



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE
PIEZAS FABRICADAS CON EL PROCESO
DE SINTERIZACIÓN

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO METALÚRGICO
p r e s e n t a
JAVIER SANDOVAL GONZÁLEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

A MI QUERIDA ESPOSA THERESE ANNE
POR SU AYUDA Y ESTIMULO EN LA
REALIZACION DE ESTE TRABAJO.

A MIS QUERIDOS PADRES NICOLAS Y
ANGELINA.

PRESIDENTE Guillermo Hernández Angeles

VOCAL Manuel Gaviño Rivera

SECRETARIO Kurt H. Nadler Gundeisheimer

1er. SUPLENTE Alberto Obregon Pérez

2do. SUPLENTE Ruben Fco. Ortega Carmona

Sitio donde se desarrolló el tema: Sintered Metals, Inc.
Boston, Massachusetts, EUA

Nombre completo y firma del sustentante: Javier Sandoval Gonzalez

Nombre completo y firma del asesor del tema: Kurt H. Nadler G.

INDICE

Introducción	Página 3
I Tecnología y Materias Primas	5
II Que Es El Sinterizado	9
III Datos y Características del Producto Terminado	15
IV Resumen y Pruebas	2
V Apéndice I Análisis y Gráficas Ilustrativas de Material Típico	2
VI Apéndice II Fotomicrografías de Varios Materiales Sinterizados	6

INTRODUCCION

Es cada vez mayor la popularidad que tienen las piezas fabricadas por el proceso de metalúrgia de polvos para muchos productos industriales, como partes automotrices, herramientas y máquinas de oficina. Cada vez es mayor el número de ingenieros de materiales y de diseño que están especificando éstas, porque pueden ser porosas o densas, porque sus propiedades pueden exceder a las de partes forjadas o coladas y porque pueden ser fabricadas rápida y automáticamente.

Las piezas de polvos metálicos son hechas por compresión de éstos en un molde y posteriormente calentadas en un horno con atmósfera especial, de tal manera que la masa metálica queda unida fuertemente.

Una de las mayores ventajas del proceso es que la densidad puede ser controlada para proveer propiedades específicas, dando lugar a un amplio rango de usos. Por ejemplo partes hechas con polvos metálicos pueden fabricarse con una porosidad en el rango de: (50-75% densidad), para aplicaciones en filtros, atenuadores de sonido y cojinetes con lubricación propia; media y alta densidad (80-95%) para partes estructurales. Es también posible fabricar piezas duras y densas en una sección y suaves y porosas en otra.

Partes hechas con polvos metálicos pueden fabricarse a partir de un extenso grupo de metales, aleaciones y mezclas, incluyendo combinaciones no obtenibles en piezas coladas o forjadas. Es igualmente posible combinar dos o más partes en una sola (ej. engrane-piñon) reduciendo herramientaje, fabricación y costos de ensamble.

Además partes hechas de polvos metálicos pueden ser prensadas y sinterizadas directamente en su forma y tamaño, eliminando así mucho del maquinado requerido con otros procedimientos de fabricación; y las piezas pueden ser fabricadas rápidamente y con gran precisión. Piezas ordinarias se producen a razón de 800-1000 partes/h. en prensas convencionales de doble acción y algunas formas pueden ser obtenidas en el rango de 3000 partes/h. Producciones de 43,000 partes/h. se pueden obtener para pequeñas piezas de formas simples en prensas de rotación.

Las partes hechas de polvos metálicos también tienen algunas limitaciones. Por ejemplo no se producen en tan variadas composiciones como las partes forjadas y no tienen el amplio rango de propiedades físicas y mecánicas de éstas. Además hay limitaciones en formas y tamaños y en obtener densidades uniformes en ciertas formas complejas, secciones no uniformes y en paredes largas y delgadas.

TECNOLOGIA Y MATERIAS PRIMAS

¿ Qué es la metalúrgia de polvos?

La metalúrgia de polvos en su forma más simple, consiste en comprimir polvos metálicos dentro de un molde especial para producir compactos crudos, y a continuación sinterizar estos compactos a elevada temperatura en un horno con atmósfera protectora. Durante la sinterización, el compacto se consolida y hace resistente.

La densidad de compactos sinterizados puede ser incrementada por recompresión. Cuando la recompresión es ejecutada principalmente para mejorar la exactitud dimensional del compacto, usualmente se denomina "sizing"; cuando se aplica para mejorar la configuración se llama "coining". La recompresión puede ser seguida de una resinterización, la cual releva tensiones debidas al trabajo en frío durante la recompresión y puede incrementar la consolidación del compacto.

Compactos aleados se pueden formar de mezclas de polvos metálicos que difunden durante la sinterización. Usualmente se utilizan polvos prealeados. La consolidación es acelerada algunas veces sinterizando a la temperatura a la cual uno de los constituyentes metálicos funde (como en una mezcla hierro-cobre). Metales con punto de fusión relativamente alto (tal como Fe o W) se prensan algunas veces como esqueleto el cual es a continuación infiltrado por un metal fundido (como cobre o plata) que tienen un punto de fusión más bajo que el del metal que actúa como esqueleto.

Prensando y sinterizando solamente, pueden ser obtenidas partes, en hierro y otras muchas aleaciones, sobre el 80% de la densidad

teórica. Por recompresión con o sin resinterización, es posible obtener partes con 90% o más. La densidad obtenible está limitada por la forma y tamaño del compacto.

Entre los materiales usados en metalurgia de polvos tenemos hierro, cobre, hierro-cobre, hierro-carbono, hierro-cobre-carbono, latón, bronce, acero inoxidable, níquel-silver, níquel, y aleaciones de níquel. Además mezclas de metales con materiales no metálicos (tal como óxidos refractarios) que no pueden ser formadas, excepto por metalurgia de polvos, son usados en muchas aplicaciones. Partes hechas de muchos de los materiales antes citados responden a tratamientos térmicos, y compactos de hierro pueden ser carburizados.

En la evaluación del costo de partes producidas por metalurgia de polvos es importante el ahorro resultante de la ausencia de chatarra y la eliminación de maquinado y otras operaciones de finalizado. Aunque los polvos metálicos son usualmente más costosos por unidad de peso o volumen que otras formas de metal (el costo promedio de transformar la mayoría de los metales en polvo es cinco pesos por kilogramo), el ahorro obtenido minimizando el desperdicio del maquinado frecuentemente rebaja el costo de las partes hechas de polvo resultando más económicas que aquellas maquinadas por otras formas.

El costo de las herramientas para producir partes de polvos debe ser considerada sobre el número de partes producidas, como en cualquier proceso. En algunas aplicaciones, el costo de herramientas para producir partes por metalurgia de polvos es más bajo que el costo de herramientas de procesos competitivos, si la producción es corta.

El éxito de la producción por metalurgia de polvos depende en

el control y la propia selección de las siguientes variables del proceso:

- a) características del polvo
- b) preparación del polvo
- c) tipo de prensas de compactación
- d) diseño de moldes y herramientas de compactación
- e) tipo de horno de sinterización
- f) composición de la atmósfera de sinterizado, y
- g) ciclo de producción

Para poder especificar materiales para varias aplicaciones es importante tener algunos conocimientos básicos de diseño de propiedades, su significado y como éstas son medidas. Ciertamente, la aceptación de cualquier parte depende en como ésta se comporta en verdadero servicio. Buenos datos de ingeniería proveen al diseñador con valiosa información y le dan la oportunidad de comparar y categorizar diferentes materiales.

La habilidad para seleccionar el material correcto de antemano por lo tanto, es obviamente más ventajoso, hablando de tiempo y costo de fabricación, en comparación que tener que evaluar todos los materiales posibles comercialmente disponibles.

Las mayores aplicaciones para componentes de polvos metálicos prensados convencionalmente y sinterizados son: Aplicaciones estructurales, cojinetes y magnéticas. Siendo el más importante el primer enunciado.

Aplicaciones Estructurales. Las propiedades asociadas con aplicaciones estructurales pueden ser clasificadas como propiedades mecánicas, propiedades físicas o propiedades químicas. Bajo ciertas circunstancias la interpretación bajo la cual una propiedad específica es clasificada depende de cómo ésta es utilizada. Por ejemplo, el módulo de elasticidad puede ser definido como una propiedad física cuando describe la rigidez de diferentes elementos y compuestos, basada en su estructura

atómica. Por otro lado éste puede ser considerado como una propiedad mecánica si la relación entre una carga aplicada y la deformación resultante dentro del rango elástico, es requerido en el diseño de un componente mecánico.

QUE ES EL SINTERIZADO

El sinterizado es el proceso mediante el cual los polvos metálicos compactos son ligados por calentamiento a temperaturas más bajas que sus puntos de fusión. La densificación puede o no tener lugar. Si se calientan juntos polvos de dos o más metales diferentes, a temperatura suficientemente alta, puede ocurrir una aleación simultánea con la sinterización. Algunas veces es formada una fase líquida que ayuda en la consolidación, o bien un compacto puede ser sinterizado por un período corto de tiempo y después infiltrado con un metal fundido de menor punto de fusión.

El proceso operativo en el sinterizado puede ser flujo plástico, transporte de vapor y difusión atómica. Un compacto crudo pasa a ser una parte sinterizada en una serie de etapas continuas. Al alcanzar una temperatura específica, la cual depende de la composición de los polvos, el compacto muestra mayor resistencia, conductividad térmica y conductividad eléctrica. Las superficies de contacto de las partículas formadas durante el prensado se hacen más grandes. A medida que la temperatura o el tiempo de sinterización son incrementados, la resistencia también es incrementada; la liga entre las partículas crece y se hace más fuerte y aparecen poros aislados. A medida que el tiempo progresa, la densificación se hace más lenta y los poros más largos aumentan sus dimensiones, aunque la porosidad total disminuye. Sosteniendo la temperatura por períodos de tiempo bastante prolongados el tamaño de los poros puede disminuir, pero es virtualmente imposible obtener total densidad solo por sinterización.

Cuando se requiere la más alta densidad posible, los compactos pueden ser reprensados y vueltos a sinterizar. Mediante este

procedimiento los poros más grandes son cerrados mecánicamente y al resinterizar, nuevas ligas entre las partículas son formadas. (Ver apéndice)

Atmósferas de Sinterización.

Atmósferas de protección son usadas en la metalurgia de polvos para:

- a) Prevenir oxidación y reducir óxidos al sinterizar cobre, bronce, níquel, molibdeno y tungsteno y
- b) Para controlar la carburización o decarburización de piezas de hierro o piezas con alto contenido de hierro.

La oxidación y decarburización de piezas de hierro son causadas por oxígeno, vapor de agua, y bióxido de carbono cuando se encuentran en proporciones impropias con respecto al contenido de hidrógeno y monóxido de carbono. Los óxidos de hierro son reducidos por hidrógeno, monóxido de carbono y carbono. La carburización es causada por monóxido de carbono y por hidrocarburos tal como el metano.

Las piezas de cobre y bronce son susceptibles de oxidación general y escamado o decoloración por el oxígeno. Estas piezas no son afectadas adversamente por el hidrógeno, monóxido de carbono, o carbono. Un ataque selectivo del zinc en las piezas de latón es causado por bióxido de carbono, oxígeno, azufre y vapor de agua.

El vacío es usado principalmente para sinterizar piezas de acero inoxidable y metales refractarios tales como tantalio, titanio, zirconio y uranio, los cuales reaccionan con la mayoría de las atmósferas protectivas incluyendo el hidrógeno.

Cuando el contenido de humedad de cualquier atmósfera debe ser mantenido a un nivel muy bajo (tal es el caso al sinterizar

aleaciones que contienen cromo), el horno debe ser operado y mantenido con especial cuidado, para eliminar cualquier fuga o retro-difusión de aire que pudiera contaminar la atmósfera del horno.

Las atmósferas más comúnmente usadas en sinterización son: hidrógeno, amonía disociada, amonía quemada, exogas, exogas purificado, endogas y vacío. El hidrógeno en cilindros es frecuentemente el gas más económico para instalaciones pequeñas, porque el costo de equipo de generadores de gas es eliminado.

La explosividad de mezclas de hidrógeno-oxígeno demanda que el hidrógeno sea manejado con cuidados extremos. Su alta conductividad térmica (siete veces mayor que la del aire) ayuda a incrementar la relación de transferencia de calor en las cámaras de calentamiento y enfriamiento. Su baja densidad permite su rápida difusión hacia afuera. Sin embargo el uso del gas hidrógeno permite retrodifusión de aire a través de pequeñas aberturas o fracturas lo cual resulta en una contaminación de la atmósfera.

El hidrogeno obtenido de botellas, celdas o unidades de conversión catalítica puede contener hasta 0.5% de impurezas, incluyendo humedad, oxígeno, monóxido de carbono y metano. Esta atmósfera puede ser utilizada para sinterizar la mayoría de metales no ferrosos, pero es usualmente decarburizante para el hierro y oxidará aleaciones que continen cromo.

Cuando se ha secado y purificado eficientemente, el hidrógeno puede ser considerado inerte al hierro y a las aleaciones con contenido de cromo como el acero inoxidable. El hidrógeno más puro es aquel obtenido de celdas de paladio, pero muy pocos hornos son construidos lo suficientemente herméticos para el uso efectivo de hidrógeno con este grado de pureza.

Amonia Disociada.

La amonia disociada es fabricada pasando gas amonia (proveniente de grandes tanques o cilindros), sobre un catalizador caliente, y consiste de una mezcla de 75% hidrógeno y 25% nitrógeno en volumen. Este gas es notablemente seco y puede ser usado como sustituto de hidrógeno puro para casi todas las aplicaciones de sinterizado, incluyendo acero inoxidable, hierro, latón, cobre y tungsteno. Su uso, particularmente cuando se sinteriza molibdeno o materiales ferrosos, es algunas veces evitado debido al peligro de nitruración por residuos de amonia sin disociar, la cual se encuentra presente casi siempre y se disocia al entrar en contacto con algún metal caliente. Esta amonia residual puede ser removida casi completamente, haciendo pasar el gas a través de agua (secándose después), o a través de alúmina activada.

Amonia Quemada.

Mezclas de nitrógeno con 0.5 a 24% de hidrógeno son hechas ya sea quemando amonia disociada premezclada con aire (el cual contiene 78% nitrógeno) en una cámara de reacción; o por oxidación catalítica directa de amonia en aire, y secando los productos de la reacción.

La relación hidrógeno-nitrógeno es controlada por la proporción de aire suplido a los quemadores. La amonia quemada constituye la fuente más barata de mezclas de nitrógeno-hidrógeno, cuando se requieren grandes volúmenes. Sin embargo el costo de instalación del equipo necesario, es relativamente alto.

Gas Exotérmico.

Este gas es fabricado quemando gas natural, gas de los hornos de coque, metano, butano o un gas hidrocarburo similar, en una

cámara de combustión refractaria, con cantidades controladas de aire. Un gran porcentaje de calor es dado durante la reacción. Dependiendo de la cantidad de aire usado, el gas puede contener hasta 14% hidrógeno en volumen, hasta 10% monóxido de carbono, 5 a 12% bióxido de carbono y usualmente pequeñas cantidades de metano; el resto es nitrógeno. Esta atmósfera es ordinariamente enfriada a cerca de 21°C., temperatura a la cual su contenido de humedad se aproxima a su nivel de saturación.

Las principales ventajas del uso del gas exotérmico son su baja inflamabilidad y su bajo costo.

Como todos los gases derivados de hidrocarburos, el gas exotérmico puede tener una acción carburizante o decarburizante en partes ferrosas, dependiendo del contenido de carbono del trabajo y de la temperatura.

Los gases exotérmicos enriquecidos o semi-enriquecidos son los más comunmente usados para sinterización. El gas más enriquecido está formado por una relación de 6 a 1 aire/hidrocarburo y contiene cerca de 14% hidrógeno, 10% monóxido de carbono, 1% metano, 5% bióxido de carbono y 70% de nitrógeno. Tiene un punto de rocío (Dew Point) de cerca de 26°C. y es usado en la sinterización de compactos de cobre, bronce, plata, hierro y hierro-cobre. Este gas es usualmente fuertemente decarburizante para metales ferrosos.

Para sinterizar compactos no ferrosos se ha venido usando gas semi-enriquecido, fabricado haciendo reaccionar aire con gas natural en relación de 6.75 a 1.

Gas Exotérmico Enriquecido y Purificado.

Mediante la remoción del agua y bióxido de carbono, puede ser

obtenido un gas exotérmico medianamente reactivo y con un punto de rocío de menos de -45°C . Este gas no tiene virtualmente ninguna acción carburizante o decarburizante en compactos de hierro-grafito. Gases de este tipo son ampliamente utilizados para sinterizar hierro, hierro-cobre, hierro-carbono y hierro-cobre-carbono y también para infiltración de piezas de hierro-carbono.

Gas Endotérmico.

Al fabricar gas exotérmico, la relación mínima de aire a gas natural que permitirá la combustión, es cerca de 6 a 1, mientras que los productores de gas endotérmico permiten relaciones más bajas para reaccionar utilizando cámaras de combustión con catalizadores calientes. Estas cámaras de combustión están fabricadas usualmente de carburo de silicio o aleaciones resistentes al calor. El gas endotérmico más débil tiene una relación aire/gas de cerca de 4.5 a 1 y contiene 21% hidrógeno, 13.8% monóxido de carbono, 3.0% bióxido de carbono y 61.7% nitrógeno. El punto de rocío es cerca de 26°C . Este gas es carburizante para metales ferrosos y es usado para sinterizar compactos de hierro, Hierro-cobre, metales no ferrosos y para infiltrar partes de hierro.

Vacío.

El vacío ha sido utilizado para sinterizar algunos metales para los cuales ninguna de las atmósferas anteriormente citadas da resultados satisfactorios. La sinterización al vacío ha sido particularmente exitosa en acero inoxidable, tantalio, titanio, uranio, zirconio y otros metales refractarios que reaccionan con hidrógeno y gases que contienen carbono. Los gases inertes son raramente utilizados con éxito para sinterizar estos metales, debido a la dificultad de purgar las cámaras de trabajo y expeler todo el aire.

DATOS Y CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO

Propiedades Mecánicas.

Son aquellas propiedades que determinan su capacidad para transmitir, mantener o soportar fuerzas aplicadas sin una falla subsecuente. Las fuerzas pueden ser estáticas o continuamente cargas aplicadas, cargas fluctuantes o cargas intempestivamente aplicadas resultantes de alguna forma de impacto. En servicio real un componente puede, además, experimentar simultáneamente dos o más tipos de carga.

Los dos parámetros más comunmente utilizado para descubrir un estado de fuerza son tensión y deformación.

Tensión es la carga por unidad de área actuando a través indistintamente en un punto o área pequeña de un plano dado. Hay tres tipos básicos de cargas, llamadas Tensión, Compresión, y Corte (ver fig.1).

Tensión de Tracción Máxima.

Es la tensión en la cual dos partes de un cuerpo en cada lado de un típico plano de tensión, tienden a separarse. Tensión de compresión máxima es lo contrario de la anterior donde las partes adyacentes de un cuerpo tienden a presionarse una contra la otra a través de un plano de tensión. Tensión de cizalla o corte tiene lugar cuando las dos partes adyacentes de un cuerpo tienden a deslizarse en direcciones opuestas y paralelas al plano de tensión.

Deformación.

Es una medida de cambio debida a una fuerza, en tamaño o forma de un cuerpo con referencia a su forma o tamaño original.

Deformación Elástica. Describe la primera porción de deformación

Tipos de Tensión

Figura 1

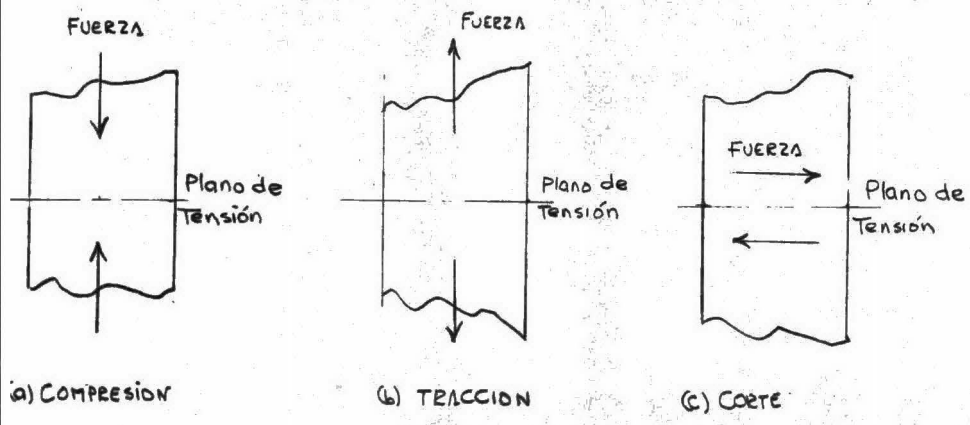
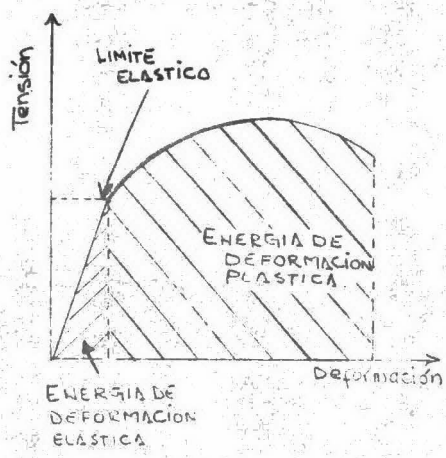


Figura 2



Energía de Deformación y Diagrama Tensión - Deformación

que desaparece después de que la carga ha sido removida.

Deformación Plástica. Describe la porción subsecuente de deformación la cual es permanente una vez que la carga ha sido removida.

La deformación es una cantidad adimensional, pero ésta es frecuentemente expresada en términos de pulgada por pulgada o cm. por cm. etc. (ver fig. 2).

Desde un punto de vista práctico, las propiedades mecánicas ayudan al ingeniero, indicando cuando un material puede fallar debido a deformación o fractura. Las propiedades que definen estos dos modos de falla son:

Deformación.

Límite de Fluencia. Es la tensión a la cual un material sufre un cambio permanente en dimensiones o donde hay una desviación específica de linealidad de tensión y deformación. (Ver Fig.3)

Módulo de Elasticidad. Es una medida de la rigidez de un material. Esto es la razón de tensión a una correspondiente deformación bajo el límite de proporcionalidad. Esta relación es ilustrada para algunos metales en la gráfica (ver fig.4).

Ley de Poisson: Es el valor absoluto de la razón de la deformación transversal entre la deformación axial correspondiente de un cuerpo sujeto a tensiones uniaxiales bajo el límite de proporcionalidad del material. (ver fig. 5)

Algunos valores de esta razón para varios metales son: Tabla 1

Aluminio...0.33
Titanio...0.34

Figura 3

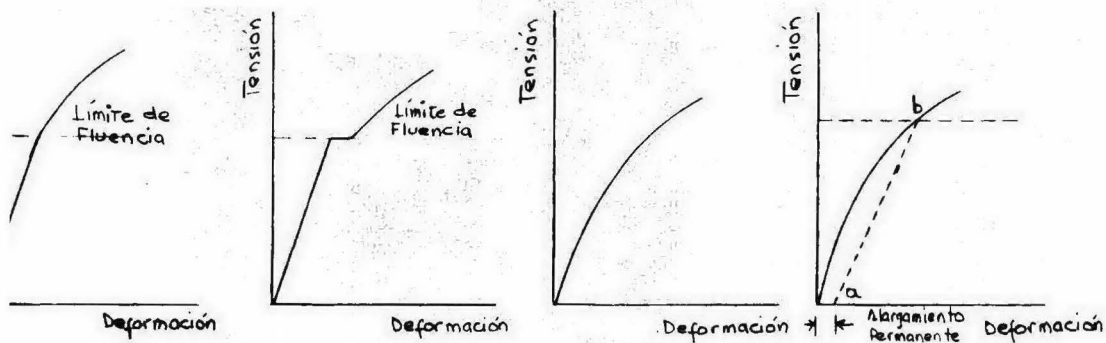
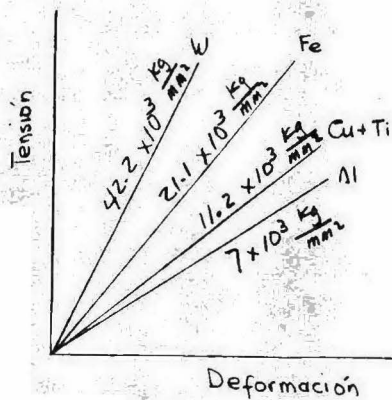
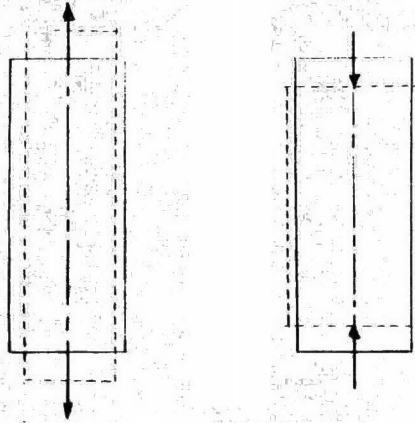


Figura 4



Diferentes Valores para Módulos de Elasticidad

Figura 5



(a) Tracción

(b) Compresión

Cambio de Forma de un Cilindro Bajo Tensión

Cobre.....	0.33
Hierro.....	0.28
Tungsteno..	0.28

Dureza. Es la resistencia de un material a la deformación por indentación superficial.

Fractura.

Tenacidad de Fractura. Es la resistencia de un material a la propagación de rompimiento. Esta es una propiedad fundamental del material, similar a el módulo de elasticidad y al límite de fluencia, siendo relativamente independiente del tipo de método de prueba y la configuración del espécimen.

Mecánica de la Fractura. Es el estudio de la tenacidad a la fractura. Esto define el estado de tensión crítica, alrededor de una grieta o defecto que iniciará y después propagará una ruptura dando por resultado último la falla del material.

Máxima Resistencia. Es el esfuerzo máximo de tensión, compresión o corte, el cual es capaz de sustentar un material bajo una carga estática.

Resistencia al Impacto. Es la máxima tensión que un material soportará bajo condiciones específicas de altas cantidades de carga uniforme

Resistencia a la Fatiga. Es la máxima tensión que puede ser sustentada para un determinado número de ciclos de tensión sin falla; la tensión siendo completamente invertida entre cada ciclo. El efecto de altos ciclos de carga, tales como 10,000 ciclos/min., causará la falla del material bajo sus conocidas máxima tensión estática y límite de fluencia.

Propiedades Físicas.

Son aquellas propiedades que describen el estado físico de un material o cómo el material se comporta cuando se encuentra bajo la influencia de un fenómeno físico tales como: electricidad calor, luz, etc. Densidad, coeficiente de dilatación y la capacidad de absorción de vibraciones (Damping capacity), son tres propiedades físicas que pueden jugar un papel importante en la consideración de un material en aplicaciones mecánicas o estructurales.

Densidad.

Es la masa o peso de una sustancia por unidad de volumen a una temperatura definida, y sus unidades son generalmente g/cm^3 o lb./in.^3 .

Esta propiedad resulta importante cuando peso o resistencia a un peso dado es una consideración importante de diseño. La densidad de algunos metales en ingeniería son:

Aluminio.....	2.7 g/cc
Titanio	4.5
Tungsteno ...	19.3
Hierro	7.9
Cobre	8.9

El Coeficiente de Dilatación Térmico. Es la razón en el cambio de longitud área o volumen de un material, para un específico aumento de temperatura, a la longitud, área o volumen originales. En otras palabras, un componente mecánico puede mantener rígidas tolerancias dimensionales a ciertas temperaturas elevadas además de tener las mismas condiciones a temperatura ambiente.

Capacidad De Absorción.

Es una medida de la capacidad de un material para absorber

vibraciones o ciclos de tensión, convirtiendo la energía mecánica desarrollada en energía calorífica la cual puede ser disipada entonces en la superficie del cuerpo. La tensión efectuada es similar a la de la fatiga, excepto que la intensidad de carga es considerablemente menor, con la correspondiente frecuencia, sin embargo, siendo más elevada. El resultado final en fatiga es fractura mecánica, mientras que en Damping es pérdida de calor.

En sistemas metálicos, la corrosión es parcialmente un fenómeno químico y parcialmente un fenómeno físico. La resistencia a la corrosión de un metal es su habilidad para resistir deterioración por reacción química o electroquímica en su ambiente. Lo que es más importante es que un metal bajo tensión puede fallar prematuramente, en consideración al nivel de tensión o tiempo predichos, si está sujeto a un ambiente corrosivo.

RESUMEN Y PRUEBAS

Métodos de Ensayo

Densidad.

Como la mayor parte de los materiales sinterizados no son procesados completamente a su total densidad, la materia o porosidad residual debe también ser considerada cuando se define esta propiedad. La densidad de materiales sinterizados es usualmente especificada como un valor absoluto o como un porcentaje de la densidad teórica (densidad relativa).

Para formas que pueden ser fácilmente medidas, ej. especímenes de prueba estandars, la densidad de partes no sinterizadas (green density) y partes sinterizadas (sintered density), pueden

ser determinadas pesando la parte en aire y calculando el volúmen de sus dimensiones. Con formas complejas se sigue el procedimiento que se da a continuación (MPIF 35 - 65), incluidas partes impregnadas y no impregnadas en aceite:

(a) Componentes Mecánicas

$$D = \frac{A}{B - C}$$

(b) Cojinetes Impregnados en Aceite

$$D = \frac{B}{B - C}$$

Donde: D = Densidad, en g/cm³

A = Peso de la muestra sin impregnar, en el aire, en g .

B = Peso de la muestra impregnada en aceite, en g ., y

C = Peso de la muestra impregnada en aceite, en agua, en g

Nota 1. Los pesos A, B y C deberan ser determinados con aproximación de 0.1%

Nota. 2. Cuando los cojinetes son enviados impregnados en aceite, deberán ser pesados al recibirse para determinar pesos B y C.

Nota 3. El efecto de la tensión superficial del agua donde se efectúa el ensayo, deberá ser minimizado agregando un agente tensoactivo a la misma.

(c) Cuando la muestra deba ser impregnada en aceite para determinar los pesos B y C, deberán seguirse cualquiera de los dos métodos siguientes, sin embargo el método 1 es de preferirse, a menos que el fabricante y cliente

acuerden el uso del método 2. El procedimiento 2 podría tener hasta 25% menos de impregnación que el obtenido en el procedimiento 1.

Procedimiento 1.

La presión sobre la muestra después de la inmersión en aceite (de aprox. 200 seg. Saybolt Universal a 37°C. viscosidad) a temperatura ambiente deberá ser reducida a no más de 50.8mm de presión de mercurio por 30 min., después de lo cual la presión deberá ser incrementada a presión atmosférica por 10 min., con la muestra sumergida en el aceite a temperatura ambiente durante todo el ensayo.

Procedimiento 2.

La muestra deberá ser sumergida en aceite cuando menos por 4 h. a la temperatura de $82^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. y después enfriado a temperatura ambiente por inmersión en aceite a temperatura ambiente.

Muestras a las cuales es necesario extraerles el aceite deberán ponerse en el Soxlet, usando en solvente apropiado, tal como ether de petróleo. Después de la extracción el solvente residual deberá removerse calentando la muestra a 121°C . por 1 h. Extracciones alternativas con secado deberán continuarse hasta que el peso seco sea constante para 0.1% (ver Fotos).

Porosidad.

Componentes mecánicos y cojinetes impregnados en aceite.

(a) La porosidad, en términos de espacio poroso intercomunicado

deberá ser calculado como sigue:

$$P = \frac{B - A}{(B - C) \times S} \times 100$$

Donde: P = Porosidad intercomunicante por volúmen, en %
 A = Peso de la muestra sin impregnar, en g .
 B = Peso de la muestra impregnada en aceite, en g .
 C = Peso de la muestra impregnada sumergida en agua, en g . y
 S = Peso específico del impregnante a la temperatura del ensayo.

Nota 1. Los pesos A, B y C se determinarán hasta el más cercano 0.1%.

Nota 2. Cuando los cojinetes son enviados ya impregnados, deberán pesarse así para determinar los valores de B y C.

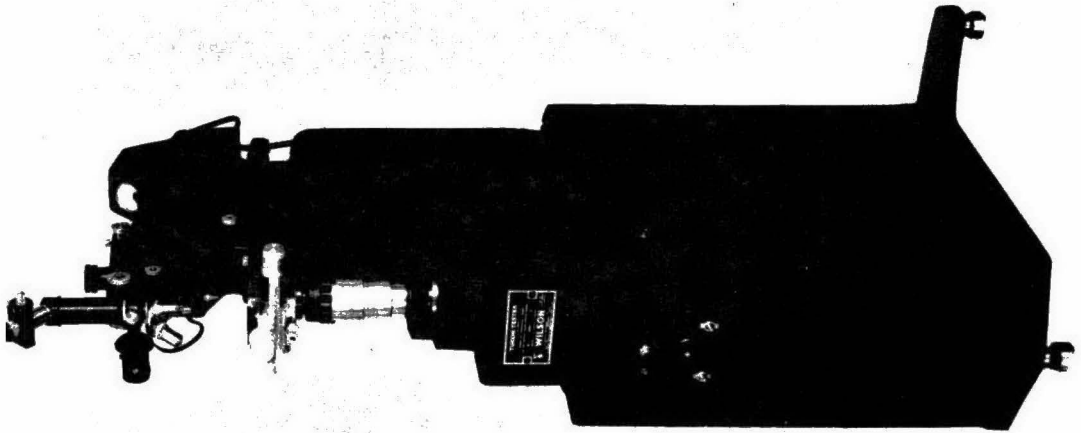
Nota 3. Las muestras que deben librarse del impregnante, lo harán de acuerdo con el método de extracción citado.

(b) La porosidad superficial de cojinetes puede ser determinada, calentando la muestra tal como se recibe a temperatura de no más de 148°C. por un período de no más de 5 min., durante el cual el aceite exudará uniformemente de la superficie del cojinete.

Ensayo de Dureza.

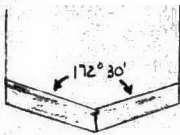
Entre las más difíciles pruebas de interpretar cuando se aplican a partes de polvos metálicos, entán la indentaciones de prueba de dureza que son tan familiares a técnicos que trabajan con aleaciones forjadas.

Figura 6

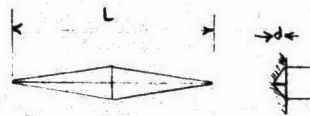
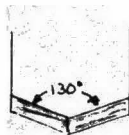


Probador de Dureza
Carga de 25-50,000 gramos

Figura 7



(a) Forma del penetrador



(b) Forma de la Impresión

Microdureza Knoop.

La prueba Brinell queda descartada para probar partes de polvos metálicos, pues la esfera de 10 mm usada como indentador caerá a áreas porosas que están presentes aún en las partes sinterizadas más densas. Esta condición excluye el uso de este probador ya que uno de sus requerimientos es que el material deberá tener cuando menos 10 veces el grosor de la profundidad de la depresión causada por la esfera, y la profundidad de la impresión para tres típicas durezas Brinell puede ser calculada como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla II	D.B.	Diam. Indent.	Prof. Indent.
	143	5.0 mm	0.67
	196	4.3 mm	0.50
	600	2.5 mm	0.11

El probador Rockwell (Ver fig. 6) es frecuentemente usado para reportar valores de dureza relativa para partes de polvos metálicos, aunque tales lecturas son usualmente reportadas como "dureza Rockwell aparente", para diferenciarla entre las lecturas obtenidas en materiales no porosos.

Los probadores de microdureza usando la pirámide de 136° (DPH) o el indentador Knoop (KNH) (ver fig. 7) pueden ser utilizados para obtener lecturas de dureza que son más realistas que las obtenidas en el probador Rockwell. Estos probadores tienen la desventaja de que el espécimen debe ser pulido y estar libre de rayaduras y también la superficie debe estar paralela a la superficie del soporte en que la preparación se encuentra. Como un resultado de estas limitaciones, es necesario, frecuentemente, montar la muestra que está siendo utilizada y esta preparación no solo retarda la prueba sino que también limita el exámen de superficies en la condición en la cual son usadas.

Como se ha venido sugiriendo, el ensayo de dureza es la prueba

más difícil para evaluar composiciones de polvos metálicos. Sin embargo reportando la dureza aparente, el uso del probador Rockwell puede ser ventajoso para el control del proceso, señalando que el método de aplicación de la prueba así como la interpretación de las lecturas estará entendida y acordada entre el diseñador, fabricante y usuario.

La siguiente tabla muestra grosor mínimo del material, requerido para obtener durezas Rockwell precisas para pruebas representativas. Esta tabla muestra claramente porqué las lecturas no reflejan con exactitud la dureza de materiales de polvos metálicos, como también el material más duro, probado con el peso menor en el probador Rockwell Superficial, requiere un espesor mínimo de 0.15mm lo cual es una condición improbable de presentarse en un material que contiene 4.5% de porosidad; como una parte de hierro con 7.4 g/cc densidad o 22% de porosidad tal como un componente con 6.0 g/cc utilizado para baleros.

Tabla III

Espesor requerido para obtener lecturas Rockwell precisas

LECTURA	CONDICION	ESPEJOR MINIMO	EQUIVALENTE
A84	Dura	0.4mm	C65
A60	Suave	0.7	C20
B94	Suave	0.6	-
B28	Suave	1.0	-
C67	Dura	0.6	-
C20	Suave	1.0	-
F98	Suave	0.6	B72
F69	Suave	0.7	B21
45N74	Dura	0.3	C67
45N20	Suave	0.7	C20
30N82	Dura	0.3	C65
30N47	Suave	0.5	C26
15N92	Dura	0.1	C65
15N68	Suave	0.4	C18
45T62	Suave	0.4	B90
45TR	Suave	0.5	B32
30T79	Suave	0.3	B95
30T34	Suave	0.6	B28
15T91	Suave	0.2	B93
15T68	Suave	0.4	B24

Lecturas mucho más precisas pueden obtenerse utilizando probadores de microdureza, con la pirámide de 136° (DPH) o el penetrador Knoop (KNH). La tabla IV muestra la relación entre los dos sistemas usando 1000 g. de carga, aunque estas pruebas de microdureza pueden hacerse con cargas mucho menores. Como la pirámide de 136° tiene una diagonal más corta y produce una impresión más profunda que cuando se utiliza el penetrador Knoop, los requerimientos para pulido y paralelismo no son tan necesarios como con este último. Es por esta razón que la prueba con la pirámide es generalmente preferida como una prueba de rutina.

Contrariamente, como la prueba con el penetrador Knoop requiere menos espesor de material, su probabilidad de caer en un poro es menor y por lo tanto el estandar MPFI 37-65 especifica el uso de penetración Knoop con 500 g. de carga. Este necesita solamente una profundidad de 0.35mm para obtener una lectura satisfactoria de KNH_{500} 540, la cual el estandar considera como el fin de la penetración efectiva de la caja de carburización (effective case depth).

Prueba de Tensión.

Esta prueba consiste en el sometimiento de un espécimen de prueba estandar a tensión con relativamente pequeñas cantidades de carga, hasta que éste falla por fractura. Utilizando instrumentos adecuados, la relación de tensión a deformación puede ser obtenida por medio de una curva durante la duración del ciclo de prueba.

La prueba de tensión provee más información útil para diseño que cualquier otra técnica de prueba mecánica.

Los datos que pueden ser obtenidas incluyen:

- a) Máxima resistencia a la tensión

Tabla IV

Espesores de Metal Requeridos Para Prueba de Microdureza 1000g. de Carga

Equivalente Rockwell "C"	KHN	Longitud Diagonal mm	Profundidad Penetración mm	Espesor Mínimo Requerido mm	DPH	Longitud Diagonal mm	Profundidad Penetración mm	Espesor Mínimo Requerido mm
70	972	.121	.0040	.0406	1076	.0415	.0060	.0635
66	870	.128	.0043	.0434	854	.0466	.0067	.0711
60	732	.1395	.0049	.0560	695	.0516	.0074	.0790
50	542	.162	.0054	.0635	513	.0601	.0086	.0890
40	402	.188	.0063	.0711	393	.0687	.0098	.1016
30	311	.214	.0071	.0790	301	.0785	.0112	.1120
20	251	.238	.0079	.0890	236	.0887	.0127	.1263

Figura 8



Máquina de Tensión

- b) Límite de fluencia tensivo
- c) Elongación
- d) Reducción de área
- e) Módulo de elasticidad
- f) Cociente de Poisson

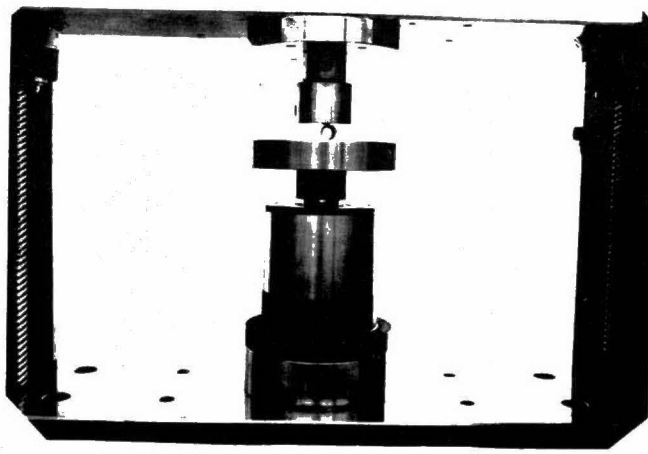
Además, una máquina de tensión puede ser empleada para determinar: Máxima resistencia a la compresión, límite de fluencia compresivo y resistencia al corte (Ver foto).

Aunque elongación y reducción de área no son consideradas como propiedades de diseño, estas son importantes cualidades del material, especialmente éste debe sufrir algún tipo de operación de formado: doblado, forjado en frío, extrusión, etc., ya sea durante el ciclo de manufactura o después como finalizado adicional. La elongación define deformación plástica lineal paralela a la dirección de la aplicación de la carga, mientras que reducción de área es una medida de deformación plástica lateral en sección transversal de una pieza.

Prueba de Compresión.

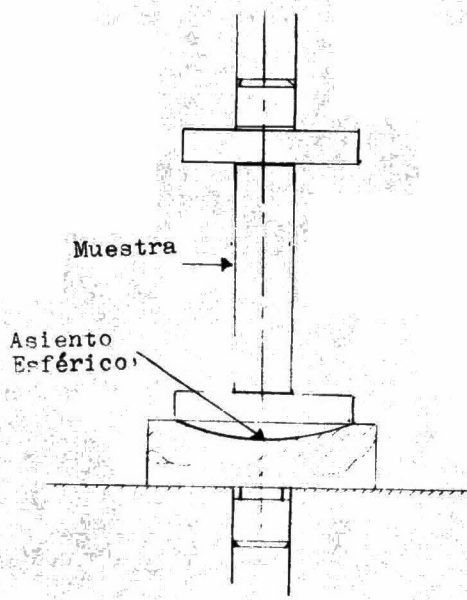
Como fue mencionado anteriormente, algunas máquinas de tensión están construidas de tal forma que la prueba de compresión puede hacerse en el mismo aparato, aunque hay probadores de compresión especiales (Ver fig. 9). En el ensayo de compresión, el espécimen recibe la carga a lo largo de su eje. La fuerza debe ser aplicada por dos caras absolutamente paralelas, las cuales están a 90° en todas direcciones del eje vertical del espécimen (Ver fig. 10). La resistencia a la compresión es calculada dividiendo la carga que causó la falla entre el área original de la sección transversal del espécimen. Cuando el material no falla por rompimiento fragmentario, la resistencia

Figura 9



Aditamento Para Prueba
A La Compresión

Figura 10



Prueba de Compresión con Aditamento Auto-Alineante

de compresión será la carga máxima requerida para causar una deformación previamente determinada, dividida entre el área de sección transversal, asumiendo que no hay pandeo o expansión lateral.

El espécimen puede ser un cilindro de 28.6mm D y 25.4mm largo, o bien un prisma recto con bases de 10mm y lados verticales que son paralelogramos de 25.4mm altura. En general, la razón del largo total al diámetro no debe exceder 3:1 si el pandeo debe ser evitado.

El ensayo de compresión se usa cuando la resistencia a la tensión de un material quebradizo, como hierro colado gris, no puede ser obtenido por tensión. El ensayo no es aplicable a materiales dúctiles.

Ensayo de Resistencia al Impacto.

La necesidad de definir la calidad de la tenacidad de un material y desarrollar un método propio para medirla ha sido durante muchos años de lo más esencial, y también de lo más frustrante. Como resultado de los diferentes problemas en materiales que surgieron en la segunda guerra mundial, el probador de péndulo adquirió prominencia, principalmente a causa de que ninguna otra técnica tenía aceptación universal antes de éste tiempo. El ensayo consiste en el rompimiento de un espécimen rectangular, sostenido rígidamente, haciendo pendular un martillo, que tiene un peso especificado así como también una velocidad determinada (Ver fig. 11).

Los ensayos Charpy e Izod, que emplean un tipo de muesca dada (normalmente un corte en forma de V), han sido los métodos más aceptados de medida de resistencia al impacto para el acero.

FIGURA 11.

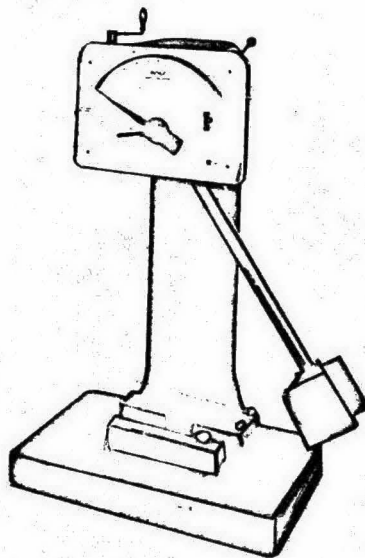


FIGURA 12 a. Espécimen Charpy Con Muesca V

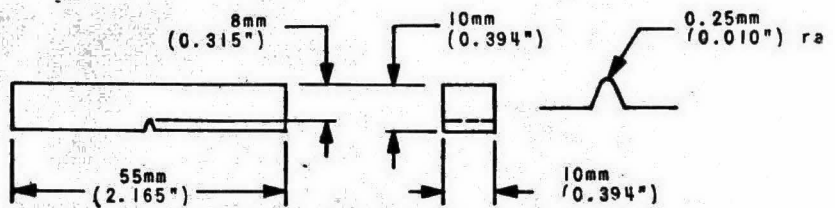


FIGURA 12 b. Espécimen Izod Con Muesca V

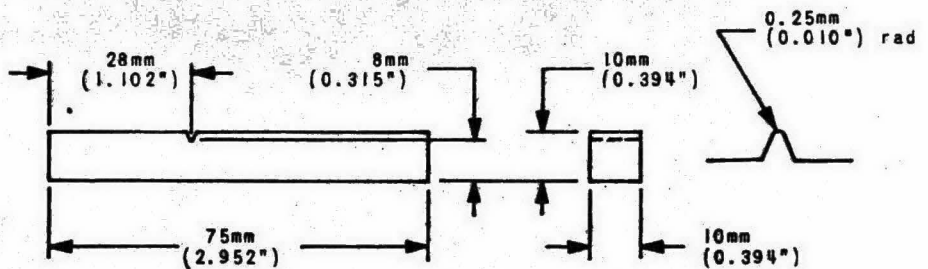


FIGURA 11.

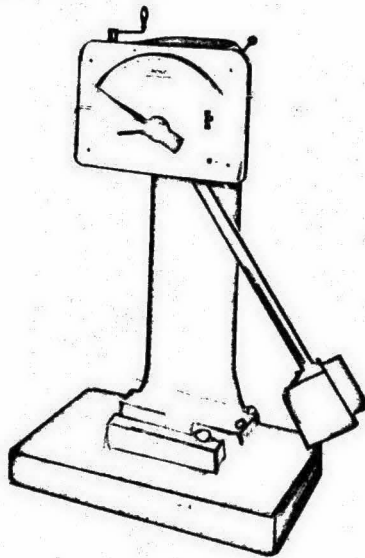


FIGURA 12 a. Espécimen Charpy Con Muesca V

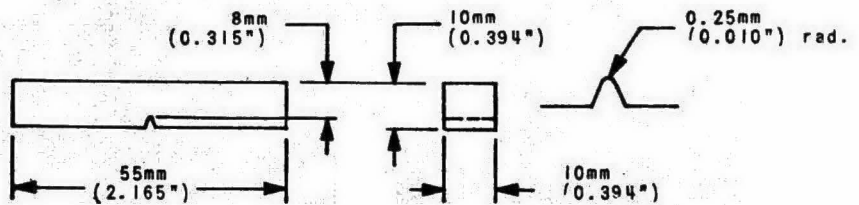
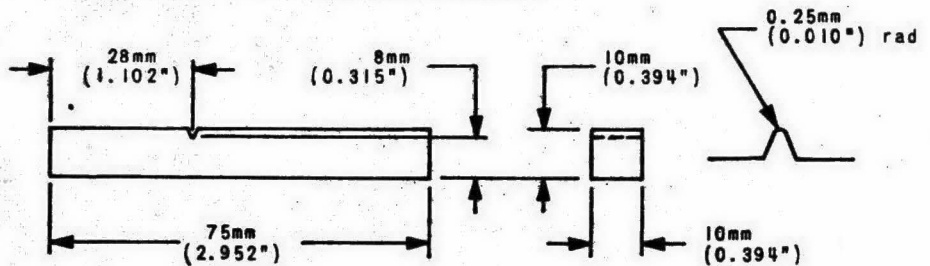


FIGURA 12 b. Espécimen Izod Con Muesca V



En el presente la MPFI está en el proceso de adoptar una barra de ensayo sin muesca, de 10 mm x 10 mm x 75 mm, la cual puede ser indistintamente evaluada en probadores Charpy o Izod. Desafortunadamente el ensayo de balanza no es una prueba cuantitativa y como resultado hay muchas variaciones sobre el mismo tema Charpy e Izod, dependiendo del material que está siendo probado. En el ensayo de acero sinterizado teniendo alta cedencia a la tensión, el ensayo de Charpy con muesca en V es inoperable ya que todo material falla entre .13 y .40 mKg. El mismo ensayo utilizando especímenes no ranurados, sin embargo, parece ser sensitivo y reproducible, con valores de energía variando entre .40 y 5.5 mKg , dependiendo en el análisis químico, densidad y dureza del material sinterizado. (Ver fig.12)

Ensayo de Fatiga.

Hay cuatro métodos para prueba de fatiga usados para determinar el límite de fatiga o resistencia del metal.

- 1) Brazo rotacional
- 2) Combado en reversa
- 3) Jalar y empujar
- 4) Vibratorio

Solo los dos primeros se emplean para probar materiales sinterizados. En el ensayo de brazo rotacional, la carga es aplicada en un sistema de ménsula simple (máquina Krouse) o en sistema de pandeo en cuatro puntos (máquina R.R. Moore). Los resultados obtenidos en ambas máquinas pueden ser comparados favorablemente. La mayoría de la información en la industria del acero ha sido obtenida con la máquina R.R. Moore, pero la industria de pulvimetalurgia ha encontrado la máquina

Krouse más ajustable ya que requiere menos inversión y utiliza una probeta de ensayo más simple (Ver fig.13,14). Ambas máquinas tienen alta velocidad, capaces de rotar hasta 10 - 12,000 rpm. Las probetas de ensayo, sin embargo no pueden ser prensadas directamente a su forma final y por lo tanto requieren maquinado a partir de una preforma sinterizada.

La tensión es calculada de la siguiente forma:

$$T = \frac{32M}{D^3} = \frac{10.2 M}{D^3}$$

Donde: T = Nivel de tensión de pandeo deseado en el espécimen en la sección transversal mínima, en Kg/mm²

M = Balance de pesos, mKg

D = Diámetro del espécimen en la sección transversal mínima en milímetros

El ensayo de doblamiento invertido o combado en reversa, es también empleado en probar partes sinterizadas para medir su límite de fatiga. Su principal ventaja es que la probeta de ensayo puede ser fabricada directamente del polvo a su forma final. El rango de carga aplicada, (1800 ciclos/min.) sin embargo, es mucho más bajo que el de las máquinas rotativas. El grado de exactitud para colocar la carga deseada es también menos preciso (Ver fig.15).

La tensión puede ser calculada de la siguiente manera:

$$T = \frac{MC}{I} = \frac{M}{Z} = \frac{F.L}{Z}$$

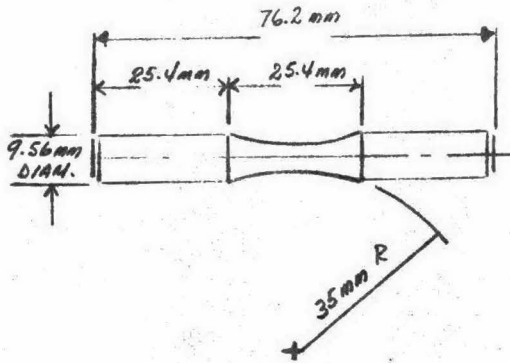


Figura 13.

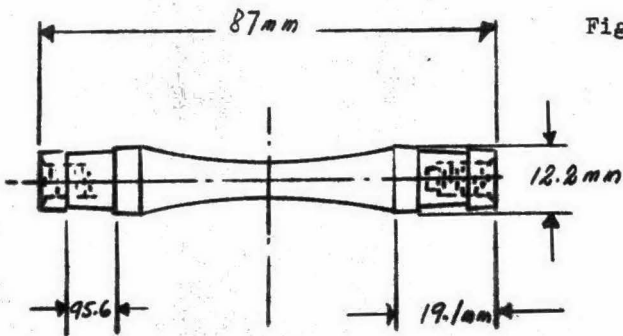


Figura 14

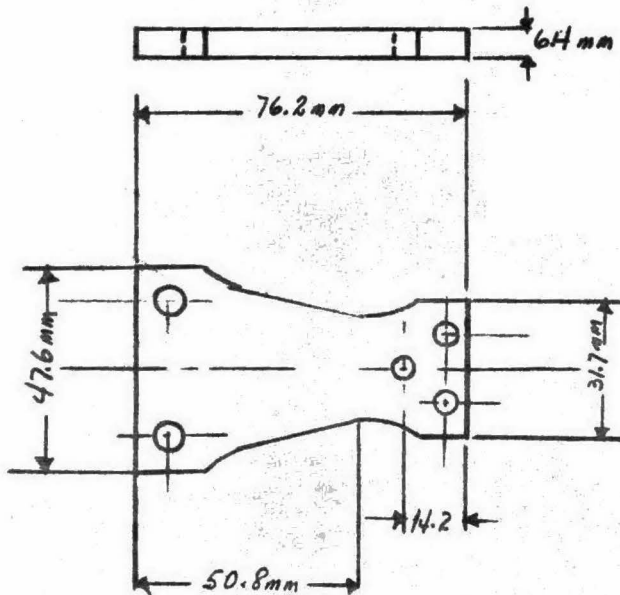


Figura 15

Propiedades Mecánicas.

Las siguientes tablas dan una comparación de las propiedades de tensión y fluencia de los materiales sinterizados y fundidos-forjados más comúnmente usados.

Tabla V

Metales No Ferrosos Y Aleaciones

	<u>Resistencia a la Tensión Kg/mm²</u>	<u>Límite de Fluencia Kg/mm²</u>	<u>Densidad g/cc</u>
Cobre sinterizado	14 - 24.5	10.5-15.4	7.2-8.5
Cobre forjado	22.5	7.3	8.9
90/10 Bronce sinterizado	7.3-14.7	6.6-13.3	5.8-7.2
90/10 Bronce forjado	28 - 35.2	7.3-14.1	8.8
80/20 Latón sinterizado	16.8-22.5	8.4-11.2	7.2-8.0
80/20 Latón forjado	28 - 35.2	8.4-14.1	8.7
64/18/18 Niquel-Silver sinterizado	21.1-26.0	11.2-12.7	7.5-8.0
65/18/17 Niquel-Silver forjado	39.4-40.6	17.6	8.7

Tabla VI

Materiales Ferrosos Forjados y Fundidos

	<u>Resistencia a la Tensión Kg/mm²</u>	<u>Límite de Fluencia Kg/mm²</u>
Hierro gris	14 - 42.3	---
Hierro maleable y Nodular, H.T	42.3- 84.0	28.2- 66.2
Acero al carbón y de baja aleación, H.T	106 - 212	-183
Acero inoxidable, AISI 410, a	46.5- 52.6	24.6- 28.2
304 y 316, a	56.3- 66.2	21.1- 24.6

Tabla VII

Materiales Ferrosos, Sinterizados

	<u>Densidad</u>	<u>Resistencia a la Tensión</u>	<u>Límite de Fluencia</u>
Acero al Carbono, H.T	5.9-7.1	21.1- 56.2	12.7- 29.6
Acero-Cobre, H.T	6.0-7.3	35.2-106	35.2- 91.4
Acero Infiltrado, H.T	7.1 mín.	70.3- 88	70.3- 88
Acero, Baja Aleación, H.T	6.4-7.4	56.2-140.6	98.6-123
Aceros Especialmente Procesados, H.T	7.6-7.8	169 -212	---
Acero Inoxidable, 410, a	5.9-6.4	29.6- 45.8	28.9- 38
304 y 316, a	6.0-7.1	24.6- 52.7	22.5- 35.2

Nota: a - Condición: Recocido

H.T - Condición: Tratado Térmicamente

APENDICE I

En esta parte se ilustran gráficamente algunas propiedades físicas de una serie de probetas metalográficas fabricadas con el material y procedimiento siguientes:

Material: Hierro tipo Easton RZ 4600

Flujo del Polvo	31.5 seg.	(Ensayo MPA 3-45)
Densidad Aparente	2.68 g/cc	(Ensayo MPIF 4-45)
Análisis de Malla		(Ensayo MPIF 5-62)

Malla	Retenido
+100	5.72%
+150	13.31
+200	16.25
+250	6.58
+325	18.09
-325	<u>39.20</u>
Aleación	99.15%

Se fabricó una aleación consistente en 97% RZ 4600, 2% Cu, 1% grafito. Mezclándose durante 10 minutos y habiendo empleado 1% de estearato de zinc como lubricante.

Manufactura de las Probetas

Se prensaron probetas con la aleación anterior, en las condiciones siguientes:

Probeta#	1	2	3	4	5	6	7	8
Presión TSI	20	20	30	30	40	40	50	50

y sinterizadas de la forma siguiente:

Horno	Tipo continuo de banda
Temperatura	760°C.
Atmósfera	NH ₃
Velocidad Banda	5cm/min.
Tiempo	20 min.

Las mismas probetas fueron forjadas y resinterizadas en las condiciones siguientes:

Probeta#	1	2	3	4	5	6	7	8
Presión TSI	20	20	30	30	40	40	50	50

Temperatura	1120°C.
Atmósfera	Endogas
Velocidad Banda	15cm/min.

Obteniéndose los resultados mostrados en las cuatro gráficas siguientes.

APENDICE II

El grado de sinterización de todos los materiales en pulvi-metalúrgia juega una parte extremadamente importante en la obtención de buenas propiedades físicas y mecánicas.

Las siguientes fotomicrografías ilustran partes de cobre, bronce, latón, hierro-cobre y hierro-carbon; con diferente grado de sinterización.

También se incluyen ejemplos de infiltración completa e incompleta de partes de hierro-carbono.



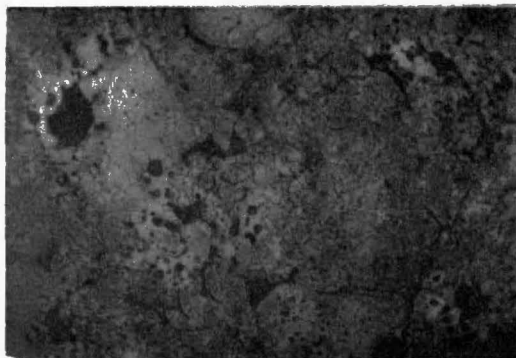
Cobre Puro Mal Sinterizado - 200X



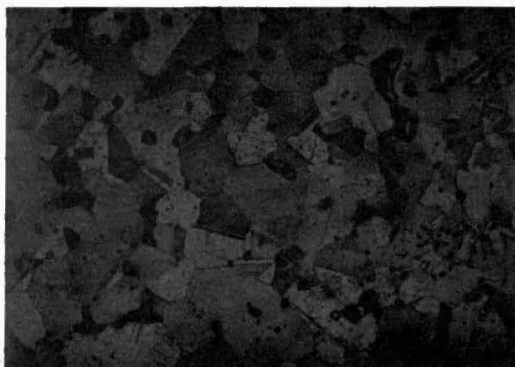
Cobre Puro Bien Sinterizado - 200X

La fotomicrografía de arriba ilustra sinterización incompleta de una parte de cobre puro. La forma original de la partícula de cobre es evidente, indicando tiempo o temperatura insuficientes para la completa coalescencia de los granos. Este tipo de estructura mostrará bajas resistencia a la tensión, ductilidad, conductividad eléctrica y maquinabilidad.

La fotomicrografía de abajo es un ejemplo excelente de una parte de cobre puro propiamente sinterizada.



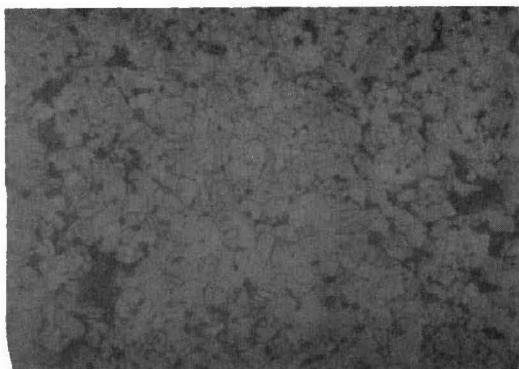
Bronce Mal Sinterizado- 200X



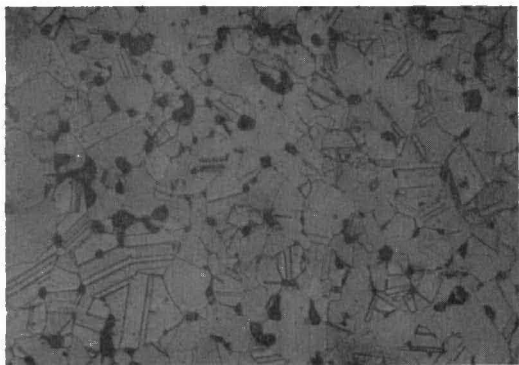
Bronce Bien Sinterizado - 200X

Las fotomicrografías mostradas ilustran mezclas de cobre-estaño propia e impropriamente sinterizadas. En las primeras etapas de sinterización el estaño metálico se funde y se difunde en el cobre. En la pobre sinterización ilustrada arriba, el estaño se ha fundido y la formación de bronce alfa ha comenzado apenas. Puede apreciarse en el centro a la izquierda un área rica en estaño y en el centro hacia la derecha un área larga rica en cobre. La forma original de la partícula se ha retenido.

La parte de bronce bien sinterizada, ilustrada abajo, tiene una microestructura consistente en granos largos de bronce alfa. Tiene un tamaño promedio de grano de 22 micras, y no hay áreas ricas de cobre ni estaño.



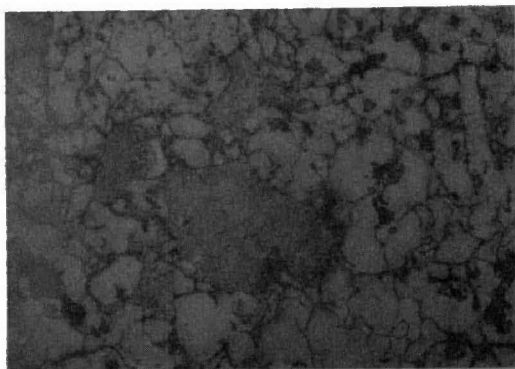
Latón Mal Sinterizado - 200X



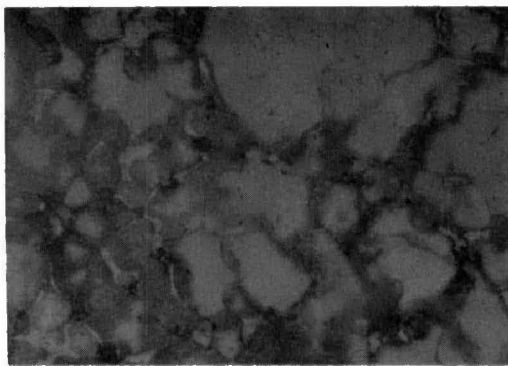
Latón Bién Sinterizado - 200X

La fotomicrografía de arriba ilustra polvo de latón pobremente sinterizado. Granos extremadamente pequeños y poros angulares pueden ser observados. Esta parte tendrá resistencia a la tensión y ductilidad extremadamente pobres.

La ilustración de abajo muestra una parte de latón bién sinterizada.



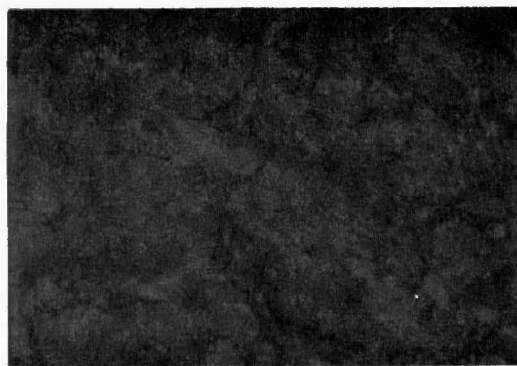
Hierro-Cobre Mal Sinterizado - 200X



Hierro-Cobre Bien Sinterizado - 200X

En la fotomicrografía de arriba puede verse que nada del cobre se ha aleado con el hierro. El cobre se ha fundido y llenado los poros, pero la difusión no ha tomado lugar. Los límites de la ferrita son substancialmente los límites originales de las partículas.

El material de hierro-cobre bien sinterizado ilustrado abajo muestra difusión del cobre en el hierro alrededor de la periferia de las partículas de ferrita. Algo de cobre libre permanece entre las partículas, lo cual añade resistencia a la parte bien sinterizada.



Hierro-Carbono Mal Sinterizado 600X



Hierro-Carbono Bien Sinterizado 600X

La fotomicrografía de arriba ilustra una parte de hierro-carbón mal sinterizada. Aunque el carbón combinado es de aproximadamente .65%, la forma original de las partículas de hierro son aún evidentes, indicando insuficiente sinterización.

La ilustración de abajo muestra una parte de hierro-carbón bien sinterizada. El carbón combinado es aproximadamente .75%. Este tipo de estructura producirá lo máximo en resistencia a la tensión, dureza, resistencia al desgaste y condiciones óptimas para ser tratada térmicamente.



Hierro-Carbono Mal Infiltrado 600X



Hierro-Carbono Bien Infiltrado 600X

La fotomicrografía superior ilustra infiltración incompleta de una parte de hierro-carbón. Son evidentes los grandes poros vacíos. Una parte no infiltrada a este grado tendrá pobre resistencia a la tensión, extremadamente pobre ductilidad, no tendrá resistencia a la presión y no será posible cromarla (p.ej.) debido al entrapamiento de ácidos en los poros.

La ilustración inferior muestra excelente infiltración. Virtualmente no hay poros vacíos. La estructura perlítica, sin embargo, es excelente en ambos casos.

BIBLIOGRAFIA

De Groat, George H., Tooling for Metal Powder Parts, American Society of Tool Engineers, 1958.

Forss, S.L., "Some Aspects of the Sintering of Iron Powder", estudio presentado en la International Powder Metallurgy Conference del 14-17 junio 1965.

Hardy, Ch., "The Fundamentals to Apply Powder Metallurgy", symposium on Powder Metallurgy, A.S.T.M., 1943.

McGee, S.W. y Andreotti, Sintered Metals in Engineering Design, Burgess-Norton Mfg.Co., 1965.

Schneider, P.V., "Inspection of P/M Materials", International Journal of Powder Metallurgy, Vol.5, No.4, 1969.

Tikkanen, M.H., "On the Mechanism of Sintering", estudio presentado en la International Powder Metallurgy Conference del 14-17 de junio 1965.

Wulff, J., Powder Metallurgy, Am.Soc.Met., Cleveland, Ohio, 1942.