

TEMA 26

SINTERIZACIÓN

Generalidades.

La conformación por sinterización se realiza reduciendo los metales y aleaciones a polvo finísimo, y comprimiendo después estos polvos en moldes adecuados y a una temperatura determinada.

Por tanto, la fabricación por este procedimiento se realiza en tres fases:

Fabricación de los polvos metálicos.

Compresión en frío de los polvos metálicos.

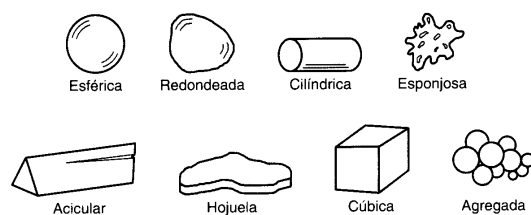
Sinterizado.

Estas dos últimas operaciones se realizan a veces simultáneamente, denominándose entonces la operación sinterización a presión o compresión en caliente.

Fabricación de Polvos Metálicos.

La primera operación de la conformación por sinterización, es la producción de los polvos del material elegido y de las características adecuadas a este proceso. Los procedimientos actualmente empleados para la producción de polvos metálicos son de dos clases procedimientos

FIGURA 18.3 Varias formas posibles (ideales) de partícula en metalurgia de polvos.



mecánicos y procedimientos físico-químicos.

Los procedimientos mecánicos, más empleados para la fabricación de polvos metálicos son el molido y la atomización.

Molido.

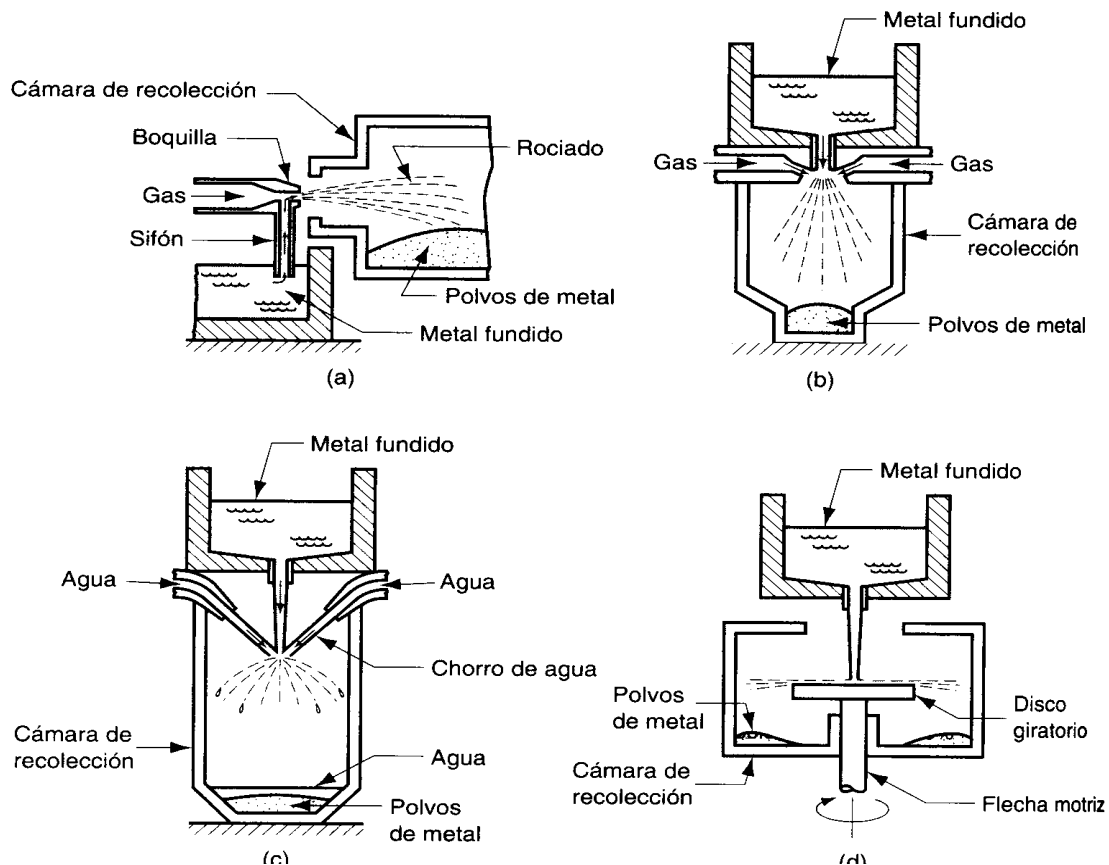
El molido se realiza solamente con materiales frágiles como el manganeso o el cromo, pues los metales dúctiles se aglutinan. Se emplean molinos de martillos de bolas, y aun mejor especiales como el Hametag compuesto de dos hélices opuestas que provocan el choque de dos

corrientes gaseosas. De todas maneras la molienda es un procedimiento de bajo rendimiento y solo se emplea como método complementario de otros procedimientos. Después de producir los polvos metálicos tenemos que seguir estos tres pasos: 1) combinación y mezclado de los polvos; 2) compactación, en la cual se prensan los polvos para obtener la forma deseada; y 3) sinterizado que implica calentamiento por debajo del punto de fusión para provocar la unión de partículas en estado sólido.

Atomización.

La atomización se realiza dirigiendo una corriente de aire muy violenta o vapor de agua a presión sobre un chorro de metal fundido se le conoce con el nombre de atomizado por agua y es el más común y apropiado para metales que funden sobre los 1600°C . Puede ser aplicado este procedimiento a la mayor parte de los metales y aleaciones. Pero se utiliza, sobre todo, para la producción de polvos de hierro, de estaño, de cinc, de plomo, de cadmio y de bronce.

FIGURA 18.5 Varios métodos de atomización para producir polvos metálicos: (a) y (b) dos métodos de atomización por gas; (c) atomización con agua y (d) atomización centrífuga por el método de disco giratorio.



Hay muchas maneras de crear el rocío del metal fundido en la figura se ilustran varias de ellas. En (a) el gas fluye a través de una boquilla de expansión, succionando el metal líquido que se encuentra debajo y rociándolo en un recipiente. Las gotitas se solidifican en forma de polvo. En (b) el metal fundido fluye a través de una boquilla y se atomiza inmediatamente por chorros de aire. Los polvos metálicos se recogen en una cámara situada debajo. En (c) es similar a (b) pero utiliza una corriente de agua a alta velocidad en lugar de aire.



La desventaja de usar agua es la oxidación en la superficie de las partículas. Una reciente innovación usa aceite sintético en lugar de agua para reducir la oxidación.

Los procedimientos físico-químicos, para la fabricación de polvos metálicos comprenden los siguientes métodos: reducción de óxidos, electrólisis, descomposición térmica, condensación y corrosión intercrystalina.

Reducción de óxidos.

Con este método se producen primero polvos de los óxidos de los metales, que en general son frágiles, y se fragmentan con más facilidad que los metales puros. Después se reducen los óxidos, a temperaturas inferiores a la de fusión del metal, con un reductor, como hidrógeno, óxido de carbono, etc. El polvo obtenido es muy fino. Se utiliza este procedimiento para la obtención de polvos de hierro partiendo de minerales suecos o de cascarilla de hierro. Y, sobre todo es el único procedimiento aplicable para la obtención de polvos de materiales refractarios, como wolframio y molibdeno.

Electrólisis.

Se prepara una celda electrolítica en la cual la fuente del metal a pulverizar es el ánodo. El ánodo se disuelve lentamente por la acción del voltaje aplicado, se mueve a través del electrolito y se deposita en el cátodo. El depósito se retira, se lava y se seca, obteniéndose un polvo metálico de alta pureza. Con la electrólisis podemos obtener polvos de berilio, cobre, hierro, plata, tantalio y titanio.

Descomposición Térmica.

La descomposición térmica de los carbonilos obtenidos haciendo pasar óxido de carbono sobre un metal esponjoso a la presión y temperatura adecuada produce polvos muy puros, esféricos y de gran finura. Pero por el elevado precio a que resulta este procedimiento, sólo se aplica a fabricaciones muy especiales, como la de imanes de hierro y níquel.

Condensación.

La condensación de los metales puestos en estado de vapor, da polvos muy finos, de formas esféricas, cuyo óxido superficial impide su coalescencia en su enfriamiento. Por este procedimiento se fabrican polvos de cinc.

Corrosión Intercristalina.

La corrosión intercrystalina se emplea con los aceros austeníticos del tipo 18-8, cargados voluntariamente de carbono, para que a la temperatura de recocido de 500° a 750° se produzca una importante precipitación de carburos en los bordes de los granos. Después se ataca al acero con una solución de 10 % de sulfato de Cobre ($\text{SO}_4 \text{Cu}$) y 10 % de ácido sulfúrico ($\text{SO}_4 \text{H}_2$), que disuelve los carburos formados. Y finalmente se elimina el cobre depositado sobre los granos, con un lavado de ácido nítrico. Este procedimiento se utiliza para la producción de piezas sinterizadas de acero inoxidable.

Compresión en Frío de los Polvos Metálicos.

La compresión en frío de los polvos metálicos se realiza en matrices de acero templado o de carburo de wolframio, por medio de prensas hidráulicas o mecánicas. Las presiones utilizadas varían de 1 a 50 Tm, según la plasticidad del metal a moldear y la densidad del producto que se desea obtener.

La compresión produce una especie de soldadura en frío de los granos en polvo puestos en contacto íntimo hasta llegar a hacer ligazones atómicas entre los átomos superficiales.

Cuanto mayor es la unión, mayor es la compresión que se produce en el polvo hasta un cierto límite.

SINTERIZACION.-

La sinterización consiste en calentar las piezas preformadas por compresión hasta lograr una soldadura total de la masa. La temperatura de sinterización debe ser lo suficientemente alta para que el aumento de movilidad de los átomos superficiales de cada partícula produzca un aumento de sus superficies de contacto, hasta conseguir una red cristalización total, que haga desaparecer los límites de cada partícula y queden englobadas en una masa total.

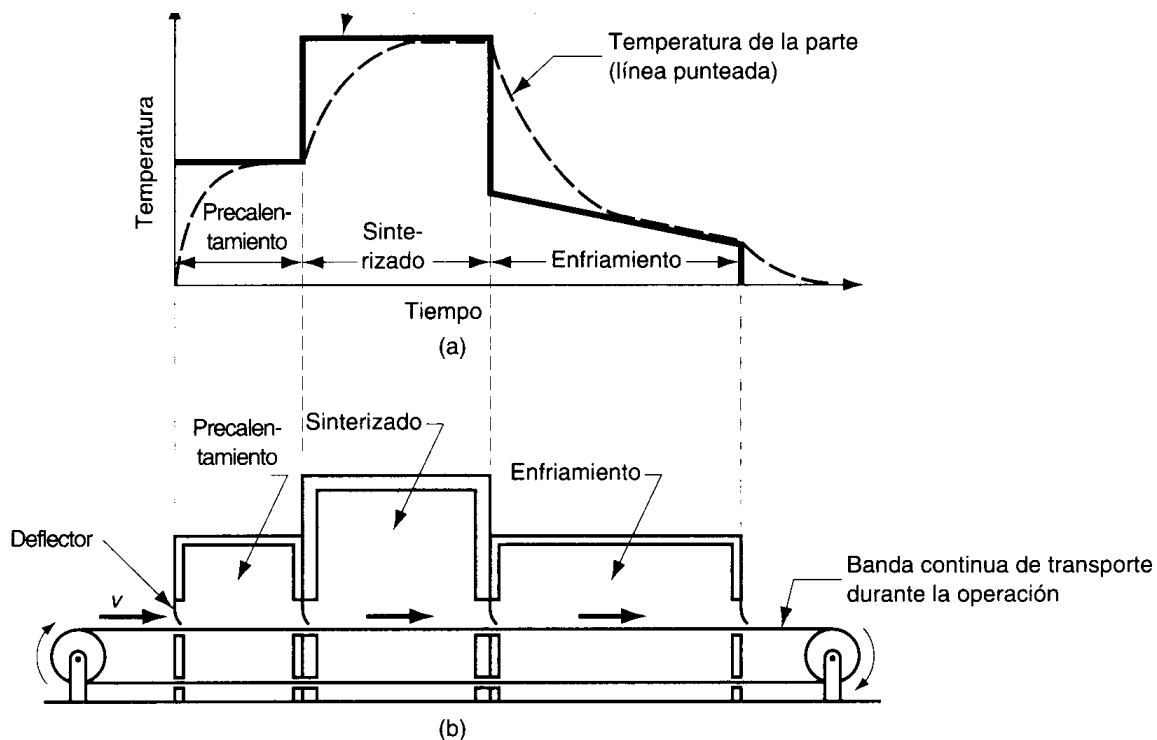


FIGURA 18.13 (a) Ciclo típico de tratamiento térmico durante el sinterizado y (b) sección transversal esquemática de un horno continuo de sinterizado.

Cuando se trata de sinterizar mezclas de polvos de diferentes metales con distintas temperaturas de fusión, la temperatura de sinterización puede ser superior a la de fusión de algún



metal, lo que acelera la difusión de los componentes y permite obtener verdaderas aleaciones de características físicas y mecánicas muy parecidas a las aleaciones masivas correspondientes. No conviene, sin embargo, que la parte fundida en la sinterización sea superior a un 30 % de la masa total para evitar deformaciones de las piezas.

La duración de la sinterización depende de la temperatura a que se lleve a cabo, pudiendo ser más alta cuanto más cerca esté del punto de fusión. En general, se eligen temperaturas comprendidas entre los 2/3 y los 3/4 de la temperatura absoluta de fusión con tiempos de sinterización comprendidos entre quince minutos y dos horas. Estos tiempos no deben ser muy largos, para evitar el crecimiento de los granos.

A veces la sinterización tiene lugar en la atmósfera gaseosa reductora, como, por ejemplo, de hidrógeno, con objeto de destruir las películas de óxido formadas en la superficie de las partículas, lo que favorece la sinterización del comprimido.

El tipo de horno más empleado es el continuo, con atmósferas controladas para impedir la oxidación de los polvos. Generalmente se emplea el hidrógeno obtenido por la disociación del amoníaco. En los hornos de sinterización pueden distinguirse tres zonas, en las que se realiza el el tratamiento termico 1ª zona precalentamiento, en el cual se queman los lubricantes y aglutinantes en la 2ª zona sinterizado y el enfriamiento en la 3ª zona. La misión de la atmósfera controlada es: 1) proteger de la oxidación 2) proporcionar una atmósfera reductora para remover los óxidos existentes, 3) suministrar una atmósfera carburizadora, 4) ayudar a la remoción de los lubricantes y aglutinantes que se utilizan en el prensado. Las atmósferas de los hornos de sinterizado son: de gas inerte, basadas en nitrógeno, de amoníaco disociado y de hidrógeno. Las atmósferas al vacío se usan para aceros inoxidable y el tungsteno.

Si las temperaturas de sinterización no pasan de 1.100°, puede equiparse estos hornos de un dispositivo transportador automático, para la producción continua de las piezas sinterizadas.

Compactación.

Se aplica a alta presión a los polvos para darles la forma requerida por prensado, punzones opuestos aprietan el polvo contenido en un molde, a la parte después de prensada se le llama compacto en verde, el término verde significa que la parte no está completamente procesada.

La densidad de la parte, llamada densidad verde, es mucho mayor que la densidad volumétrica inicial. La resistencia verde de la parte cuando es prensada es adecuada para el manejo, pero mucho menor que la resistencia que se logra después del sinterizado.

La presión que se aplica en la compactación produce inicialmente un empaquetamiento, elimina los posibles huecos, reduce los poros e incrementa el contacto entre partículas. Al incrementarse la presión, las partículas se deforman plásticamente ocasionando que el área de contacto aumente y entren en contacto partículas adicionales. Se utilizan prensas mecánicas o hidráulicas.

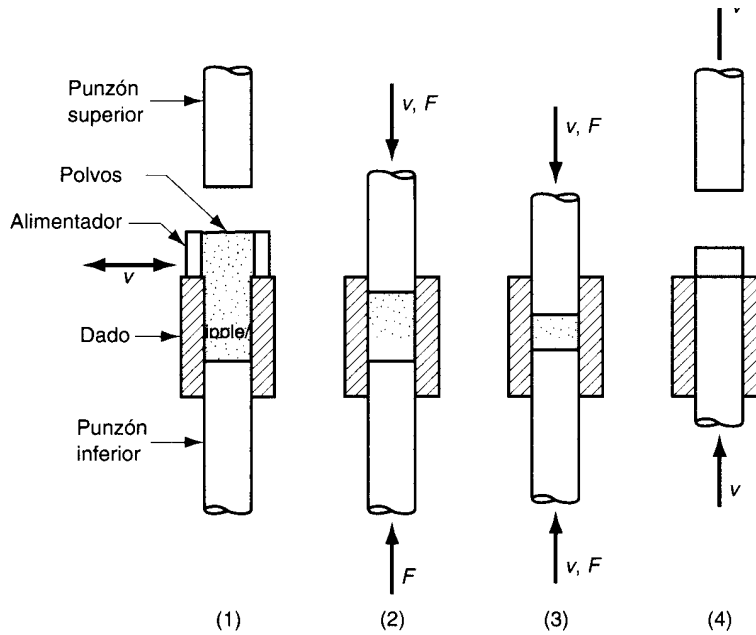


FIGURA 18.9 Prensado, método convencional de compactación de polvos metálicos en metalurgia de polvos: (1) llenado de la cavidad del molde con polvos, por alimentación automática en la producción; (2) posición inicial, (3) final de los punzones durante la compactación y (4) remoción de la parte.

Densificación y dimensionamiento.

El reprensado es una operación de prensado en la cual se aprieta la parte en un dado cerrado para aumentar la densidad y mejorar las propiedades físicas. El dimensionamiento es la compresión de una parte sinterizada para mejorar su precisión dimensional. El acuñado es una operación de prensado sobre una parte sinterizada para imprimir detalles en su superficie..

Algunas partes sinterizadas requieren un mecanizado posterior. Rara vez se utiliza el mecanizado para dimensionar las partes, mas bien para crear características geométricas que no se puede lograr por prensado, como son perforaciones laterales y otros detalles.

Impregnación.

Es el termino que se usa cuando se introduce aceite u otro fluido dentro de los poros de una parte sinterizada, como por ejemplo rodamientos impregnados con aceite. Los tratamientos se realizan mediante inmersión de las partes sinterizadas en un baño caliente de aceite.

Infiltración.

Es una operación en la cual se llenan los poros de las partes con un metal fundido, el punto de fusión del metal de relleno debe de ser menor. Se calienta el metal de relleno en contacto con el componente sinterizado de manera que la acción de la capilaridad haga fluir el relleno dentro de los poros.



Laminación de polvos.

Los polvos pueden comprimirse en una operación de laminado para formar material metálico en tiras, se puede operar de forma continua o semicontinua. Los polvos metálicos se compactan entre dos rodillos para formar una tira verde que se alimenta directamente a un horno de sinterizado, después se enfría, se lamina y se sinteriza.

Extrusión de polvos.

El polvo inicial puede tener formas diferentes, se colocan al vacío en una lata de lámina metálica hermética, se calienta y se extruye junto con el recipiente. Con este procedimiento se alcanza un alto grado de densificación.

Compresión en caliente.

Para obtener productos muy compactos se puede combinar en una sola operación, denominada compresión en caliente, la compresión en frío y la sinterización posterior. Para esto, el polvo metálico se comprime en una matriz de acero refractario, que es calentada por el efecto Joule y simultáneamente comprimida. La operación es muy rápida, pero el utillaje es muy caro y el rendimiento pequeño. Por esto no se aplica este procedimiento más que para la obtención de hileras para el trefilado de carburo de wolframio.

Operaciones de acabado.

Las contracciones y deformaciones producidas en el curso del sinterizado y el enfriamiento posterior obligan a someter algunas piezas terminadas a ligeras operaciones de rectificado, para darles las dimensiones exactas.

También pueden someterse las piezas sinterizadas a tratamientos térmicos, como temple, revenido, cementación, nitruración etc, y tratamientos superficiales para evitar la corrosión.

Principales Aplicaciones de la Conformación por Sinterización.

La conformación por sinterización se aplica, principalmente, para la fabricación de los siguientes productos:

a) Piezas difíciles de moldear por fundición, forjar o mecanizar como los imanes de alnico, que se obtienen por sinterización en su forma definitiva.

b) Plaquetas y herramientas de metal duro Widia patentado por Krupp en 1927, que es un compuesto de carburo de wolframio, titanio y vanadio y de cobalto que le sirve de liante.

d) Cojinetes autolubricados, también porosos, formados por bronce sinterizado, cuyos poros representan el 30% del volumen total del cojinete. Después de su impregnación con aceite lubricante, hecha en vacío a 70°, queda embebida en la masa del cojinete aceite suficiente para toda la vida de la máquina. Estos cojinetes son relativamente económicos y de funcionamiento muy silencioso. Cuando la máquina funciona, la elevación de temperatura contribuye a la destilación del aceite, y al parar es reabsorbido por capilaridad.

e) Productos en grandes series. Por medio de la conformación por sinterizado se puede realizar económicamente la fabricación en grandes series de piezas terminadas o casi terminadas, como engranajes, piezas de máquinas de calcular, de armería, etc.

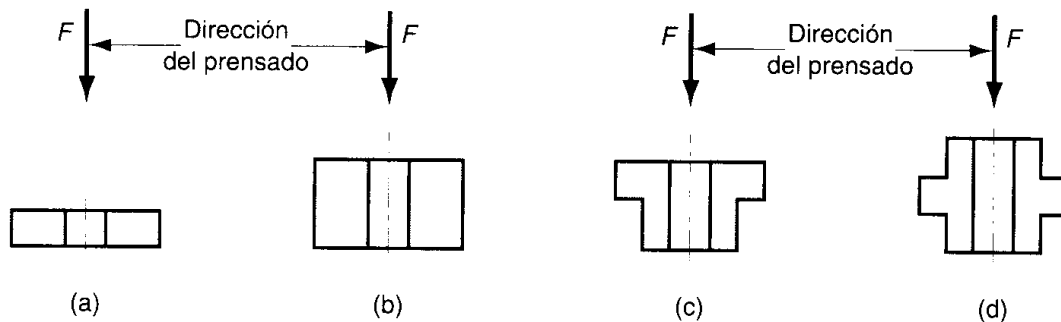


FIGURA 18.16 Cuatro clases de partes en metalurgia de polvos (vista lateral, la sección transversal es circular): (a) clase I, formas delgadas simples que se pueden presionar en una dirección; (b) clase II, formas simples, pero más gruesas que requieren presión en dos direcciones; (c) clase III, dos niveles de espesor presionados en dos direcciones; y (d) clase IV, múltiples niveles de espesor presionados en dos direcciones, con controles separados para cada nivel a fin de lograr una densificación apropiada a través de la compactación.

Limitaciones de la conformación por sinterizado.

La conformación por sinterizado está limitada:

1 - Por las dimensiones de las piezas. La potencia de las prensas empleadas para la compresión de polvos metálicos no pasa habitualmente de 500 Tm. lo que representa unos 100 cm² de sección de pieza a comprimir.

2 - Por la forma de las piezas. que debe ser siempre sencilla, para que sea más fácil su compresión. En general, hay que tener en cuenta:

- a) Que las piezas muy largas resultarán menos comprimidas en el extremo opuesto al pistón o en el centro, si se comprimen por ambos lados y por tanto, tendrán peores características mecánicas en estas zonas.
- b) Que no hay dificultad con matrices y punzones apropiados en obtener piezas con huecos u orificios en la dirección del prensado, pero los orificios en otras direcciones deben ser realizados en la pieza ya fabricada.
- c) Que las piezas cónicas o de paredes inclinadas deben prensarse de manera que quede en contacto con el pistón la base mayor.

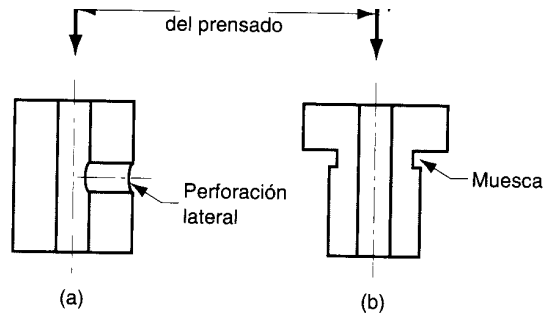


FIGURA 18.17 Formas de las partes que deben evitarse en metalurgia de polvos, (a) perforaciones laterales y (b) muescas laterales. La remoción de la parte es imposible.

FIGURA 18.18 Formas permisibles de las partes en metalurgia de polvos: (a) perforaciones verticales ocultas y abiertas, (b) perforaciones verticales abocardadas y (c) muescas en dirección vertical. Estas formas permiten la remoción.

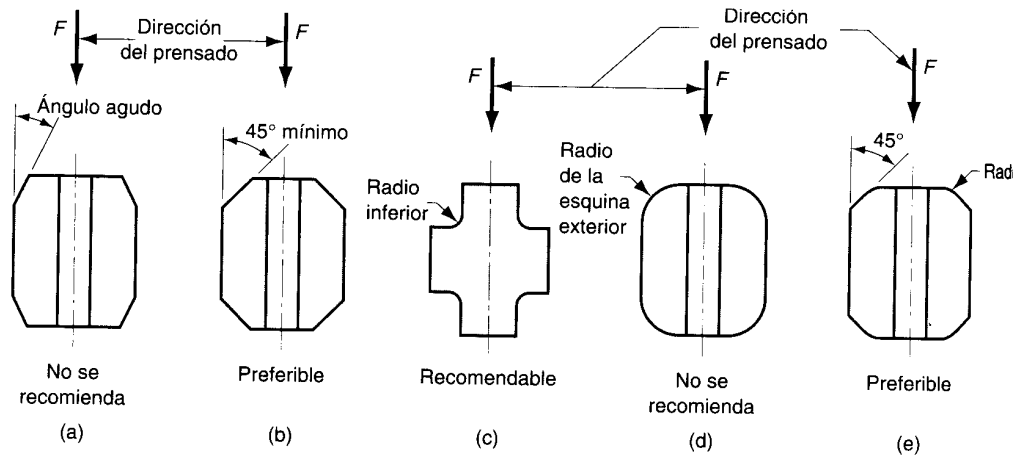
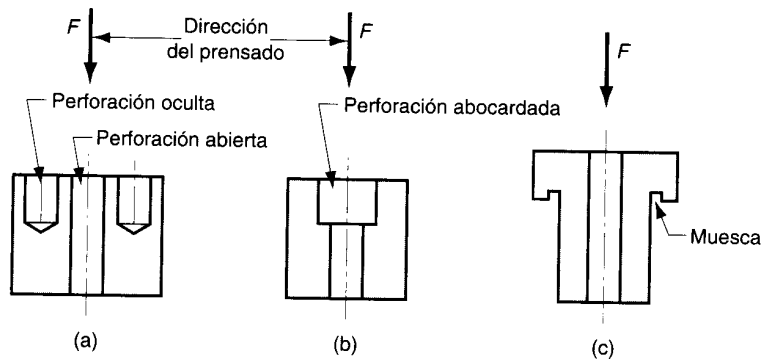


FIGURA 18.19 Se pueden lograr chaflanes y esquinas redondeadas, pero deben observarse ciertas reglas: (a) evitense ángulos agudos del chaflán, (b) son preferibles ángulos mayores para rigidez del punzonado, (c) son deseables los radios interiores pequeños, (d) los radios completos en las esquinas exteriores son difíciles porque el punzonado es frágil en los bordes de las esquinas, (e) los problemas en las esquinas exteriores pueden solucionarse combinando radios y chaflanes.

3 - Por las características mecánicas de las piezas sinterizadas que son, en general inferiores a las obtenidas por los métodos de fundición y mecanización corrientes.

4 - Porque el precio de las matrices es muy elevado, por lo que sólo pueden emplearse para la fabricación de piezas imposibles de fabricar por otros procedimientos o para series de cinco mil o más piezas.

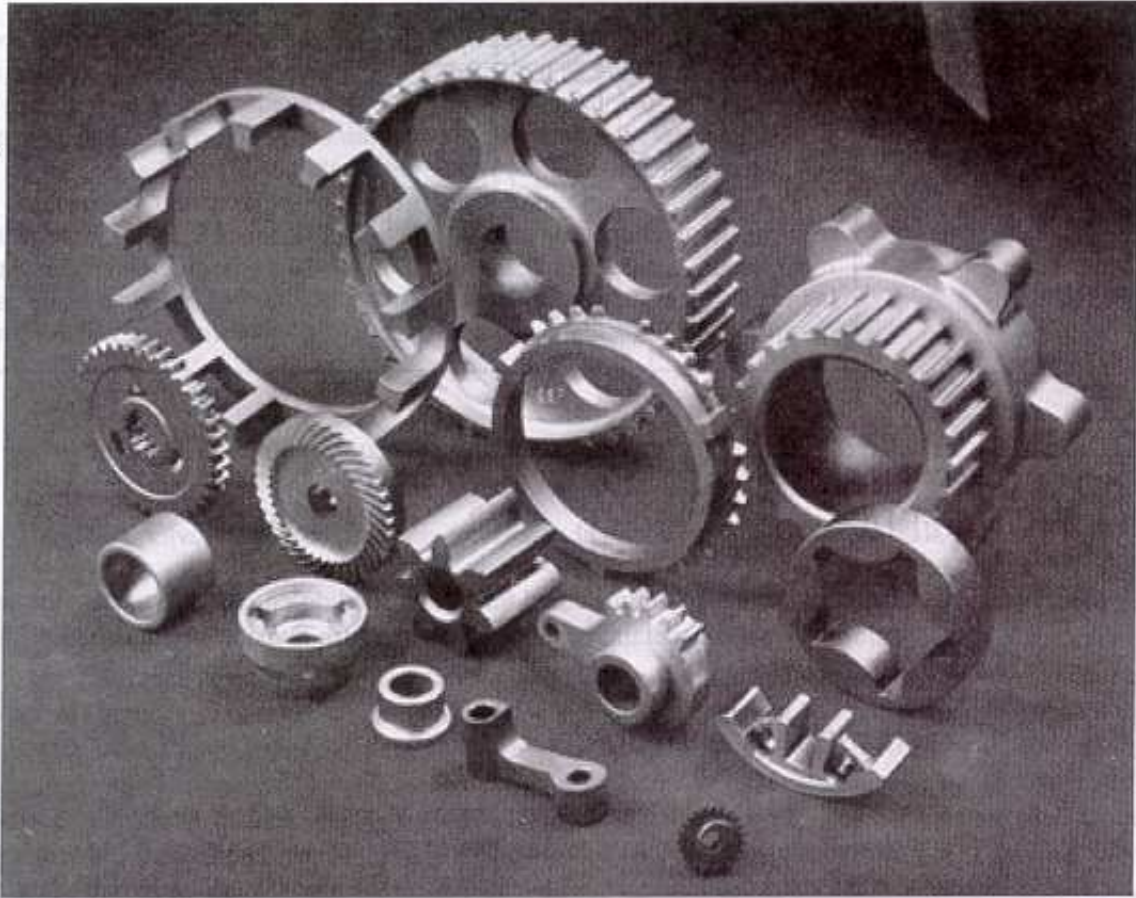


FIGURA 18.1 Una colección de partes hechas por metalurgia de polvos (cortesía de Dorst America, Inc.).