

Obtención y caracterización de materiales compuestos W-Cu para contactos eléctricos^(*)

N. Krivij*, E. Alfonso-Trujillo*, L.L. García-Sánchez*, J.A. Villalonga*, A. Formoso-Prego**, F.J. Alguacil** y A. Cores-Sánchez**

Resumen

En el Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME), cubano, se fabrican por pulvimetalurgia, calzos de material compuesto volframio-cobre, que se utilizan en los contactos eléctricos de los paneles de control de las grúas pórtico que operan en el puerto de Ciudad de La Habana. El material base que se utiliza contiene un 70 % en masa de polvo de cobre electrolítico y polvo de volframio (30 %), que se obtiene por reducción del óxido de volframio. Los polvos se someten a las etapas de mezclado, prensado y sinterización obteniéndose un material compuesto con las fases metálicas formadas por partículas libres de volframio ocluidas en una matriz de cobre, que no interaccionan entre sí. Este material compuesto proporciona al calzo de ajuste las siguientes propiedades: alta temperatura de fusión, alta electrotermoconductividad y resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y a la erosión eléctrica, baja soldabilidad y estabilidad durante su explotación. Sin embargo, al no reaccionar las partículas de volframio con el cobre, el material compuesto comenzará a fundir a la temperatura del cobre; por otro lado y, por la misma razón la resistencia a la corrosión debe ser similar a la del cobre puro. Los calzos de ajuste se fijan a los cuerpos de cobre de alta pureza mediante una soldadura de una aleación de plata, la cual no afecta las buenas cualidades del cobre, como elasticidad, resistencia a la tracción, conductividad térmica y eléctrica, así como resistencia a la corrosión.

Palabras clave

Contactos eléctricos. Materiales compuestos W-Cu. Pulvimetalurgia. Aleaciones Cu-Ag.

Obtained and characterization of composite materials W-Cu for electrical contact

Abstract

In the Cuban Metallurgical Research Center (CIME), are manufactured by powder metallurgy, shims of adjustment of a W-Cu composite material, that are used in the electrical contacts of the panels of control of the portico derricks that operate in the port of Havana City. The base material used has a composition of 70 % in mass electrolytic copper powder and wolfram powder of (30 %) that is obtained by reduction from the oxide from wolfram. The powders are submitted to the stages of mixed, pressed and agglomeration and is obtained a composite material with free particles of W occluded in a counterfoil of Cu matrix, that do not interact and they provide the following properties: high melting temperature, high electro and thermo conductivity and corrosion resistance, high mechanical and electrical strengtheners, decrease weldability and stability during their development. However, when not reacting the wolframio particles with the copper, the compound material will begin to fuse to the temperature of the copper, on the other hand and for the same reason the resistance to the corrosion should be similar to that of the pure copper. The shims of adjustment are fixed to the bodies of high purity copper welding with a silver alloy, the one which provides the maximum qualities of the Cu, as elasticity, breaking strength, thermal and electrical conductivities, as well corrosion resistance.

Keywords

Electrical contacts. W-Cu composite materials. Powder metallurgy. Cu-Ag alloys.

(*) Trabajo recibido el día 12 de febrero de 2002 y aceptado en su forma final el día 3 de abril de 2003.

(*) Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME), Avda. 51, 23611, La Lisa, Ciudad de La Habana, Cuba.

(**) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM), Avda. Gregorio del Amo, 8, 28040 Madrid.

1. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de wolframio-cobre tienen un campo amplio de aplicaciones: contactos eléctricos, maquinización por electroerosión, boquillas de cañón de soldadura por arco y en materiales resistentes al calor, debido a la combinación de la alta conductividad térmica y eléctrica del cobre con la alta resistencia al desgaste y al bajo coeficiente de expansión térmica del wolframio^[1 y 2].

Existe una investigación extensa sobre la fabricación y propiedades de estas aleaciones W-Cu^[3-20].

Se encontró que los materiales compuestos de W-Cu se fabrican por el método de infiltración de cobre en armazón de wolframio^[6 y 16] o por el método de sinterización en fase líquida^[17 y 18], puesto que el sistema W-Cu no tiene solubilidad mutua y hay una diferencia elevada en el punto de fusión y en la densidad de los dos metales.

A partir de materiales líquidos, el método de procesado termoquímico^[15,19 y 20] puede producir un estado de mezcla de los componentes más homogéneo que los métodos de mezcla que usan materiales en estado sólido como material de partida. Se consigue, así, una microestructura ultrafina homogénea y una mejora de las propiedades del material sinterizado de manera que puede emplearse una aleación con un contenido elevado de wolframio en la fabricación de municiones^[21].

Las aleaciones W-Cu proporcionan un modelo útil para el estudio de la deformación de los metales pesados, puesto que no hay solubilidad mutua ni en el estado sólido ni en el estado líquido^[22]. La observación de que la deformación en un agregado grueso en dos fases está restringida a la matriz blanda se realizó, por primera vez, en las aleaciones α - β de bronce^[23] y ha sido confirmada teóricamente usando un análisis de elementos finitos^[24]. En la aleación W-Cu también se produce este comportamiento^[11].

Se realizó una investigación^[10] acerca del efecto del material y los factores del procesado sobre las propiedades del contacto eléctrico de las aleaciones W-Cu. En un estudio^[6] sobre un material compuesto de wolframio infiltrado con cobre y plata se determinan las propiedades óptimas de la aleación, en función del tamaño medio de las partículas de wolframio, presión de compactación y temperaturas de sinterización e infiltración. El tamaño de la partícula del armazón de wolframio influye, considerablemente, en las propiedades del contacto eléctrico: conductividad, resistencia a la erosión, densidad y dureza.

Por otro lado, en otra investigación^[13] se destaca que es esencial la distribución uniforme de las

partículas de wolframio en el cobre fundido para obtener una aleación de comportamiento óptimo.

Generalmente, los materiales destinados a trabajar como contactos eléctricos deben reunir en sí, un conjunto de propiedades que, por lo regular, resultan contradictorias para los metales más comunes. De ellos, se exige que tengan refractariedad y alta dureza en combinación con alta conductividad térmica y eléctrica, alta resistencia a la corrosión y baja resistencia de contacto, así como que todo lo anterior se combine con la ausencia de formación de puentes, soldaduras y transferencia del material, conjuntamente con elevadas propiedades de extensión del arco asociadas con un favorable corte de la corriente en el régimen de desconexión de los contactos^[25].

Sobre las propiedades mencionadas, además de la composición, influyen sustancialmente otras características de la estructura del material de contacto, tales como magnitud del grano, textura y pequeñas impurezas, que ejercen influencia sobre las propiedades específicas de alta temperatura, resistencia y capilaridad.

Las condiciones de trabajo a que están sometidos los contactos eléctricos difieren tanto, que no existe un material universal aplicable. Por tanto, los materiales de contactos se seleccionan de acuerdo a su aplicación y aunque, a veces, se simplifica la solución, dando mayor importancia a un parámetro dado, en la mayoría de los casos debe tratar de lograrse una solución de compromiso.

Está comprobado que empleando los métodos metalúrgicos tradicionales es imposible reunir en un material el conjunto de propiedades que se requieren. En este caso, la pulvimetalurgia, o metalurgia de polvos, ofrece soluciones mediante la combinación de materiales diferentes para lograr la composición de contactos eléctricos más idónea, que reúna las propiedades requeridas para ser utilizados en las condiciones de trabajo dadas.

Se puede destacar la presencia de cobre, plata y wolframio como metales base y de adición para estas aleaciones.

2. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO Y MÉTODO EXPERIMENTAL

En la tabla I se presentan algunos ejemplos de aleaciones y materiales compuestos que se utilizan para contactos eléctricos^[26 y 27].

En la tabla II se presentan algunos ejemplos de materiales para contactos eléctricos a partir de

Tabla I. Aleaciones y materiales compuestos tipo metal-metal, utilizados en la industria electrotecnia para los contactos eléctricos

Table I. Alloys and blank alloyings type metal - metal, used in the electrotechnics industry for the electrical contacts

Sistema	Metal base	Metal de acción	Influencia del metal de adición en las características eléctricas del contacto	Microestructura que se conforma
De dos componentes	Ag	W, Mo, Ni, Fe, Co	Aumenta la resistencia a electroerosión y desgaste, disminuye la tendencia al agarre, aumenta la resistencia eléctrica específica	Heterogénea bifásica
		Cd, Pd	Aumenta resistencia al desgaste, erosión y corrosión, aumenta resistencia eléctrica específica	Homogénea
	Cu	W, Mo, Fe	Aumenta la resistencia a electroerosión y desgaste, disminuye la resistencia a la soldabilidad bifásica	Heterogénea
De tres componentes	Ag-W	Ni, Co, Cu	Mejora las propiedades tecnológicas, aumenta la resistencia a electroerosión, corrosión, desgaste y resistencia eléctrica específica	Heterogénea bifásica
	Ag-Mo			
	Cu-W			
	Cu Mo			
	Ag-Pd	Ni	Aumenta la resistencia a la erosión, corrosión, desgaste y resistencia a la soldabilidad bifásica	Heterogénea bifásica

Tabla II. Composición, propiedades y método de fabricación de materiales compuestos W-Cu para contactos eléctricos

Table II. Composition, properties and technological production particularities of the contacts as of some blank alloying base of Cu and W

Fabricante	Marca del material	Contenido % en masa		Particularidades tecnológicas de producción	Densidad g/cm ³	Resistencia eléctrica específica μΩ.m	Dureza en estado de recocido	
		Cu	W				MPa	HRB
Johnson Matthey Metals, Ltd (Inglaterra)	Matthey IW3	40	60	Se produce por pulvimetalurgia	12,8	0,041	1.400	-
Gibson Electric, Inc (EE.UU.)	Gidsiloy UW-10	50	50	Se produce por pulvimetalurgia	11,9	0,026	-	73
	Gidsiloy UW-14	70	30		10,4	0,022	-	59
VEB Keramische Werke, Hermsdorf (Alemania)	Hermetwocum100	10	90	Sinterización en fase sólida de los comprimidos de la mezcla de polvos de W y Cu	14,0	0,120	1.400	-
	Hermetwocum300	30	70		13,0	0,089	1.200	-
	Hermetwocum700	70	30		10,5	0,050	900	-
G. Rau (Alemania)	Cu-W-40	60	40	Sinterización en fase sólida de los compactos base la mezcla de los polvos Cu y W	10,5	0,026	900	
	Cu-W-60	40	60		12,5	0,038	1100	
P.R. Mallory L. Co, Inc. (EE.UU.)	Elkonite 2125C	75	25	Sinterización en fase sólida de la mezcla de dos polvos Cu y W	10,0	0,033	-	10

volframio y cobre, métodos de fabricación y sus propiedades.

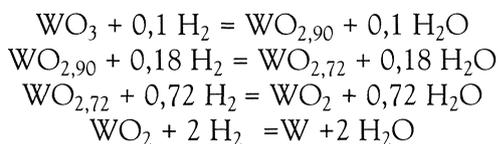
Teniendo en cuenta que los contactos utilizados en los paneles de control de las grúas pórtico del puerto de Ciudad de La Habana operan con valores de intensidades de 10 a 500 A y voltaje inferior a 1.000 V, las referencias bibliográficas sobre materiales compuestos empleados en los contactos^[26 y 28] y las condiciones específicas existentes en el CIME en relación a la existencia de materias primas, se optó por elaborar calzos de ajuste de un material compuesto de cobre y volframio, en relación de 70 y 30 % en masa, respectivamente.

Acorde a las anteriores condiciones, se empleó la variante de proceso que conlleva la mezcla de los componentes en las porciones requeridas, el posterior prensado y la sinterización en atmósfera de hidrógeno.

2.1. Materiales empleados

Para la elaboración de los calzos se utilizó el polvo de cobre electrolítico. Este tipo de polvo es idóneo para la elaboración de piezas electromecánicas por poseer: alta pureza, forma de las partículas dendríticas y tamaño de las partículas menores de 71 μm . Estas propiedades garantizan al material resultante alta densidad y baja porosidad, alta resistencia mecánica, dureza y conductividad eléctrica. El polvo de cobre antes de utilizarse se desoxidó mediante un recocido a temperatura de 350 °C en atmósfera de hidrógeno.

El otro componente utilizado en la elaboración de los calzos es volframio, obtenido por la vía de reducción de óxido volframio, WO_3 ^[28], con hidrógeno. La reacción global de reducción: $\text{WO}_3 + 3\text{H}_2 = \text{W} + 3\text{H}_2\text{O}$, comprende las reacciones intermedias siguientes:



Estas reacciones se realizan a temperatura de 720, 820, 900 y 1.000 °C durante 3, 3, 2 y 2 h, respectivamente.

El tamaño de las partículas de polvo de volframio utilizado en la mezcla fue de 71 μm .

Los contracuerpos para los calzos de Cu-W se elaboraron a partir de plancha de cobre de alta conductividad.

Como material de aporte para soldar el calzo de Cu-W al contracuerpo de cobre se utilizó la aleación Cu-45 % Ag.

2.2. Procesos de elaboración del calzo

2.2.1. Mezclado

Los polvos de cobre electrolítico y de volframio, en proporción de 70 y 30 % en masa, se mezclaron durante 5 h hasta la obtención de una mezcla homogénea. Para garantizar la máxima homogeneidad de la mezcla de componentes de densidades tan diferentes ($\text{Cu} = 8,933 \text{ g/cm}^3$ y $\text{W} = 19,254 \text{ g/cm}^3$), se utilizó un equipo rotatorio con elementos mezcladores (guijarros cerámicos). La velocidad de rotación fue el 40 % de la crítica; la relación entre la mezcla y los elementos mezcladores fue 3:1.

2.2.2. Prensado

Para la compactación de los calzos se utilizó un molde metálico con dimensiones de 16,6 \times 16,6 \times 3 mm. La masa de la mezcla era 8,4 g. Considerando la densidad del cobre y del volframio, se deduce que la densidad teórica del material compuesto compacto es de 10,64 g/cm^3 .

Para prensar se utilizó una prensa hidráulica de 1.000 kN. La presión aplicada fue de 1.200 y 1.500 MPa.

2.2.3. Sinterización

La sinterización de los calzos prensados se realizó en un horno mufla con atmósfera reductora de hidrógeno, a temperatura de 850 °C durante 3 h de retención.

La densidad y la porosidad de los compactos prensados y sinterizados fueron calculadas partiendo de los valores de la masa y el volumen obtenidos, y comparándolos con la densidad del material compuesto compacto.

2.2.4. Soldadura del calzo con el contracuerpo

Los contracuerpos de los contactos eléctricos se elaboraron en cobre de alta conductividad para mejorar la disipación de calor de la superficie de contacto. El contracuerpo se fijó al calzo de Cu-W mediante una soldadura con aporte de aleación de Cu-45 % Ag.

Este tipo de aleación tiene uso extenso en aquellas aplicaciones en que se requiere las

máximas cualidades de cobre, tales como: elasticidad, resistencia a la tracción, conductividad térmica y eléctrica, así como resistencia a la corrosión, lo que hace posible su empleo en la electrotecnia como conductor de corriente.

2.2.5. Conductividad eléctrica

La medición de la conductividad eléctrica de los cuerpos de los contactos, los calzos de ajuste originales y los fabricados por el CIME se realizó en un equipo basado en la técnica de ultrasonido, empleando los patrones de calibración de que consta el equipo.

2.2.6. Preparación metalográfica de la muestra

La pieza se desbastó y pulió a brillo de espejo por uno de sus laterales, tras lo cual se observó al microscopio metalográfico NEOPHOT 30. La observación metalográfica de este corte lateral del calzo muestra la existencia de tres zonas bien definidas, las cuales se denominan:

- a) Superior-calzo (material compuesto Cu-W).
- b) Media-metal de aporte de unión soldada (aleación Cu con Ag).
- c) Inferior-metal base (Cu de alta pureza).

Las zonas se detallan en las figuras 1 a 5. Las muestras se atacaron con cloruro férrico (5 g FeCl_3 , 50 ml HCl y 100 ml H_2O , según Norma ASTM E407-70).

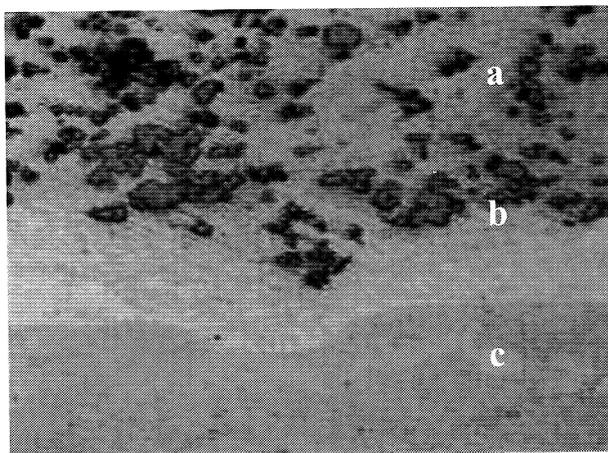


Figura 1. Zonas constituyentes del elemento eléctrico, sin ataque químico, (x 100).

Figure 1. Constituent zones of the electrical element, unetching, (x 100).

Rev. Metal. Madrid 39 (2003) 289-297

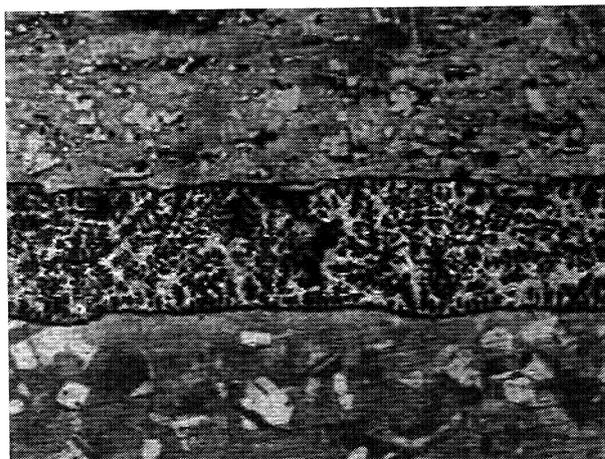


Figura 2. Estructura de los tres componentes de la unión soldada, con ataque químico, (x100).

Figure 2. Structure of the three components of the welded union, etching, (x100).

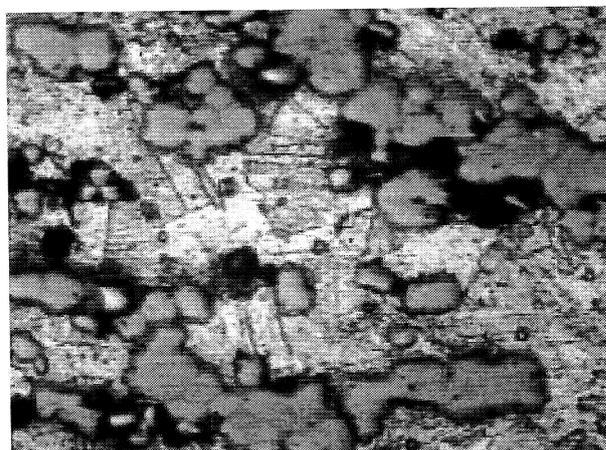


Figura 3. Detalle a mayor aumento de la zona (a), con ataque químico, (x 500).

Figure 3. Detail to greater magnification in the zones (a), etching, (x500).

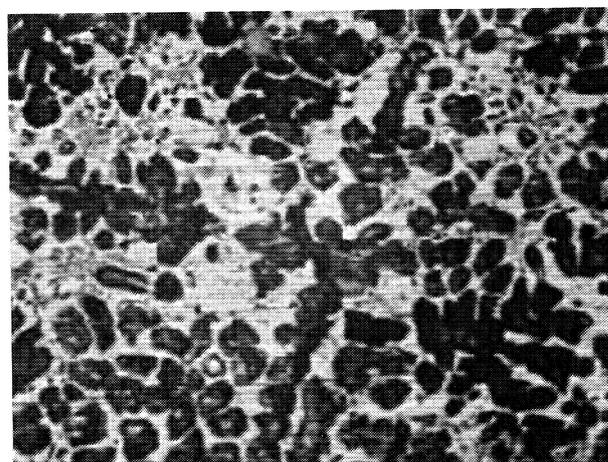


Figura 4. Detalle a mayor aumento de la zona (b), con ataque químico, (x 500).

Figure 4. Detail to greater magnification in the zones (b), etching, (x500).



Figura 5. Detalle a mayor aumento de la zona (c), con ataque químico (x500).

Figure 5. Detail to greater magnification in the zones (c), etching, (x500).

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Obtención de volframio metálico

Está determinada la existencia de cuatro óxidos de volframio: WO_3 (α -óxido), $WO_{2,90}$ (β -óxido), $WO_{2,72}$ (γ -óxido) y WO_2 (δ -óxido), que se obtienen por las reacciones intermedias durante la reducción del WO_3 a $W_{\text{metálico}}$.

Estas reacciones son reversibles y las condiciones de desplazamiento de las mismas dependen de las presiones parciales de equilibrio de H_2 y de vapor de H_2O . En condiciones industriales, la reducción de WO_3 se realiza en hornos de estera con una velocidad determinada y distribución irregular de la temperatura, que aumenta paulatinamente en dirección del desplazamiento del WO_3 , o sea, que el anhídrido de volframio se desliza hacia las

zonas de más alta temperatura y menor concentración de vapor de agua. De tal modo, se crean condiciones más favorables para la reducción consecutiva de los óxidos de volframio: $WO_3 \rightarrow WO_{2,90} \rightarrow WO_{2,72} \rightarrow WO_2 \rightarrow W_{\text{metálico}}$.

En nuestras condiciones, la reducción se realizó en un horno de cámara a las temperaturas de estabilidad de las modificaciones cristalinas de WO_3 [28] para garantizar la reducción sucesiva de los óxidos. A pesar de esto, la reducción del anhídrido de volframio fue del 97 %, según el análisis del contenido de oxígeno en el material resultante. Por otra parte, el CIME tiene experiencia en la realización de este tipo de investigaciones [33-35].

3.2. Proceso de sinterización

En el proceso de sinterización se observan a menudo casos de perturbaciones durante la contracción, que se manifiestan en el insuficiente grado de contracción o en el aumento de volumen de las piezas sinterizadas. Las causas principales de estas perturbaciones son:

- relajación de las tensiones elásticas que se forman durante el prensado,
- presencia de óxidos no reducidos y no reducibles,
- transformaciones de fases,
- desprendimiento de los gases.

Durante la sinterización se observó el crecimiento de los compactos prensados a 1.200 y 1.500 MPa; por otra parte la porosidad total resultó bastante alta como se puede observar en la tabla III. Esto indica la presencia de un nivel alto de porosidad cerrada. Los óxidos presentes en la mezcla durante la sinterización, entre ellos, óxidos no

Tabla III. Densidad, porosidad y dureza de los calzos de ajuste

Table III. Density, porosity and hardness in the shims of adjustment

Presión de prensado	Densidad (promedio)		Porosidad (promedio)		Dureza
	En verde	De calzos sinterizados	En verde	En estado sinterizado	
MPa	g/cm ³	g/cm ³	%	%	HB
1.200	9,15	8,765	13,927	17,01	55
	$\sigma_{n-1} = 0,136$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 0,149$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 1,297$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 2,708$ n = 20	
1.500	9,35	8,49	12,067	20,16	35
	$\sigma_{n-1} = 0,283$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 0,161$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 2,659$ n = 20	$\sigma_{n-1} = 1,509$ n = 20	

reducidos de wolframio, debido a su reducción incompleta (97 %), también intensifican la formación de porosidad cerrada. En este caso, la expansión de los gases que se encuentran en los poros cerrados, impide la compactación durante la sinterización y conlleva a crecimiento de los calzos. El crecimiento del volumen en un 4 % y la pérdida de la masa de los compactos provocó la disminución de la densidad.

Por los valores obtenidos en los calzos sinterizados se deduce que la presión de prensado de 1.200 MPa debe estar más cercana a la óptima. Estos valores resultan aproximados a los de otros calzos de igual composición y método de elaboración (tablas II y III).

La temperatura de sinterización (850 °C) para los calzos se eligió según la relación $T_{\text{sint}} = 0,7-0,9 T_{\text{fusión}}$ del material base, que es cobre y se encuentra entre 755-970 °C, y por la experiencia de trabajar con materiales a partir de polvo de cobre en nuestros hornos.

3.3. Conductividad eléctrica

En la tabla IV se incluyen los valores de la conductividad eléctrica de los cuerpos de los contactos, los calzos de ajuste originales y los fabricados en el CIME con presión de 1.200 MPa, que se considera óptima, notándose poca diferencia entre

ellos. Por otra parte, los valores calculados de la resistividad eléctrica en $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ están en el orden de 2,2 y son semejantes a los valores de la marca *Gibsilloy UW-14* (tabla II), de igual composición, producidos igualmente por el método de Pulvimetalurgia por *Gibson Electric* y a los de otras firmas^[36].

3.4. Análisis microestructural del elemento eléctrico ensamblado completamente

En la figura 1 se aprecian tres zonas constituyentes del elemento eléctrico (a, b, c), observadas al microscopio sin ataque químico.

En la zona (a) se observan partículas de wolframio libre, ocluidas en la matriz. El tamaño y la distribución de estas partículas son irregulares y forman aglomeraciones con un grado de aislamiento entre ellas de pequeño a medio. Además, se observa una elevada porosidad. En la zona (b) se observan, por lo general, poros aislados y pequeños, además de algunas partículas de wolframio libre. En la zona (c) los poros están más dispersos con un grado mucho mayor de separación entre sí.

En la figura 2 se muestran, de forma general, las tres zonas constituyentes del elemento con ataque químico.

En la figura 3 se detalla a mayor aumento ($\times 500$) la presencia de dos fases que constituyen

Tabla IV. Mediciones de la conductividad eléctrica de los contactos originales y los fabricados en el CIME

Table IV. Measurements of the electrical conductivity of the original contacts and manufactured in the CIME

Presión de prensado, MPa	Nº de clave (modelo de contacto)	Nº de orden (juego)	Conductividad, MegaSiemens/m					Observaciones
			Contactos originales		Fabricados en el CIME			
			Del Cuerpo	A través del calzo	Del cuerpo	Del calzo	A través del calzo soldado	
1.200	7 (fijo) 8 (móvil)	1	-	50 - 52	39 - 40	-	-	-
		2	-	-	-	-	-	Calzos de W-Cu (70-30%) prensados y sinterizados.
		3	-	-	47-50	36-38	36-39	Soldados a los cuerpos con aleación 45% Ag
		4	-	-	-	-	-	-
		5	-	-	-	-	-	-

la zona (a): la matriz de cobre formando granos equiaxiales con tamaño de puntuación 8-10 (Norma ASTM E 112-88), que poseen maclas de recristalización en su interior y las partículas irregulares de wolframio libre ocluidas en la matriz, situadas en la frontera de los granos de cobre. En esta, se aprecia que, la mayor cantidad de poros vinculados a la porosidad abierta se encuentran en la frontera Cu-W, mientras que los vinculados a la porosidad cerrada son de menor tamaño y se sitúan preferentemente en las fronteras monofásicas.

El tipo de contacto para el calzo de ajuste elaborado con la composición de polvos señalados resulta, por tanto, bicomponente, con una estructura heterogénea bifásica, donde el cobre le brinda propiedades de alta electroconductividad térmica y eléctrica, buena disipación del calor y baja resistividad eléctrica. El metal adicionado, wolframio, le da alta resistencia a la electroerosión y desgaste, disminuye la tendencia a la soldadura de las superficies de contacto y, en general, se logra una baja resistencia de transición o contacto.

En la figura 4 se detalla, a mayor aumento ($\times 500$), la zona (b), que está compuesta por dendritas de fase α (zona oscura base Cu), más fase β (zona clara base Ag) y eutéctica ($\alpha + \beta$) en menor cantidad (zona clara con puntos oscuros). Posiblemente, esta microestructura corresponde a una solidificación eutéctica típica, que está formada por dendritas de solidificación primaria (en este caso, de fase rica en Cu), rodeados por el eutéctico, que ocuparía el espacio interdendrítico.

En la figura 5, correspondiente a la zona (c) vista a mayor aumento ($\times 500$), se observa la estructura granular de cobre de alta pureza, formada por granos equiaxiales con maclas internas de recristalización.

Del análisis metalográfico realizado se puede concluir que las zonas (a), (b) y (c) del contacto eléctrico, en todo su conjunto, poseen forma, distribución y presencia de fases que pueden catalogarse de idóneas, donde se aprecia como característica la interfase que favorece esencialmente la cohesión entre dichas zonas estructurales, así como la transferencia y la combinación de las propiedades elásticas y resistivas. Todas las condiciones estructurales alcanzadas en los contactos eléctricos elaborados con calzos sinterizados a partir de polvo de Cu-W, unidos al contracuerpo de cobre mediante una aleación de Cu-Ag, propician el empleo satisfactorio en las condiciones de trabajo a que son destinados con una larga vida útil, con los resultados esperados.

4. CONCLUSIONES

Se han elaborado en el CIME por el método de pulvimetalurgia, los calzos de ajuste para los contactos eléctricos a partir del polvo de cobre y polvo de wolframio, obtenido este último por la reducción de WO_3 .

Los calzos de ajuste se fijaron a los contracuerpos de cobre de alta conductividad y pureza mediante una soldadura con aporte de aleación de Cu-Ag conductora de corriente.

Los calzos de ajuste elaborados con la composición de los polvos señalados tienen una estructura heterogénea bifásica, que propicia un empleo satisfactorio de éstos en las condiciones de trabajo a que se destinan.

Los contactos eléctricos tienen propiedades eléctricas y de resistividad semejantes al del material de la marca *Gibsillo* UW-14, de la firma *Gibson Electric* con igual composición.

REFERENCIAS

- [1] K.V. SEBASTIAN, *Int. J. Powder Metall. Powder Technol.* 17 (1981) 297-303
- [2] W. NEUMANN y E. KNY, *High Temp.-High Press* 21 (1989) 525-532.
- [3] G.H.S. PRICE, C.J. SMITHELLS y S.W. WILLIAMS, *J. Inst. Met.* 62 (1938) 239-247.
- [4] M. NICHOLAS y D.M. POOLE, *J. Mater. Sci.* 2 (1967) 269-273.
- [5] A.J. STEVENS, *Powder Metall.* 17 (1974) 331-346
- [6] S. STOLARZ, *Planseeber. Pulvermetall.* 22 (1974) 188-195.
- [7] J.S. LEE, W.A. KAYSER y G. PATZOW, *Modern developments in powder metallurgy*, E.N. Aqua y C.I. Whitman (Eds.), Vol. 14, Princeton, N.J. MPIF, 1985, p. 489.
- [8] J. WHITTENAUER y N.G. NIEH, *Tungsten and tungsten alloys*, A. CROWSON y E.S. CHEN (Eds.), Warrendale, PA, TMS, 1991, p. 21.
- [9] J.L. JOHNSON y R.M. GERMAN, *Int. J. Powder Metall.* 30 (1994) 91-96.
- [10] Y. AMANO, M. KUME, K. MOTOYOSHI y S. KABAYAMA, *J. Japan Soc. Powder Metall.* 21 (1974) 194-199.
- [11] J.A. BELK, M.R. EDWARDS, W.J. FARRELL y B. K. MULLAH, *Powder Metall.* 36 (1993) 293-296.
- [12] T.-H. IHN, S.-W. LEE y S.-K. JOO, *Powder Metall.* 37 (1994) 283-288.
- [13] W.-F. WANG, *Powder Metall.* 40 (1997) 295-300.
- [14] I.H. MOON, E.P. KIM y G. PETZOW, *Powder Metall.* 41 (1998) 51-57.
- [15] G.G. LEE, G.H. Ha y B.K. KIM, *Powder Metall.* 43 (2000) 79-82.
- [16] J. LEZANSKI y W. RUTKOWSKI, *Powder Metall. Int.* 19 (1987) 29-31.

- [17] V.V. PANICHKINA, M.M. SIROTYUK y V.V. SKOROKHOD, *Sov. Powder Metall. Met. Ceram.* 21 (1982) 447-452.
- [18] R.M. GERMAN y B.H. RABIN, *Powder Metall.* 28 (1985) 7-12.
- [19] L. GAO y B.H. KEAR, *Nanostructured Mater.* 5 (1995) 555-569.
- [20] B.K. KIM, G.H. Ha, G.G. LEE y D.W. LEE, *Nanostructured Mater.* 9 (1997) 233-236.
- [21] B.L. MORDIKE, J. KACZMAR, M. KIELBINSKI y K.U. KAINER, *Powder Metall. Int.* 13 (1981) 91-96.
- [22] M. HANSEN y K. ANDERKO, *Constitution of binary alloys*, McGraw-Hill, New York, 1958, p. 649.
- [23] R.W.K. HONEYCOMBE y W. BOAS, *Aust. J. Sci. Res. A* 1A (1948) 70-84.
- [24] H. FISCHMEISTER y B. KARLSSON, *Z. Metall kd.* 68 (1977) 311-327.
- [25] E. L. SHVEDKOV y E. T. Denicenko. *Manual-Diccionario de Pulvimetalurgia*, Kiev, Naukova Dumka, 1982, pp.252-253.
- [26] G.G. GNESIN, *Materiales sinterizados para la electrotecnia y electrónica*, Metalurgia, Moscú, 1981, pp. 177-187.
- [27] *Catálogo de productos UTP 1997*, Ediciones Académicas Clavería, S.A de C.V., EDACO, México, 1987.
- [28] S.S. KIPARISOV y G.A. LIBENSON, *Pulvimetalurgia*, Metalurgia, Moscú, 1980, pp. 87-103.
- [29] P.H. DAWSON, *GEC Rev.* 2 (1986) 168-170.
- [30] C.S. BARRET y T.B. MASSALKI, *Structure of metals*, 3rd Ed., Mc Graw-Hill, New York, 1966, pp. 628-631.
- [31] YU. KOZLOV, *Ciencia de los materiales*, MIR, Moscú, 1986, p. 137.
- [32] S.S. KIPARISOV y G.A. LIBENSON, *Pulvimetalurgia*, Metalurgia, Moscú, 1980, pp. 409-421.
- [33] N. KRIVIJ, W. SUWARDJO, J. FRADES, T. CHACÓN, A. CORES y L. GARCÍA, *Rev. Metal. Madrid* 32 (1996) 391-396.
- [34] N. KRIVIJ, W. SUWARDJO, L. GARCÍA, A. CORES y A. FORMOSO, *Rev. Metal. Madrid* 33 (1997) 229-238.
- [35] N. KRIVIJ, X. SUÁREZ, J. VILLALONGA y A. CORES, *Rev. Metal. Madrid* 36 (2000) 452-458.
- [36] M. MARTÍNEZ, W. SUWARDJO, L. GARCÍA, R. FORMOSO y A. CORTÉS, *Rev. Metal. Madrid* 38 (2002) 173-182.