

Carácter de la conformación de los sistemas dispersos de Cu-Grafito-Pb

Juan J. Prieto, Alberto Victorero, Orlando Montesino. SIME - Centro de Investigaciones Metalúrgicas

RESUMEN

Se estudia la compactabilidad de los cuerpos pulvulentos de Cu-11% Grafito y con adiciones de 0,1% Pb, determinándose el carácter de la compactación del Grafito y el Pb contenidos de manera dispersa en el sistema. Se establecen los parámetros de los materiales referidos y del proceso de conformación que permiten obtener óptimas estructuras y propiedades.

ABSTRACT

The compactability of Cu-11% Graphite powder materials as well as with 0,1% Pb-additions is studied, being determined the character of the graphite and lead compacting dispersely contained in sistem. Parameters of forming of the above-mentioned materials for obtaining optimum structures and properties are established.

INTRODUCCIÓN

La conformación de los polvos juega un papel importantísimo en la conducta de los materiales durante la sinterización, en sus características posteriores de explotación, estructuras y propiedades. En el presente trabajo se estudian los mecanismos de consolidación de materiales de Cobre grafitado durante el prensado, dándose un paso seguro en el desarrollo de un método económico para mejorar los parámetros de conformación de mezclas de polvos de Cu-11% Grafito y con adiciones de 0,1% Pb, con vistas a su aplicación en la industria de producción de escobillas colectoras para motores de arranque y otros contactos deslizantes electromotores.

2. METÓDICA EXPERIMENTAL

Polvos de Cobre electrolítico al 99,96% de pureza, densidad aparente de $1,1 \text{ g/cm}^3$ y una concentración de oxígeno no superior al 0.05% se mezclaron con el 11% grafito (de fundición al 82% C) en un homogenizador de paletas durante 12 horas. También se prepararon mezclas de Cu-11% Grafito con adición de 0,1% Pb (pulverizado al 96% de pureza); todos los polvos con granulometrías $< 71 \mu\text{m}$ fueron prensados por el método hidráulico unilateralmente en el rango de presiones de $0,5$ a $8,0 \pm 0,02 \text{ T/cm}^2$.

En probetas cilíndricas de 100 mm^2 de superficie y $7,6 \text{ g}$ de peso según la metódica ¹ se estudió la compactabilidad del polvo. La resistencia eléctrica del material prensado se midió según ² en probetas de $55 \times 10 \text{ mm}$ de superficie y 26 g de peso, se estudiaron las influencias de las presiones de conformación sobre las variaciones volumétricas del material inmediatamente después de prensado y durante la sinterización, controlando con mediciones micrométricas las variaciones de las dimensiones de las probetas.

3. RESULTADOS

Existe el antecedente de que las probetas de Cu-11% Grafito prensadas a presiones de $P \approx 5 \text{ T/cm}^2$ con facilidad se fracturaban durante los ensayos de caída libre, las fracturas se producían por superficies perpendiculares a la dirección del prensado y se incrementaban con el aumento de la presión de conformación. Las probetas prensadas a $P < 2 \text{ T/cm}^2$ resultaban poco resistentes por la falta de cohesión entre las partículas del polvo.

3.1. Ley de la compactabilidad

En la figura 1 se muestra la variación de la densidad de las probetas en dependencia de las presiones de conformación para los polvos estudiados (Cu, Cu-11% Graf.,* Cu-11% Graf.-0,1%Pb). La compactabilidad de los materiales grafitados se describe con bastante precisión por la función $P=K \ln D/D_0$, donde: D es la densidad de la probeta conformada a presión P , D_0 - la densidad aparente del polvo y K - const, correspondiente a cada material. Este resultado se corrobora con los publicados en ³.

3.2. Transición plástico-elástica (Materiales de Cu-11% Grafito)

En la figura 2 se muestra la variación de la altura de las probetas en dependencia de la presión de conformación para los materiales estudiados y la diferencia entre las funciones correspondientes a cada material, de la cual (en cada caso) se deduce la influencia de cada elemento componente del sistema, podemos apreciar que el efecto individual del 0,1% Pb es contrario al del 11% Grafito en cada presión (ver curvas 4 y 5) siendo

más significativo el efecto del Pb a pesar de su pequeña concentración. En la curva 4 se observa un mínimo en la región próxima a $P = 3 \text{ T/cm}^2$; el carácter de la variación de esta función nos indica que el grafito contenido en el sistema disperso a $P < 3 \text{ T/cm}^2$ se compacta disminuyendo su volumen (altura de la probeta) con el incremento de la presión, proceso característico en la compactación de los sistemas dispersos, ver⁴; sin embargo a $P > 3 \text{ T/cm}^2$, el sistema tiende a recuperar su volumen cuando cesa la presión de conformación, haciéndolo por una dependencia lineal, característica para los procesos elásticos. Puede apreciarse en la curva 4 de figura 2 que por cada tonelada de sobre presión a partir de las 3 T/cm^2 el grafito provoca un incremento en la altura de la probeta de aproximadamente $0,00045 \text{ cm}$, ya que $\text{tg}\alpha_1$ toma ese valor en cm/T . Consideramos que esa recuperación volumétrica es una consecuencia de los procesos de recuperación elástica del grafito contenido en el sistema, los cuales prevalecen cuando $P > 3 \text{ T/cm}^2$. Este fenómeno puede explicarse al considerar al grafito disperso tal como pseudolíquido, que sufre una transición plástico-elástica en su conducta de compactación durante la conformación forzada, fenómeno responsable de que las probetas conformadas a sobre-presión se desgarran por superficies perpendiculares a la dirección del prensado (dirección en que se engendran y por supuesto liberan en mayor grado las tensiones elásticas durante el prensado), cuando el grafito tiende a recuperarse elásticamente rompe la matriz de cobre que lo comprime o en menor grado provoca la formación de micro defectos estructurales que afectan las propiedades del material comprimido. La existencia de tales defectos se observa por el incremento de la resistencia eléctrica (ver en la Figura 3) de las probetas de Cu-11%Grafito ya a partir de las 3 T/cm^2 aproximadamente.

El hecho de que las tensiones internas tomen mayor magnitud en la dirección en que se aplica la fuerza de prensado toma importancia tecnológica, por las variaciones volumétricas que producen en el material (probeta) durante la sinterización, tratamiento que propicia la fluencia del material; en la figura 4 puede apreciarse que en las probetas de Cu-11% Grafito, en la dirección perpendicular a la fuerza de conformación (longitud L) siempre ocurren recogimientos durante la sinterización, independiente de la presión de conformación, mientras que la altura H de la probeta sólo sufre recogimientos cuando la conformación se ejecuta a $P \leq 2,5 \text{ T/cm}^2$, a $P > 3 \text{ T/cm}^2$ la magnitud H crece durante la sinterización siendo mayor el crecimiento a mayor presión, por consecuencias de la continuación de los procesos de recuperación elástica que continúan durante el tratamiento térmico que propicia la fluencia del material.

3.3. Transición elástico-plástica (Materiales de Cu-11% Grafito-0.1%Pb)

La presencia del 0,1%Pb en el sistema de Cu-11% Grafito produce cambios radicales en los procesos de conformación de estos materiales; en la curva 5 de la figura 2 se observa que el Pb contenido en el sistema disperso a $P < 3 \text{ T/cm}^2$ provoca recuperaciones de la altura relativa de la probeta cuando cesa la presión de conformación, mientras que a $P > 3 \text{ T/cm}^2$ propicia la consolidación del sistema, a $P = 5 \text{ T/cm}^2$ se compacta $0,022 \text{ cm/T}$ que es el valor que toma $\text{tg}\alpha_2$. Nuestra interpretación de este fenómeno es la siguiente: inicialmente a $P < 3 \text{ T/cm}^2$ las partículas del Pb bajo la acción de las fuerzas de contacto interpartículas se deforman elásticamente, a $P \approx 3 \text{ T/cm}^2$ ya las fuerzas de contacto superan el límite de elasticidad del Pb; proceso que debe ocurrir según los principios básicos publicados por ⁵; produciéndose la deformación plástica a partir de esas presiones; el Pb se deforma con facilidad incrementando la adherencia e interaccionando con las superficies de las demás partículas componentes del sistema, este fenómeno se incrementa en la medida que aumentan las presiones, motivo por el cual la curva 5 de la figura 2 cuando $P > 3 \text{ T/cm}^2$ posee forma convexa con pendiente decreciente, geometría característica de los procesos plásticos. En la figura 3 se muestran los valores de la electrorresistividad de las probetas de Cu-11% Grafito-0,1%Pb en dependencia de las presiones de conformación; consideramos que el incremento de la resistencia eléctrica a $P < 3 \text{ T/cm}^2$ es una consecuencia de los defectos estructurales engendrados por los procesos de recuperación elástica del Pb a bajas presiones; este resultado corrobora los criterios anteriormente expuestos. A $P > 3 \text{ T/cm}^2$ la electrorresistividad de las muestras de Cu-11%Grafito-0,1%Pb decrece considerablemente, tomando valores pequeños, propios del material con un grado superior de consolidación, gracias a la adherencia interpartículas que provoca el 0,1%Pb contenido en el sistema; cabe señalar el posible desarrollo de *microsoldadura fría* en las superficies de contacto Cu - Pb - Cu.

En la figura 4 se observa que la recuperación volumétrica del Cu-11%G. durante la sinterización supera en gran medida la recuperación del Cu-11% Grafito-0,1%Pb cuando estos materiales se prensan a $P > 3 \text{ T/cm}^2$; la recuperación elástica del Cu-11%Grafito es superior; sobre la forma en que el sistema de Cu-11%Grafito-0,1%Pb emancipa la energía elástica acumulada durante la conformación trataremos en nuestro siguiente trabajo.⁶

Con respecto a los procesos de conformación, no cabe dudas que la extinción de la recuperación elástica durante la conformación y la disminución de la recuperación volumétrica de los materiales de Cu-Grafito con pequeñas dosis adicionales de Pb, crea posibilidades tecnológicas para la obtención de estructuras más densas y propiedades superiores.

4. CONCLUSIONES

1. Se describió la Ley de la variación de la Densidad de los cuerpos pulverulentos de cobre grafitado en dependencia de la presión de conformación.
2. Se estableció que la conducta del grafito contenido en el sistema disperso sufre una transición plástico-elástica a presiones de $P \approx 3 \text{ T/cm}^2$ y que el Pb en concentraciones del 0,1% provoca la extinción de los procesos de recuperación volumétrica del Cu-11%Grafito durante la conformación y los disminuye durante la sinterización.
3. Para obtener materiales de Cu-11%Grafito con satisfactoria resistencia para la manipulación tecnológica, estructuras uniformes y reducir a la mínima expresión los procesos de recuperación volumétrica posteriores a la conformación y durante la sinterización se requiere prensar estos materiales a $P \approx 3 \text{ T/cm}^2$; la adición de 0,1%Pb permite incrementar las presiones de conformación hasta $3,6 \text{ T/cm}^2$ y más, para obtener estructuras más densas y con propiedades superiores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Norma ASTM B 331-1964. "Método para determinar la compresibilidad de los polvos metálicos".
2. Prieto, J.J.; M.Antón; O.Montesino y A.Benítez
"Estructuras y propiedades de los materiales". Informe del TEMA 0801. CIME, La Habana, 1982.
3. Zhdanovich, G.M.
"Teoría del prensado de polvos" (en ruso). Ed. Metalúrgia. Moscú, 1982.
4. Molera, P.
"Introducción a la pulvimetalurgia". Ed. Bellatera. Barcelona, 1982.
5. Balshin, M.Iu.; S.S.Kiparisov.
"Fundamentos de la pulvimetalurgia" (en ruso). Ed. Metalurgia. Moscú, 1978.
6. Prieto, J.J., A. Victorero y O. Montesino
Influencia de las inclusiones de PC en la reacción de sinterización de los sistemas dispersos de Cu-Grafito-PC. (Aprobado para publicar en Rev. Cubana de Física, Vol.V, No.1, 1985).

Recibido: 5 de marzo de 1984.

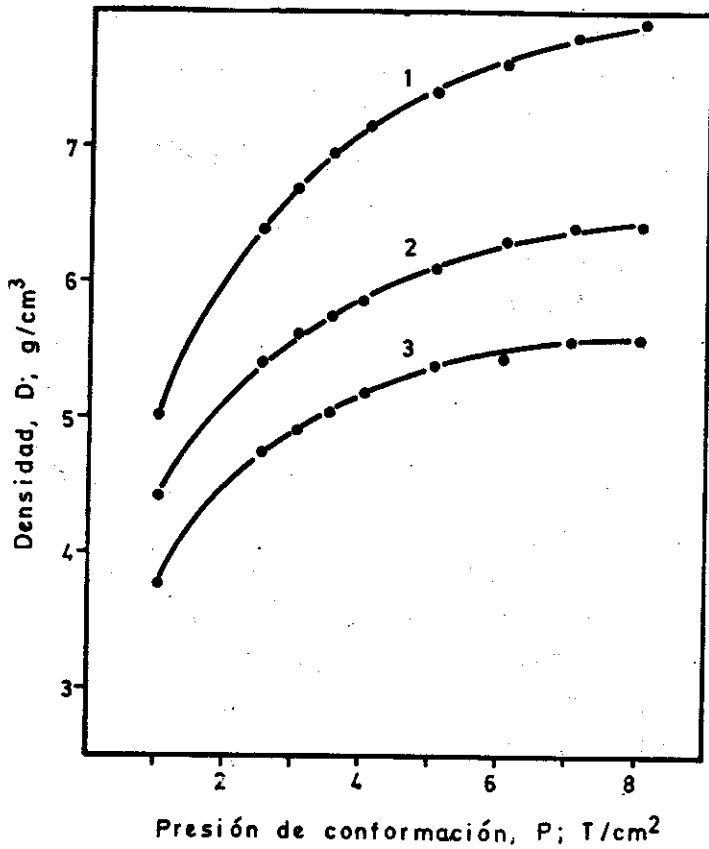


Figura 1.

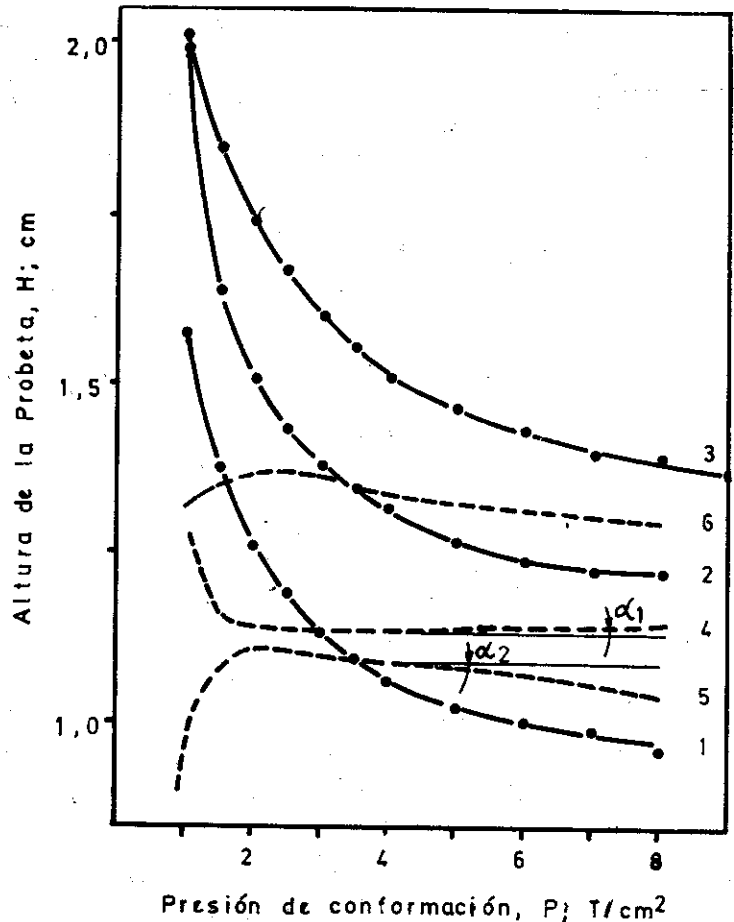
Variación de la densidad de las probetas de los materiales estudiados en dependencia de la presión de conformación.

1 - Cu, 2 - Cu-11%Grafito, 3 - Cu-11%Grafito-0,1%Pb.

Figura 2.

Variación de la altura (H) de las probetas en dependencia de la presión de conformación (P)

1. Para el Cobre
2. Para el Cobre-Grafito
3. Para el Cobre-Grafito-Plomo
4. Diferencia relativa entre las curvas 1 y 2
5. Diferencia entre 2 y 3
6. Diferencia entre 1 y 3



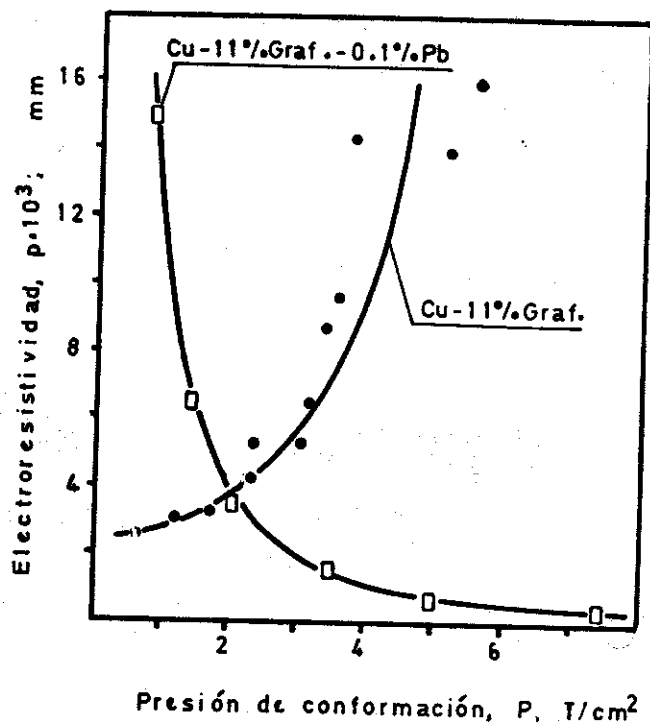


Figura 3.

Valor de la electroresistividad del material después de prensado en dependencia de la presión de conformación.

Figura 4.

Variación relativa de la altura (H) y del ancho (L) de las probetas durante la sinterización, en dependencia de la presión a que fueran conformadas.

