una solución que impida la corrosión de la pieza, el método más común es dar un baño en liquido inhibidor, el baño es para el manejo del material al almacén del cliente para como se menciono anteriormente evitar oxidación las piezas no deben estar a resguardo más de 2 o 3 días por lo tanto el liquido inhibidor es suficiente para dicho tiempo de espera.

Como podemos observar los procesos son simples y escasos para la fabricación de la cabeza de compresión por maquinado.

CAPITULO 3

FABRICACION DE CABEZA DE COMPRESION POR PROCESO DE PULVIMETALURGIA

En este capítulo fabricaremos la cabeza de compresión en base al proceso de pulvimetalurgia, en base a los parámetros estándares comunes de esta industria.

3.1 Requerimientos mínimos necesarios para la fabricación de la pieza

El primer paso para decidir si un producto se puede producir en alguna fabricar es conocer el tonelaje requerido para poder prensarlo.

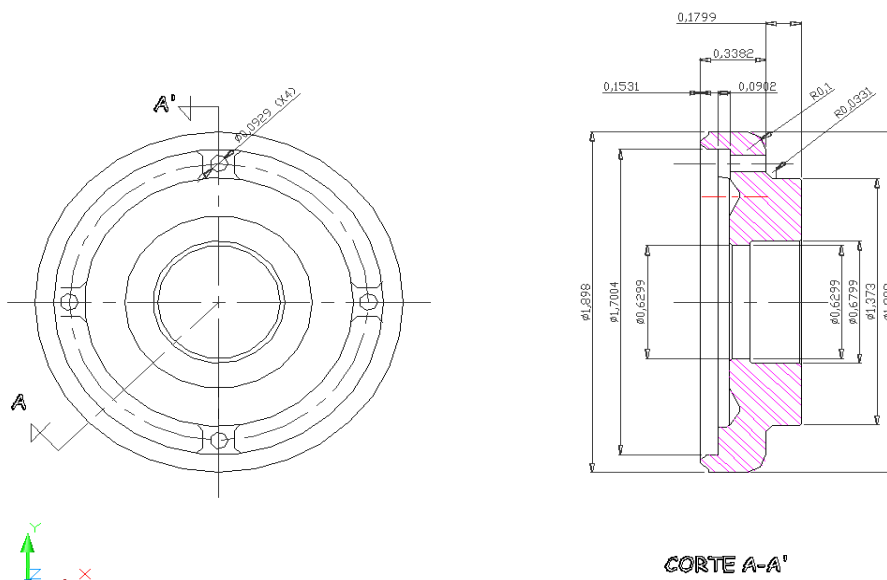
Para determinar el tonelaje necesario se debe de conocer el área de prensado de la pieza.

Este cálculo se hace en el caso de la pieza que se analiza en este proyecto es decir una cabeza de compresión para amortiguador por medio de la siguiente fórmula:

$$A = (\text{Ø} / 2)^2 (\pi)$$

La pieza cuyo análisis se está ejecutando ahora es una pieza compuesta geoméricamente por diámetros por lo tanto la formula anterior es idónea para obtener el área de prensado.

Figura 3.1 Dibujo de cabeza de compresión a fabricar con una presión máxima de trabajo de 192 psi



Fuente: Diseño Gabriel de México S.A

Debido a que la presión máxima de carga a soportar es de solo 192 psi, el material no necesita una densidad muy elevada, por lo que basados en la siguiente tabla (figura 3.2) usaremos una densidad de 5.8 gr/cm³

Figura 3.2

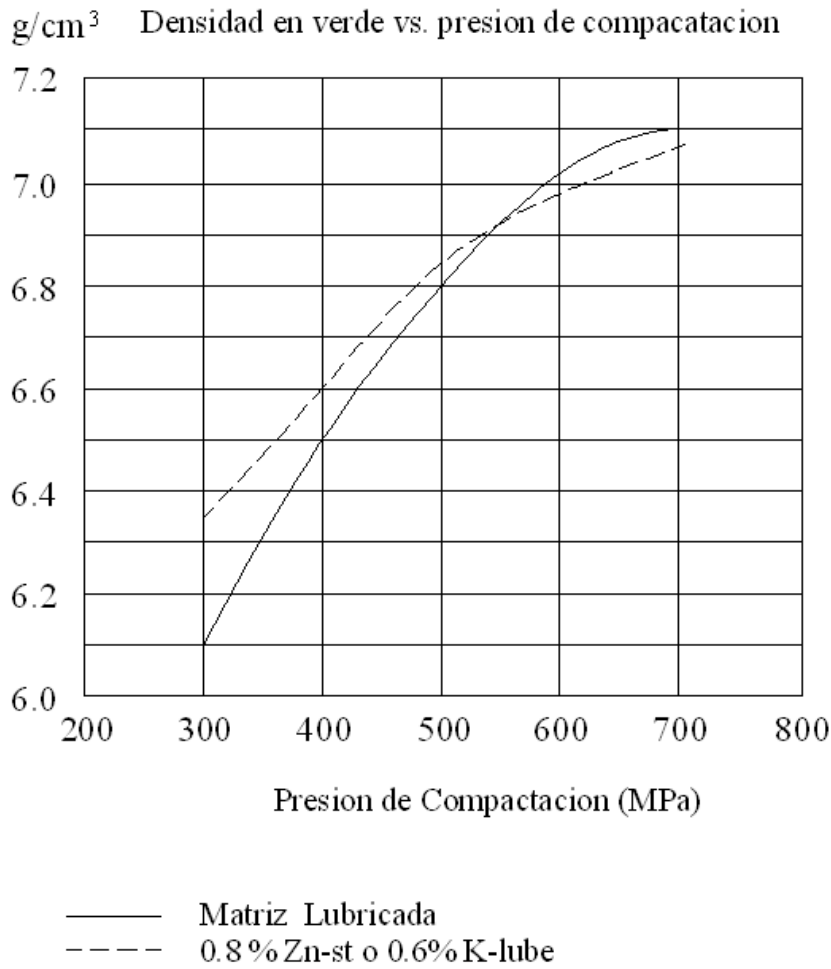
HIERRO - ACERO DE COBRE Y COBRE

CODIGO DE DESIGNACION DE MATERIAL	VALORES MINIMOS (A)			TENSION PROPERTIES										CONSTANTES ELASTICAS										TYPICAL VALUES (B)									
	Esfuerzo Minimo Strength (E)			Esfuerzo Final	Esfuerzo de cedencia (0.2%)	Alargamiento (in 1 in.)	MODULO DE YOUNG	Relacion Poisson's	Fuerza de Impacto Soportable	Esfuerzo Transversal a la ruptura	Esfuerzo a la Compresion (0.1%)	DUREZA		LIMITE DE FATIGA 90% Survival	DENSIDAD																		
	Yield	10 psi	Ultimate									10 ³ psi	10 ³ psi			%	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi	10 ³ psi								
												Macro (apparent)	Micro (converted)																				
FC-0200-15	15			25	20	1.0	14	0.27	4.5	25	35	11 HRB		10	5.0																		
	-18	18		28	23	1.5	16.5	0.25	5.0	51	21	18		11	6.3																		
	-21	21		31	26	1.5	16.5	0.25	5.5	56	23	26	N/A	12	6.6																		
	-24	24		34	29	2.0	19.5	0.27	6.0	63	26	36		13	6.9																		
FC0205-30	30			35	35	<1.0	14	0.27	<2.0	60	30	37 HRB		13	6.0																		
	-35	34		40	40	<1.0	16.5	0.25	3.0	75	33	48	N/A	15	6.3																		
	-40	40		50	46	<1.0	17.5	0.25	5.0	95	57	60		21	6.7																		
	-45	45		60	50	<1.0	21.5	0.27	8.0	115	60	72		31	7.1																		
FC0205-60HT			60	70			<0.5	16	0.25	2.5	95	57	19HRC	58 HRC	27	6.2																	
	-70HT		70	80	(D)		<0.5	15.5	0.25	3.5	110	71	25	58	30	6.5																	
	-80HT		80	90			<0.5	18.5	0.27	4.5	120	86	31	58	34	6.8																	
	-90HT		90	100			<0.5	20.5	0.27	5.5	136	95	36	58	38	7.0																	
FC0208-30	30			35	35	<1.0	12.5	0.25	<2.0	60	30	57	50 HRB		13	5.8																	
	-40	40		30	46	<1.0	16.5	0.25	2.0	90	60	61	N/A	17	6.3																		
	-50	50		60	55	<1.0	17.5	0.25	2.0	125	66	73		23	6.7																		
	-60	60		75	66	<1.0	22.5	0.28	5.0	195	71	84		33	7.2																		
FC020850HT			50	65			<0.5	15	0.25	7.0	95	58	20 HRC	60 HRC	25	6.1																	
	-65HT		65	75	(D)		<0.5	17.5	0.27	2.5	130	72	27	60	30	6.4																	
	-80HT		80	90			<0.5	18.5	0.27	3.5	130	91	38	60	36	6.8																	
	-95HT		95	105			<0.5	21.5	0.27	4.5	150	105	40	60	40	7.1																	
FC0505-30	30			44	36		12.5	0.25	3.0	77	30	51 HRB		17	5.8																		
	-40	40		58	47	<0.5	16.5	0.25	4.5	102	54	62	N/A	22	6.3																		
	-50	50		71	56	<1.0	17.5	0.25	5.0	124	58	72		27	6.7																		
		60		86	50	<0.5	13	0.25	3.0	100	58	60 HRB		22	5.9																		
FC0508-40	-50	50		69	60	<0.5	16.5	0.25	3.5	110	63	69	N/A	26	6.3																		
	-60	60		82	70	<1.0	18.5	0.27	4.5	146	68	80		31	6.8																		
		45		55	50	<0.5	14	0.27	3.0	85	60	65 HRB	N/A	21	6																		
	FC1000-20	20		30	26	<1.0	14	0.27	3.5	53	38	15HRB	N/A	11	6																		

Fuente: MPIF STANDARD 35 PM MATERIAL PROPERTIES (1)

Al cruzar la densidad que deseamos obtener de la pieza y bajando una línea recta en la tabla representada en la figura 3.3 se nos indica el valor de la constante por la cual se debe de multiplicar el área de prensado.

Figura 3.3



Fuente: Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados (9)

En este caso los cálculos necesarios para conocer el área de prensado de la cabeza de compresión son los siguientes:

\varnothing mayor = 1.8980; área = 2.8293 plg^2
 \varnothing menor = 0.6299; área = 0.3116 plg^2

\emptyset barrenos = 0.0929; área = 0.0067 plg² (x4)

Área de prensado = 2.4906 plg²

La densidad deseada de la cabeza de compresión es de 5.8 gr/cm³, por lo tanto se hace un cálculo con una densidad mayor en este caso de hasta 6.2 gr/cm³, usando esta densidad se obtiene una constante de 320 Mega pascales.

$320/13.5 = 23.7$

Por lo tanto el tonelaje requerido para poder prensar esta pieza es:
 $2.4906 \text{ plg}^2 \times 23.7 = 59$ toneladas.

Por lo cual es ideal una prensa de 100 toneladas para no usar la prensa a toda su capacidad, lo ideal es que con respecto al tonelaje necesario de la pieza se le deje a la prensa aproximadamente un 20 % de tonelaje de sobra para no exceder el nivel máximo promedio de la prensa.

El tonelaje que alcanzan las prensas en la empresa donde se realizó la pieza son de: 200 toneladas, 100 toneladas, de 45 toneladas, la prensa ideal para esta pieza es la prensa de capacidad de hasta 100 toneladas.

Al estudiar el plano del cliente podemos ver que las tolerancias de esta pieza son demasiado cerradas en algunas dimensiones por lo tanto es preferible utilizar 2 moldes, uno con dimensiones de prensado y un segundo molde con dimensiones de calibrado, para asegurar que la pieza se entregue con todas las dimensiones dentro de lo que solicita el plano del cliente.

3.2 Determinación de materia prima necesaria para cumplir las especificaciones del cliente.

Como se reviso en capítulos anteriores existen distintos tipos de polvos dependiendo de las necesidades del cliente los polvos de hierro más usados en este medio son conocidos como: MH80.23, NC100.24 y SC100.26, tomando en cuenta la densidad solicitada por el cliente que es un mínimo de 5.8 grs. /cm³, considerada como densidad media, el polvo ideal para esta pieza es el NC100.24 (ver figura 3.4).

Figura 3.4

Valores Típicos NC100.24

Densidad Aparente, g/cm ³	Fluencia, sec/50g
2.45	30

Análisis de tamizado %

+212 μm	0
+150 μm	1
-45 μm	18

Compresibilidad, g/cm³

Presión de compactación	Matriz lubricada	0.6 % Kenolube P11 o 0.8% Zn-st
300 MPa	6.09	6.25
500 MPa	6.79	6.83
700 MPa	7.12	7.07

Resistencia en verde, N/mm²

Presión de compactación	Matriz lubricada	0.6 % Kenolube P11	0.8% Zn-st
300 MPa		14	10
500 MPa	45	24	18
700 MPa		30	23

Fuente: Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados (9)

Utilizando el Standard 35 (ver Figura 3.1) podemos ver que la composición adecuada para una presión de 192 psi es una mezcla con densidad baja de solo 5.8 gr/cm³ es la aleación denominada FC-0208-30

La composición FC-0208-30 tiene los siguientes porcentajes químicos según el standard 35 (ver figura 3.5)

Fe = 95.80%

C = 1.20 %

Cu = 2.00 %

Lubricante (acrawax) = 1.00%

Figura 3.5

PORCENTAJES DE COMPOSICION QUIMICA				
Codigo de Material	Fe	Cu	C	Elemento
FC-0200	93.8	1.5	0.0	Minimo
	98.5	3.9	0.3	Maximo
FC-0205	93.5	1.5	0.3	Minimo
	98.2	3.9	0.6	Maximo
FC-0208	93.2	1.5	0.6	Minimo
	97.9	3.9	0.9	Maximo
FC-0505	91.7	4.0	0.3	Minimo
	95.7	6.0	0.6	Maximo
FC-0500	94.1	4.0	0.6	Minimo
	95.4	6.0	0.9	Maximo
FC-0808	88.1	7.0	0.6	Minimo
	92.4	9.0	0.9	Maximo
FC-1000	87.2	9.5	0.0	Minimo
	90.5	10.5	0.3	Maximo

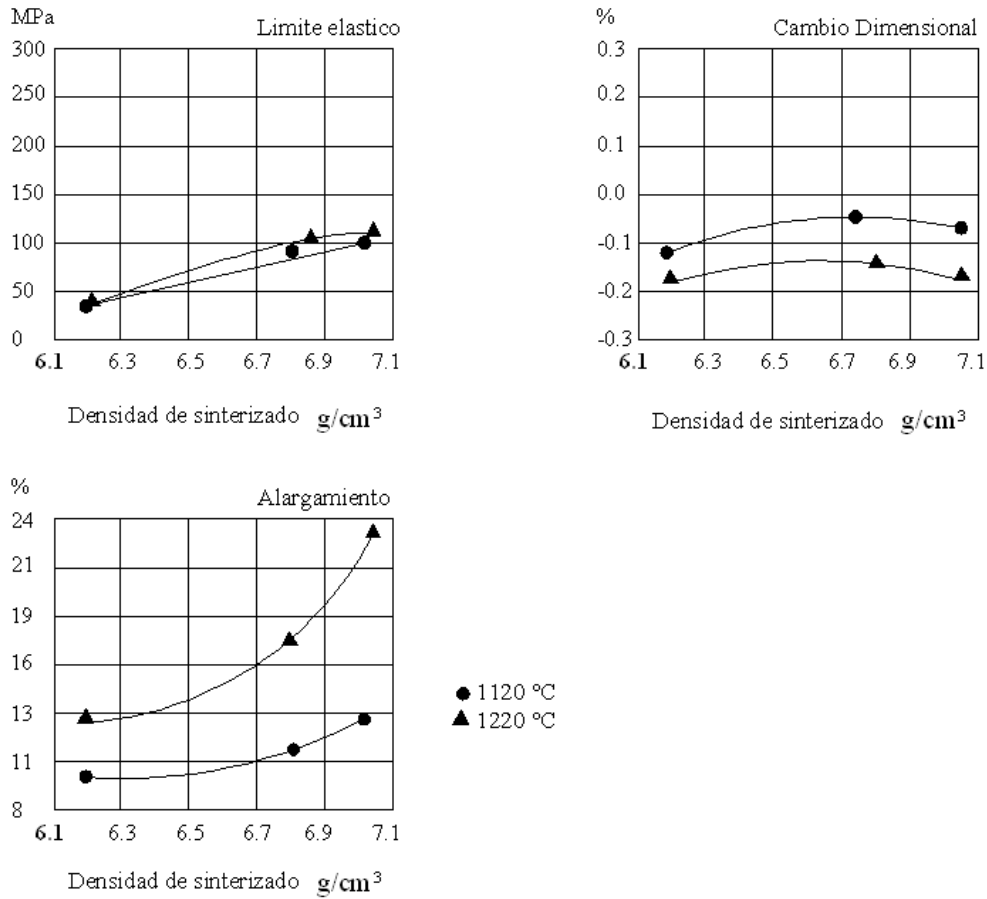
El porcentaje maximo permitido de otro elemento es de : 2.0%

Fuente: MPIF STANDARD 35 PM MATERIAL PROPIERTIES (1)

3.3 Diseño del Molde

Como podemos ver en la figura 3.6 el porcentaje de crecimiento a la densidad de 6.4 gr. /cm³ es de 0.2 %, con lo cual el molde de prensado debe de ser con medidas de 0.2% menores de las medidas finales:

Figura 3.6

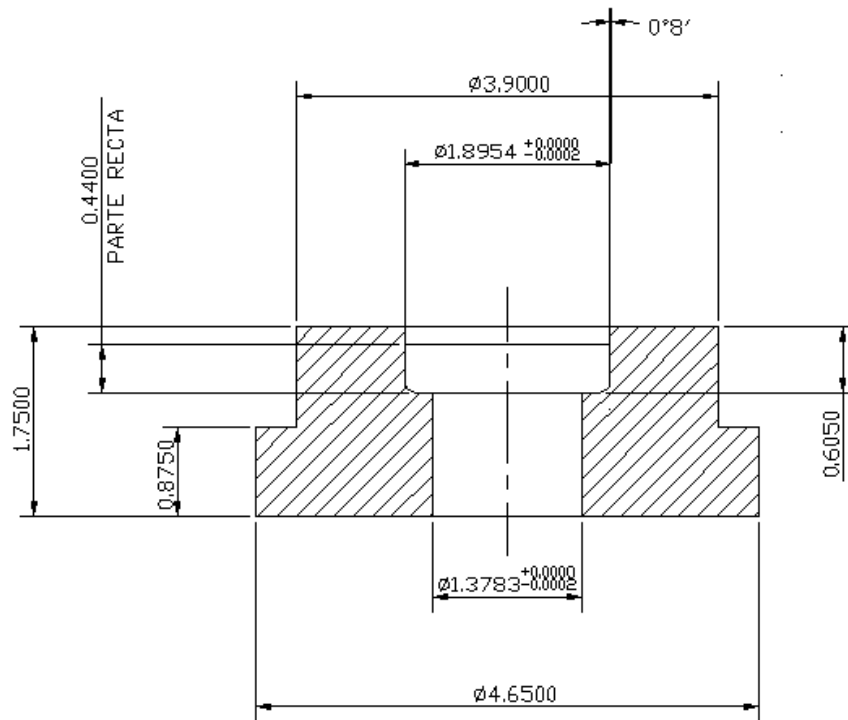


Fuente: Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados (9)

Una vez que se tomo en cuenta el cambio dimensional que sufrirá la pieza después de que se sinterizo, se procede a diseñar y fabricar el molde de Prensado, el cual constaría de los siguientes componentes:

- 1 Matriz
- 1 Punzón Superior
- 1 Punzón inferior
- 1 Núcleo

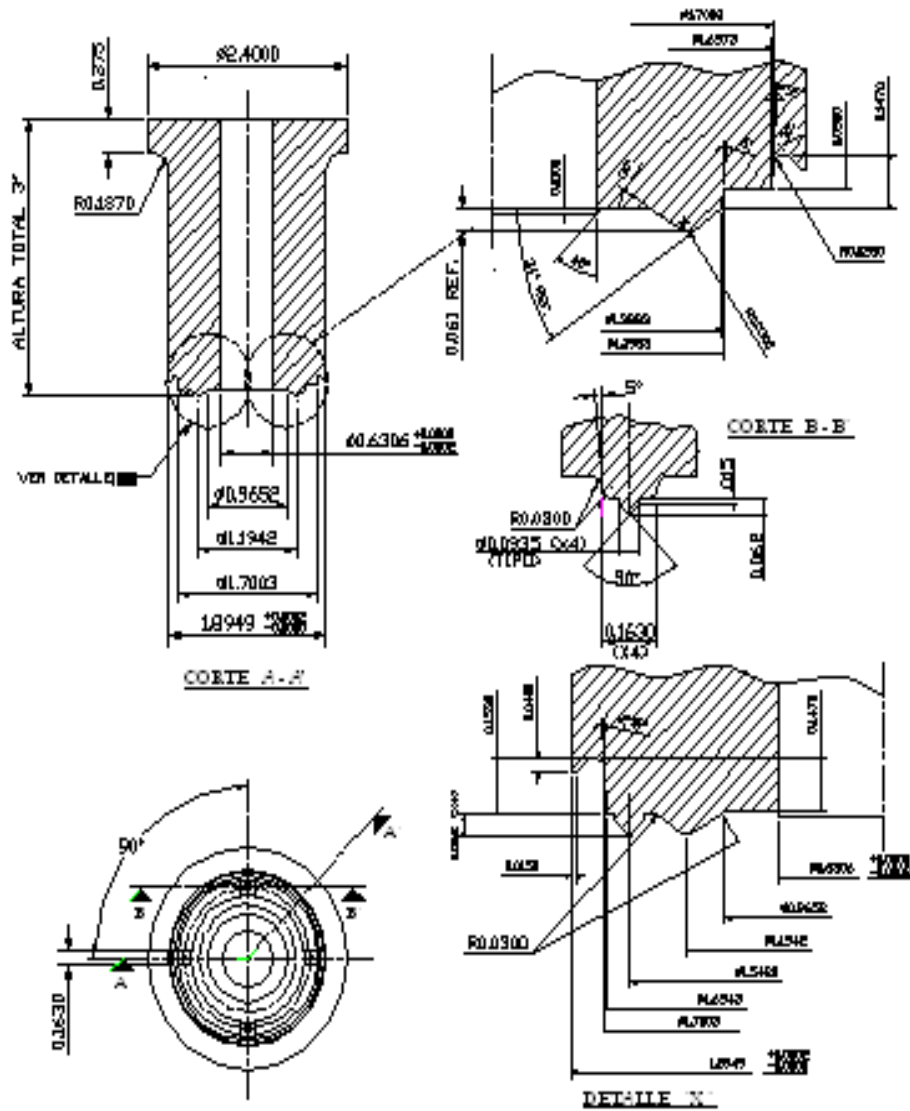
Los cuales quedarían fabricados de la siguiente forma:



Matriz de moldeo.

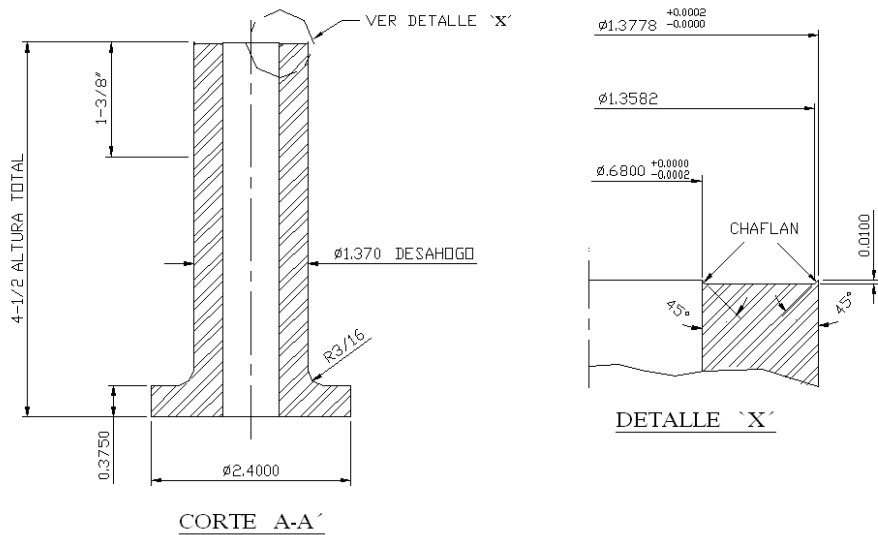
Fuente: Diseños de Herramental de Moldeo elaborados por GEOVANNI NERIA

Por motivo de desgaste la matriz se fabrica a la medida de la tolerancia mínima para que nos dure más y por consiguiente sea capaz de producir mayor número de piezas sin necesidad de reponerla.



Punzón Superior de Moldeo

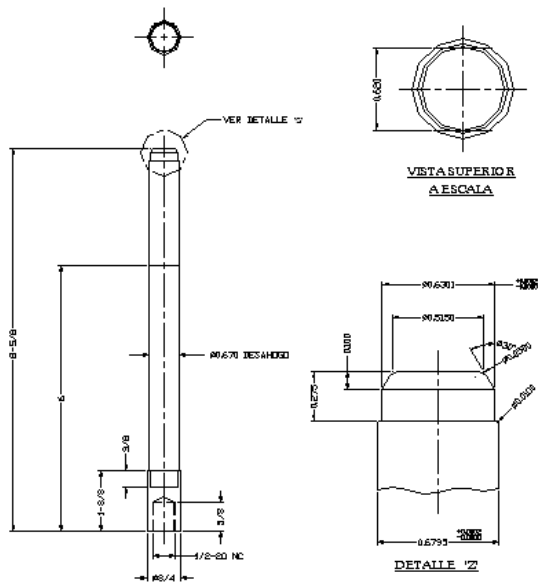
Fuente: Diseños de Herramental de Moldeo elaborados por GEOVANNI NERIA



Punzón Inferior de Moldeo

Fuente: Diseños de Herramental de Moldeo elaborados por GEOVANNI NERIA

Tanto el punzón superior como el inferior se ajustan tanto al núcleo como a la matriz en sus diámetros interiores y exteriores respectivamente.



Núcleo de Moldeo

Fuente: Diseños de Herramental de Moldeo elaborados por GEOVANNI NERIA

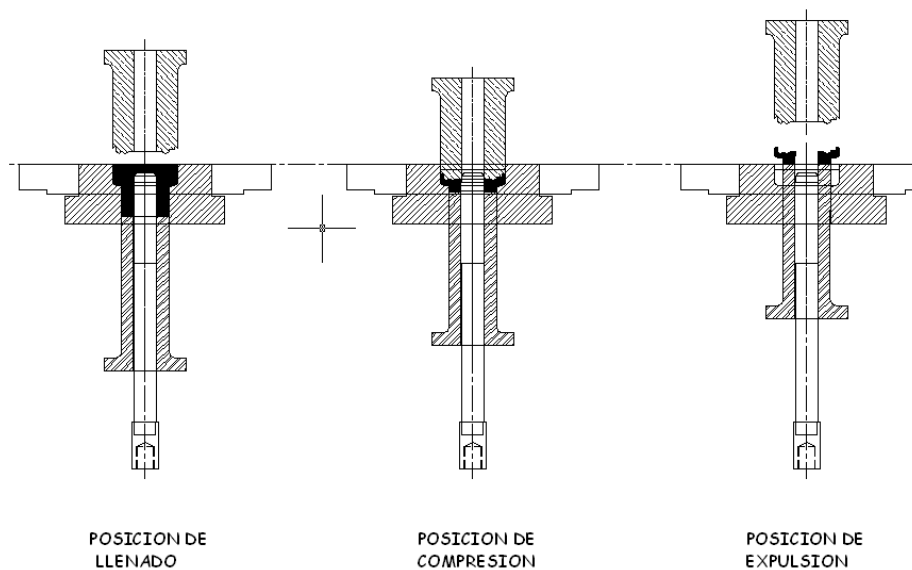
Nota: El núcleo se diseña en la medida máxima de la tolerancia, por razones de durabilidad al igual que la matriz

Fuente: Diseños de Herramental de Moldeo elaborados por GEOVANNI NERIA

Como podemos observar, el trabajo de detalle de los punzones es mucho muy importante, ya que son ellos quienes se encargan de conformar la cabeza de compresión en cuanto a cavidades, ángulos y radios

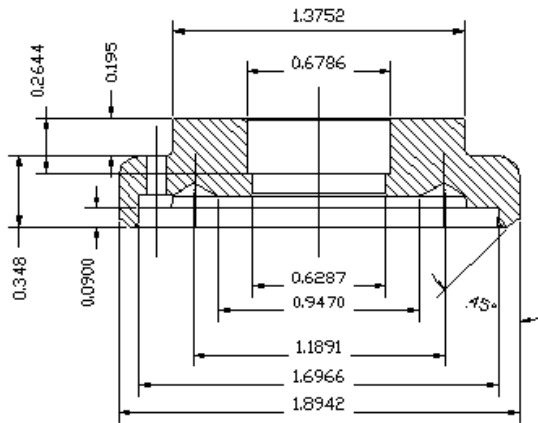
Todo el detalle se realiza con erosión por penetración, dicha operación es muy lenta, debido al avance de la maquina, el cual varía dependiendo del modelo de máquina, y de las propiedades del material a erosionar, es muy importante que el acabado de el herramental , principalmente en las cavidades del punzón superior estén lo más fino posible ya que al ser el punzón superior el que ejerce la mayor presión sobre el polvo, existe mayor riesgo de adhesión del polvo en la cavidades, y al momento de dejar de ejercer presión en el polvo (el cual en ese momento pasa a ser una pieza prensada) puede salir de la matriz con restos de polvo metálico, lo que ocasionaría que la pieza quedara o bien fracturada o inclusive incompleta.

Figura 3.7



En la figura 3.7 se muestran los movimientos que realizan las herramientas en cada una de las fases del prensado, y en la figura 3.8 podemos como queda la pieza prensada.

Figura 3.8



Pieza Prensada

El diseño del molde de calibrado se diseña en forma casi idéntica al molde en prensado, con la diferencia de que las dimensiones que deben tener en este proceso son las dimensiones finales de la pieza, ya sin tomar en cuenta el cambio dimensional de la pieza, por lo tanto los componentes para formar el molde de calibrado se fabricaran con los siguientes planos:

El costo del herramental se basa en 2 cosas: mano de obra y material

El costo del material se obtiene de una forma sencilla: el acero se compra por kilo y cada proveedor tiene una formula basada en diámetro por longitud de esa forma se conoce el peso del material necesario, después se multiplica por el precio que tenga el kilo en dólar en ese momento en el mercado, así conocemos el costo de la materia prima, a este costo se le debe sumar el trabajo de mano de obra, el cual se compone de:

- Fabricación (Rectificado)
- Erosión (Electro erosión)
- Ajuste

3.4 Proceso de Mezclado

Conociendo los porcentajes que debe tener la pieza se procede a llenar la mezcladora con 150 kgs. durante 20 minutos con las siguientes cantidades:

95.8% (NC100.24)	143.7 Kgs.
2.0% (COBRE)	3.0 Kgs.
1.2% (GRAFITO)	1.80 Kgs.
1.0% (Acrawax)	1.50 Kgs.

3.5 Parámetros de Prensado

Como se ha visto con anterioridad un punto primordial para la pulvimetalurgia es el de la densidad de la pieza, la cual está determinada por las variables de peso y volumen en el caso de esta pieza el volumen es de 12.21 cm^3 y considerando que la densidad solicitada basada en la presión máxima de carga de 192 psi es de 5.8 gr. /cm^3 debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad (14)$$

Masa= Volumen x Densidad

$$\text{Masa} = 12.21 \times 5.8$$

$$\text{Masa} = 70.8 \text{ grs.}$$

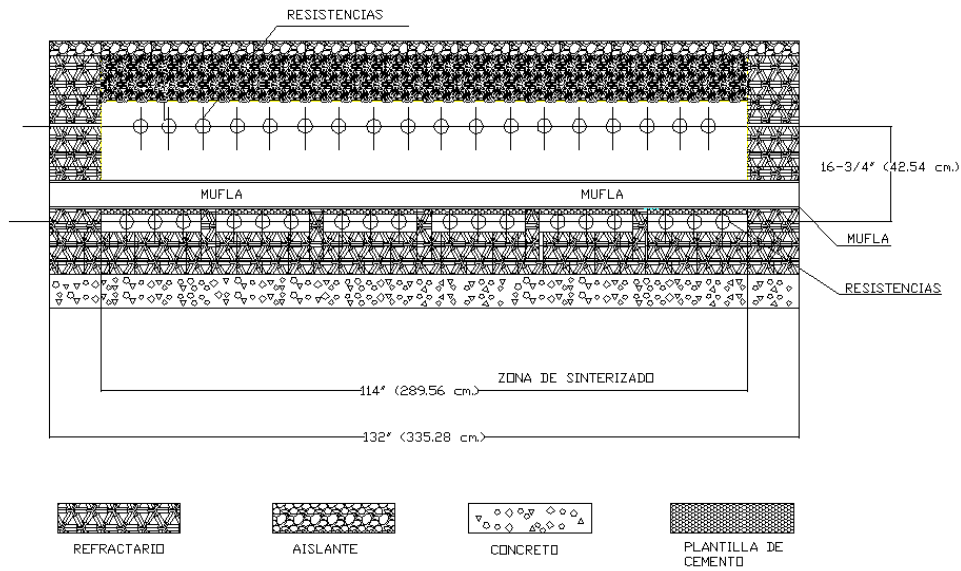
Por lo tanto el peso mínimo de esta pieza es de 70.800 grs. para obtener una densidad mínima de 5.81 grs. /cm^3 , para la producción de esta pieza se establecerá un parámetro de peso de: 70.800 – 74.800 grs. para tener un rango de variación de 4.00 grs. para absorber la variación inherente de la prensa, debido a que las tolerancias de esta pieza son en algunas dimensiones demasiado cerradas se llevara a cabo un calibrado posterior.

En cuanto a la altura de la pieza en este caso se nos solicitan dos alturas denominadas, alturas de ceja y altura de cuerpo, estas dimensiones estarán más altas de las medidas finales, para utilizar dicho exceso de material para comprimir ese exceso en el calibrado.

3.6 Parámetros de Sinterizado

La parte fundamental del sinterizado radica en la relación temperatura-tiempo, por lo tanto los parámetros a determinar y a controlara en el sinterizado son : la temperatura a la cual se sinterizara la pieza, que en este caso por tratarse de hierro seria de 1125°C con una variación de $\pm 10^\circ\text{C}$ y teniendo en cuenta el volumen de la pieza, su masa y la longitud del horno es de 114” (ver figura 3.9) en cuanto a la zona de sinterizado, se aplica un sistema que se conoce como “bacheo”, el cual consiste en dejar en la zona de sinterizado las piezas durante 50 minutos, con 4 minutos de avance y 10 minutos de paro, a una velocidad de 8”/minuto, para cumplir con los 50 minutos necesarios para sinterizar la pieza, el otro punto importante es el la atmosfera que como ya vimos anteriormente es muy importante para evitar la oxidación de la pieza la cual será de **N₂= 9mc/he y H₂= 1mc/he**

Figura 3.9



Fuente: Corte Transversal de Horno de Sinterizado de 114" de longitud Aleaciones Sinterizadas de México, Elaborado por Sr. Florencio Bautista.

La forma más clara de conocer si una pieza está debidamente sinterizada es verificando su dureza, este dato se obtiene de tablas tomando en cuenta la aleación de la pieza y su densidad. En el caso de la cabeza de compresión a analizar se trata de una dureza mínima de, 45RB, por lo cual liberaremos cada lote verificando su dureza, si alguna pieza presenta un valor inferior a 45RB se rechazara inmediatamente todo el lote, y en ese momento se verificaran que los parámetros de sinterizado están llevándose a cabo de la manera establecida, en cuento a temperatura y tiempo de sinterizado.



Figura 3.10

Imagen de acomodamiento de cabeza de compresión prensada antes de entrar al horno de sinterizado.

Fuente: Corte Transversal de Horno de Sinterizado de 114” de longitud Aleaciones Sinterizadas de México, Elaborado por Sr. Florencio Bautista.

3.7 Operaciones Complementarias

3.7.1 Barrilado

El barrilado consiste en introducir 500 piezas en una tina que se somatara a un movimiento consistente en vibrado, haciendo que las piezas se golpeen unas con otras, con un elemento abrasivo, que puede ser balín, remache, u otro durante 15 minutos, en este caso se utilizaran balines.

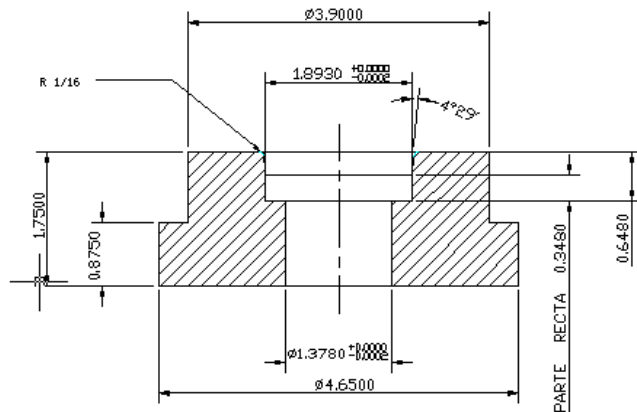
3.7.2 Barrenado

El barrenado es una operación complementaria de esta pieza en particular, debido a lo limitado del equipo con que se cuenta en esta empresa, en esta tecnología se debería lograr que las piezas salieran con los barrenos del prensado, pero debido al mal funcionamiento de las prensas las cuales al tener un mal ajuste en sus postes y en su mecanismo tienen un pequeño movimiento lateral el cual impide que los barrenos salgan completos, por lo cual se deben de realizar en una operación complementaria la

cual lógicamente aumenta el costo, en operación y en materia prima , y lógicamente la pieza de inicio pesa más y aumenta bastante el tiempo del proceso, convirtiéndose esta en la operación más lenta del proceso .

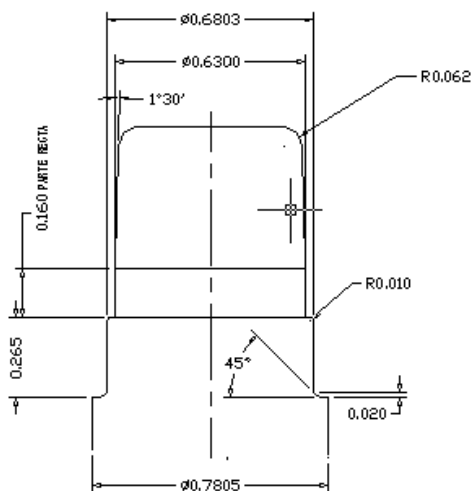
3.7.3 Calibrado

La necesidad de cumplir con tolerancias dimensiones demasiado cerradas, principalmente en lo que es el diámetro interior, nos hace necesario usar dar un segundo juego de herramientas, las cuales no necesariamente necesitan tener todos los detalles de la pieza, es decir el molde de calibrado es una herramienta más sencilla, en cuanto a diseño y a fabricación.



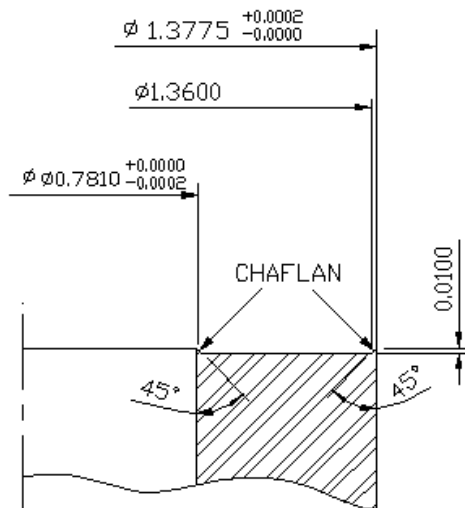
Matriz de Calibrado.

Fuente: Diseños de Herramental de Calibrado elaborados por GEOVANNI NERIA



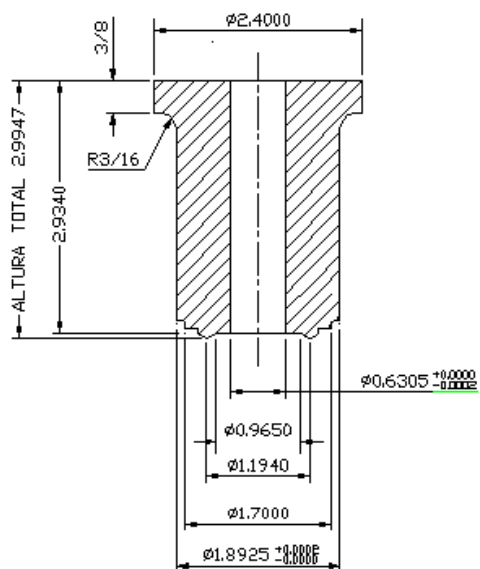
Núcleo de Calibrado.

Fuente: Diseños de Herramental de Calibrado elaborados por GEOVANNI NERIA



Detalle del Punzón Inferior de moldeo

Fuente: Diseños de Herramental de Calibrado elaborados por GEOVANNI NERIA



Fuente: Diseños de Herramental de Calibrado elaborados por GEOVANNI NERIA

Punzón Superior de Calibrado

Debido a que el cambio dimensional es pequeño y solo nos interesa cuidar y calibrar ciertas dimensiones demasiado cerradas, no es necesario que el punzón superior de calibrado contenga todos los detalles de la pieza, por lo tanto el punzón superior es el único que varía en forma con respecto al herramental de moldeo.

Como observamos en los herramentales de moldeo tanto el punzón inferior como el superior se ajustan a la matriz y al núcleo en sus diámetros interior y exterior.

Al igual que en el maquinado esta pieza necesita algún tipo de protección superficial para evitar una corrosión de la pieza por posible exceso de contacto con el aire, aquí usaremos líquido inhibidor DRY TOUCH IPR-3. por inmersión en cubeta.

CAPITULO 4

COMPARATIVO DE COSTOS Y TIEMPOS DE PRODUCCION.

Los tiempos de producción y los costos, son los puntos predominantes de cualquier cliente al decidir qué empresa será su proveedor, por regla general los departamentos de compras envían planos a varios probables proveedores y en múltiples ocasiones estos posibles proveedores trabajan con distintos procesos, obviamente los departamentos de compras necesitan evaluar tanto el precio como los tiempos de entrega de su producto.

A continuación obtendremos los costos y tiempos de producción de la cabeza de compresión para los procesos de maquinado y de pulvimetalurgia en una producción de 10 000 piezas.

4.1. Costos y Tiempos de Producción de cabeza por Maquinado

Para lograr entregar terminada la cabeza de compresión debemos considerar el número de maquinados que necesitara la pieza, la cabeza de compresión constara de 15 maquinados y de 2 fases de maquinado, los cuales generan un tiempo promedio de 15 minutos por pieza.

El tiempo de 15 minutos se toma hablando de un maquinado en un tono o centro de maquinado C.N.C. (Control Numérico Computarizado) es decir un proceso prácticamente automático, se calcula el tiempo de 15 minutos, teniendo en cuenta que la maquina se encuentre completamente herramientada, no se aumentara el tiempo de herramientaje para obtener un tiempo total de producción.

Para fabricar 10 000 piezas con una maquina ya herramientada y sin tomar en cuenta posibles cambios de insertos o brocas ya desgastadas necesitaríamos de:

$$15 \times 10\,000 = 150\,000 \text{ minutos}$$

$$150\,000/60 = 2500 \text{ horas}$$

$$25000/8 = 312.5 \text{ turnos de 8 horas}$$

$$312.5/3 \text{ turnos por día} = 104 \text{ días}$$

Necesitaríamos de 104 días con 3 turnos de 8 horas para conseguir entregar 10 000 piezas.

El costo de esta pieza se calcula usando un rolado en frio (cold-rolled) como materia prima, debido a que la cabeza de compresión no necesita tener propiedades mecánicas muy elevadas.

El costo poro por maquinado es de 70 ctv., por cada operación es decir un torneado, una operación de fresado u otra operación tiene un costo promedio de 70 ctv.

La cabeza de compresión que se va a fabricar consta de 15 operaciones de maquinado, por lo cual, el costo del maquinado es de 10.5 pesos.

En cuanto a la materia prima el costo es de 20 pesos por kilo

Las barras de cold-rolled se venden por tramos, en este caso, usaremos un tramo con \emptyset de 2.0" para tener material de sobra para desbastar y como la pieza va a medir 0.520" de altura, cortaremos tramos de 0.625" de largo, lo cual nos da un volumen de:

$$H = 0.625 \text{ plg}, \quad A = 3.1416 \text{ plg}^2$$

$$V = 1.9635 \text{ plg}^3 = 32.162 \text{ cm}^3$$

El peso específico del acero es de 7.85 grs/cm³

$$P = \text{Peso Especifico} \times \text{Volumen}$$

Sustituyendo

$$\text{Peso} = 7.85 \text{ grs/cm}^3 \times 32.162 \text{ cm}^3$$

$$\text{Peso} = 252.47 \text{ grs}$$

Por lo tanto el costo del material por pieza es de:
5.05 pesos por tocho de material

Al sumar el costo del maquinado nos arroja un costo total de:
 $5.05 + 10.5 = 15.55$ pesos por pieza

Para un total de 155,500 pesos por 10 000 piezas

4.2 Costos y tiempos de producción de Pulvimetalurgia.

Como ya revisamos anteriormente el proceso se divide en los siguientes pasos:

- 1.- Mezclado
- 2.- Prensado
- 3.- Sinterizado
- 4.- Barrilado
- 5.- Barrenado
- 6.- Calibrado
- 7.- Impregnado

El tiempo promedio de MEZCLADO para 10 000 piezas es de 1 Hora 30 minutos, es decir que el tiempo por pieza de mezclado es de:
 $90 \text{ minutos} / 10\,000 = 0.009 \text{ minutos} \times \text{pieza.}$

El tiempo promedio de PRENSADO para 10 000 piezas es de 32 Horas, es decir que el tiempo por pieza de prensado es de:

$1920 \text{ minutos} / 10\,000 = 0.192 \text{ minutos} \times \text{pieza}$

El tiempo promedio de SINTERIZADO 10 000 piezas es de 20 Horas, es decir que el tiempo por pieza de sinterizado es de:

$1200 \text{ minutos} / 10\,000 = 1.2 \text{ minutos} \times \text{pieza}$.

El tiempo promedio de Barrilado 10 000 piezas es de 8.3 Horas, es decir que el tiempo por pieza de Barrilado es de:

$498 \text{ minutos} / 10\,000 = 0.049 \text{ minutos} \times \text{pieza}$.

El tiempo promedio de Barrenado 700 piezas por turno de 8 horas, es decir que el tiempo por pieza de Barrenado es de:

$700/8 = 87.5 \text{ piezas por hora} = 1.45 \text{ minutos por pieza}$

El tiempo promedio de calibrado 10 000 piezas es de 40 horas, es decir que el tiempo por pieza de calibrado es de:

$2400 \text{ minutos} / 10\,000 = 0.240 \text{ minutos} \times \text{pieza}$

El tiempo promedio de impregnado 10 000 piezas es de 1.041 Horas, es decir que el tiempo por pieza de impregnado es de:

$62.5 \text{ minutos} / 10\,000 = 0.00625 \text{ minutos} \times \text{pieza}$

Haciendo una suma promedio por pieza nos dice que el tiempo neto por pieza es de:

3.15 minutos x pieza

$31\,500 \text{ minutos por } 10\,000 \text{ piezas} = 525 \text{ horas}$

Con lo cual hablando de turnos de 8 horas tenemos como resultado que:

$525/8 = 65.6 \text{ turnos}$

Y si estamos considerando 3 turnos al día fabricar 10 000 piezas por el proceso de pulvimetalurgia necesitaría 21.8 días

El costo del proceso de pulvimetalurgia de esta pieza es de 4 pesos por pieza, pero debemos de tomar en cuenta que en ese costo no se ha sumado el costo de fabricación del molde, el cual para este tipo de pieza debido a su complejidad sería de entre 80,000 y 100,000 pesos

Por lo cual estamos hablando de que el costo de esta pieza es de:

$4 \text{ pesos por pieza} \times 10\,000 = 40,000$

$40,000 + 100,000 = 140,000$

$140,000/10,000 = 14 \text{ pesos por pieza}$

Debemos apuntar que dependiendo de las tolerancias que se manejen como por ejemplo para esta pieza se habla de $\pm 0.001''$ en el caso más extremo, el molde puede fabricar hasta 20,000 piezas sin problema y si trabajamos con todo el rango que nos permite la

tolerancia de un promedio de 0.003” el molde puede producir un promedio de 35000 piezas con lo cual el costo de la pieza es de:

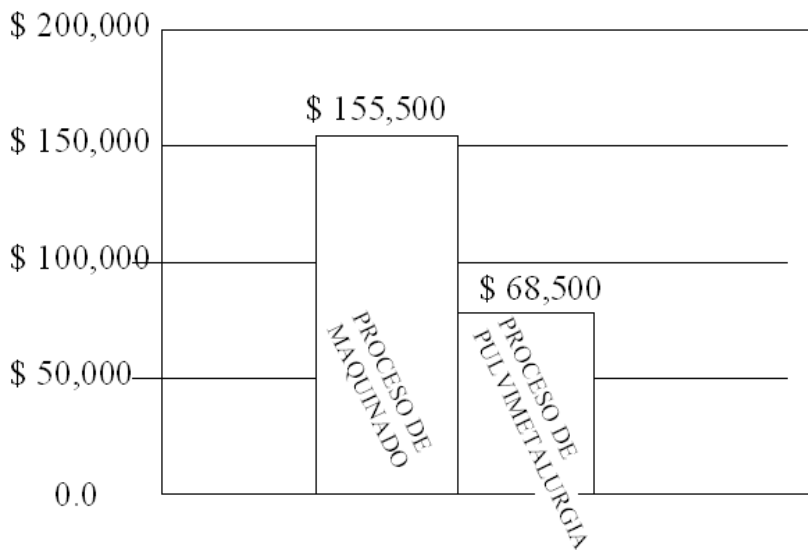
$35000 \times 4 = 140\,000$ mas 100,000 del molde seria un costo de $240000/35\,000 = 6.85$ pesos por pieza,

El costo de 10000 piezas por pulvimetalurgia es de 68,500 pesos

Con los datos obtenidos anteriormente podemos realizar las graficas comparativas tanto del costo como del maquinado, las cuales se muestran a continuación.

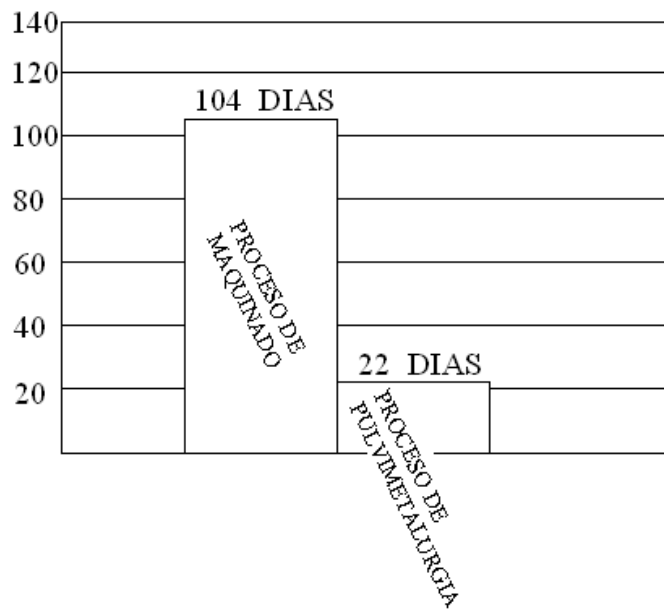
COMPARATIVO DEL COSTO EN PESOS
DE 10,000 CABEZAS DE COMPRESION
FABRICADAS POR EL PROCESO DE
MAQUINADO Y POR EL PROCESO DE
PULVIMETALURGIA

PESOS



COMPARATIVO DEL COSTO EN PESOS
DE 10,000 CABEZAS DE COMPRESION
FABRICADAS POR EL PROCESO DE
MAQUINADO Y POR EL PROCESO DE
PULVIMETALURGIA

DIAS



CONCLUSIONES

Este trabajo plantea el beneficio de producir una cabeza de compresión por un proceso denominado pulvimetalurgia en lugar de usar el proceso de maquinado para altos volúmenes de producción sin demeritar la calidad del producto.

Al revisar los datos obtenidos por los desarrollos de la pieza se puede concluir que la hipótesis se cumple completamente por las siguientes:

En el capítulo 4 podemos ver claramente que una pieza maquinada es 2.3 veces más cara que una pieza fabricada por pulvimetalurgia y 4.7 veces más lenta, sin demeritar en nada la calidad del producto.

A estos beneficios se le puede añadir como ya vimos el de una disminución de desperdicio muy elevada, ya que si existieran errores en el proceso de prensado, todo el material procesado se puede volver a utilizar sin ningún problema, lo cual implica un ahorro, situación que no existe en el maquinado.

RECOMENDACION

Se debe hacer la observación de que únicamente es recomendable el sinterizado para altos volúmenes de producción, si se tratase de piezas para muestras o inclusive una producción mensual de menos de 500 piezas, entonces se debe de optar por otro tipo de proceso.

BIBLIOGRAFIA

MPFI STANDARD 35 , PM MATERIAL PROPERTIES
Aprobado en 1984, Revisión de 1997 (1)

Molera Pedro
Introducción a la Pulvimetalurgia
Ediciones Bellostera s.a. 1977(2)

Jiménez Caro Francisco
Proceso de Manufactura
EDITORIAL A.G.T México 1982 (3)

KEYSER, Carl A.
Ciencia de Materiales para Ingeniería
Editorial Limusa-Wiley, México 1972. P258-260. (4)

SKELAN, Donald R.
Ciencia e Ingeniería de los Materiales,
Tercera edición. International Thompson Editores S.A., México, 1998. (5)

R.W.Cahn, P Haasen
Materials Science Technology
Editorial McGraw-Hill, Año1993 (6)

Skaupy Franz
Cerámica de Materiales
Editorial Reverte, Año 1955 (7)

Alverdi Urieta Juan,
Amortiguadores y Suspensión
Editorial Altamar, 2005 (8)

Cante Terán, Juan Carlos
Proceso de compactación de Pulvimetalurgia
Director: Dr. Javier Oliver
Universidad Politécnica de Cataluña, Abril 1995 (9)

Polvos de Hierro para Componentes Sinterizados
Hoganas AB
Edición 2001 (10)

Moore Harry D.
Materiales Y Procesos De Fabricación
EDITORIAL Limusa 2002 (11)

ASTM INTERNATIONAL STANDARD, Métodos de prueba
Edición 2003 (12)

Romero, Sergio
Diseño y Construcción de un prototipo d amortiguador para un vehículo
Laboratorio de Dinámica de Maquinas
Universidad Simón Bolívar (13)

www.gabriel.com.mx/ES/Asesoriatecnica/Paginas/Funcionamientodelamortiguador.aspx
(14)

Kurt Gieck/ Reiner Gieck
Manual de Formulas Técnicas
Alfaomega, 31ª edición (15)