(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 811 229**

(51) Int. CI.:

B23H 7/08 (2006.01)
B32B 15/01 (2006.01)
C22C 9/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2006 PCT/US2006/045562**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2007 WO07064646**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2006 E 06838494 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 2005343**

(54) Título: **Alambre para EDM**

(30) Prioridad:

01.12.2005 US 741423 P
27.10.2006 US 854772 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2021

(73) Titular/es:

THERMOCOMPACT (100.0%)
181 route des Sarves
4370 Epagny Metz-Tessy, FR

(72) Inventor/es:

TOMALIN, DANDRIDGE

(74) Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Alambre para EDM

Sector técnico

La presente invención se refiere a la mecanización por descarga eléctrica (EDM) y específicamente a un electrodo de alambre para ser utilizado en la mecanización por descarga y a un proceso para la fabricación de un electrodo de alambre para EDM. La Patente US 5762726 A da a conocer un electrodo de alambre de este tipo y el proceso para la fabricación de un electrodo de alambre para EDM.

Estado de la técnica anterior a la invención

El proceso de mecanización por descarga eléctrica (EDM) es bien conocido. En el sector de la EDM con un alambre que se desplaza, se establece un potencial eléctrico (tensión) entre un electrodo de alambre para EDM que se mueve de manera continua y una pieza a mecanizar conductora de la electricidad. El potencial se eleva hasta un nivel tal que se crea una descarga entre el electrodo de alambre para EDM y la pieza a mecanizar. El intenso calor generado por la descarga funde y/o vaporiza una parte, tanto de la pieza a mecanizar como del alambre, para eliminar de este modo, en una cantidad muy pequeña, un fragmento de la pieza a mecanizar. Mediante la generación de un gran número de dichas descargas, un gran número de cantidades son eliminadas de la pieza a mecanizar, de modo que la pieza a mecanizar puede ser cortada con mucha exactitud para obtener un contorno plano deseado. Se utiliza un fluido dieléctrico para establecer las condiciones eléctricas necesarias para iniciar la descarga y para eliminar los residuos de la zona de mecanización activa.

El residuo resultante de la fusión y/o la vaporización de una pequeña cantidad (volumen) de la superficie, tanto de la pieza a mecanizar como del electrodo de alambre para EDM, está contenido en una envoltura gaseosa (plasma). Finalmente, el plasma es aplastado bajo la presión del fluido dieléctrico. El líquido y las fases de vapor creadas por medio de la fusión y/o la vaporización del material son enfriados mediante el fluido dieléctrico para formar residuos sólidos. Por lo tanto, el proceso de corte implica la formación repetida de un plasma y el enfriamiento de ese plasma. Este proceso se produce secuencialmente a intervalos de nanosegundos en muchos puntos a lo largo de la longitud del alambre para EDM.

Es importante que la eliminación sea eficiente porque, si la eliminación no es eficiente, las partículas conductoras acumuladas en los huecos pueden crear el potencial para formar arcos eléctricos. Los arcos no son deseables en absoluto ya que producen la transferencia de una gran cantidad de energía que produce grandes boquetes o cráteres, es decir, defectos metalúrgicos, que se introducen en la pieza a mecanizar y en el electrodo de alambre para EDM. Dichos defectos en el alambre pueden hacer que el alambre para EDM se rompa con efectos catastróficos.

Un alambre para EDM debe poseer una resistencia a la tracción que sobrepase un valor umbral deseado para evitar un fallo en la tracción del electrodo de alambre inducido por la tensión de precarga aplicada, y debe poseer asimismo una elevada resistencia a la fractura para evitar un fallo catastrófico inducido por los defectos producidos por el proceso de descarga. La resistencia a la fractura es una medida de la resistencia de un material a los defectos que pueden ser introducidos en el material y que pueden crecer potencialmente hasta el tamaño crítico que podría producir un fallo catastrófico del material. El umbral deseado de la resistencia a la tracción de un electrodo de alambre para EDM se considera que debe estar comprendido dentro de un intervalo de 60.000 a 90.000 psi (de 414 a 620 N/mm^2).

En la técnica anterior es conocida la utilización de un electrodo de alambre para EDM con un núcleo compuesto de un material que tiene una resistencia mecánica relativamente elevada con un recubrimiento metálico relativamente delgado que cubre el núcleo y comprende, como mínimo, el 50 % de un metal que tiene un bajo calor volumétrico de sublimación, tal como cinc, cadmio, estaño, plomo, antimonio, bismuto o una aleación de los mismos. En la Patente US 4,287,404 se da a conocer una estructura de este tipo que da a conocer un alambre que tiene un núcleo de acero con un recubrimiento de cobre o plata que es recubierto a continuación con un recubrimiento de cinc u otro metal adecuado que tenga un bajo calor volumétrico de sublimación.

Asimismo, es conocido por la técnica anterior, por ejemplo, a partir de la Patente US 4,686,153, cómo recubrir con cinc un alambre de acero revestido de cobre y, a continuación, calentar el alambre recubierto con cinc para producir una interdifusión entre el cobre y el cinc para convertir de este modo la capa de cinc en una capa de una aleación de cobre y cinc. Esta patente describe la conveniencia de una capa de aleación de fase beta para los propósitos de la EDM. El cobre-cinc tiene una concentración de cinc de aproximadamente el 45 % en peso, disminuyendo la concentración de cinc radialmente hacia el interior desde la superficie exterior. La concentración promedio de cinc en la capa de cobre-cinc es menor del 50 % en peso, pero no menor del 10 % en peso. Por consiguiente, la capa superficial incluye un material de una aleación de cobre y cinc de fase beta en la superficie exterior dado que el material de la aleación de cobre y cinc de fase beta tiene una concentración de cinc que oscila entre el 40 % y el 50 % en peso. Aunque esta patente reconoce que una capa de una aleación de cobre y cinc formada por medio

de un proceso de recocido de difusión podría contener potencialmente fase épsilon (aproximadamente el 80 % de contenido en cinc), fase gamma (aproximadamente el 65 % de contenido en cinc), fase beta (aproximadamente el 45 % de contenido en cinc) y fase alfa (aproximadamente el 35 % de contenido en cinc), la patente afirma que el material de aleación preferido en el recubrimiento es de fase beta.

Diversas patentes de la técnica anterior, por ejemplo, la Patente US 5,762,726, reconocen que las fases con un contenido en cinc más elevado en el sistema cobre-cinc, específicamente la fase gamma, podrían ser más deseables para electrodos de alambre para EDM, pero la incapacidad de vencer la fragilidad de estas fases limita la viabilidad comercial de la fabricación de dicho alambre.

Esta situación cambió con la tecnología dada a conocer en la Patente US 5,945,010. Por medio de la utilización de recocidos de difusión a baja temperatura, el inventor fue capaz de incorporar partículas frágiles de fase gamma en un recubrimiento sobre diversos sustratos metálicos que contienen cobre. No obstante, debido a las características de fragilidad de la aleación de latón de fase gamma, la microestructura resultante se caracteriza por un recubrimiento discontinuo en el que el material del sustrato está expuesto al hueco en estas discontinuidades. Por consiguiente, las inferiores propiedades de corte del sustrato, en comparación con la aleación de latón de fase gamma, empeoran el rendimiento global del alambre en proporción a la cantidad de área de sustrato expuesta y al rendimiento relativo de corte de la aleación de fase gamma y el material del sustrato expuesto. La Patente ‘010 descubrió que la fase épsilon es demasiado inestable para ser incorporada en el recubrimiento resultante de la aleación de alto contenido en cinc, aunque reconocía el potencial de un posible recubrimiento épsilon frágil.

Han existido un cierto número de intentos de combinar los beneficios de diversos materiales de recubrimiento por medio de la fabricación de recubrimientos multicapa. En la Patente US 6,306,523, la Patente US 6,566,622 y la Patente US 6,781,081 pueden encontrarse ejemplos de estos intentos. Todas las construcciones multicapa dadas a conocer en estas patentes que contienen latón de fase gamma están sometidas a las mismas limitaciones que presenta un latón de fase gamma monocapa, la fragilidad de la fase gamma crea una capa discontinua que está expuesta a la pieza a mecanizar, incluso cuando la fase gamma está cubierta por una capa adicional.

Características de la invención

La presente invención da a conocer un alambre para EDM, según la reivindicación 1, que incluye un recubrimiento exterior de latón de fase gamma con una sobrecapa continua de cinc no aleado o de latón dúctil de fase épsilon que retiene la fase gamma llenando de este modo cualquier discontinuidad, de modo que presenta una superficie con propiedades eléctricas homogéneas para la pieza a mecanizar, y un proceso para la fabricación de un alambre de este tipo según se reivindica en las reivindicaciones 11 o 13.

La presente invención comprende, en una forma de la misma, un alambre para EDM con un núcleo de un metal, una aleación de un metal o una estructura compuesta de metales o aleaciones en capas y que tiene, como mínimo, algo de cobre en la superficie exterior o cerca de la misma. A efectos explicativos, esta construcción del núcleo será denominada “de soporte de cobre”. Alrededor de este núcleo “de soporte de cobre” existe un recubrimiento sustancialmente continuo de cinc no aleado o de aleación de latón de fase épsilon en el que están dispersadas partículas sueltas de aleación de latón de fase gamma.

La presente invención comprende asimismo un proceso para la fabricación de alambre para EDM con un núcleo de soporte de cobre y un recubrimiento sustancialmente continuo de cinc no aleado en el que están dispersas partículas sueltas de aleación de latón de fase gamma. El proceso comprende recubrir con cinc un núcleo de soporte de cobre, y convertir el cinc en latón de fase gamma con un tratamiento térmico a baja temperatura en una atmósfera no oxidante. A continuación, se deposita un recubrimiento adicional de cinc sobre el recubrimiento de aleación de latón de fase gamma y el compuesto es estirado hasta su diámetro de acabado. El recubrimiento de cinc es dúctil y fluye hacia los intersticios creados cuando la fase gamma se fractura debido a su incapacidad de deformarse plásticamente. El alambre puede ser recocido para ajustar las propiedades mecánicas del alambre al nivel deseado. Alternativamente, el recubrimiento de cinc no aleado puede ser convertido en latón dúctil de fase épsilon en el diámetro de acabado o en un diámetro intermedio mediante la realización de un recocido de difusión bajo unas condiciones de temperatura extremadamente baja que permite que la fase épsilon sea formada en condiciones estables. Si la conversión a épsilon es realizada en un diámetro intermedio, el alambre recubierto puede ser estirado en frío a continuación hasta el diámetro de acabado.

Una ventaja de la presente invención es que a la pieza a mecanizar se le presenta una superficie con propiedades uniformes cuando se inicia el proceso de erosión. En el caso de un “corte basto” en el que la velocidad es de máximo interés y la precisión es de menor importancia, cualquier cinc o latón de fase épsilon que cubra las partículas de aleación de latón de fase gamma subyacentes será consumido rápidamente porque será proporcionalmente más delgado que dicho llenado en los huecos entre las partículas gamma, dejando al descubierto de este modo el recubrimiento gamma de alto rendimiento. En el caso de las zonas del hueco llenadas con cinc o fase épsilon, cualquiera de estas composiciones será de un rendimiento mayor y de una aproximación más cercana a las propiedades de la fase gamma que el material del sustrato que quedaría en otro caso al descubierto. Para un “paso de nivelación” (un paso con una baja tensión de hueco para eliminar con precisión cantidades controladas de

la pieza a mecanizar para conseguir de este modo la dimensión deseada de la pieza a mecanizar), tanto un cinc no aleado como un recubrimiento continuo de fase épsilon tendrán un potencial de descarga más uniforme, produciendo un mejor control sobre el proceso de eliminación de metal que debe ser controlado más estrechamente para garantizar la precisión.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de la presente invención resultarán más evidentes y la presente invención será comprendida mejor haciendo referencia a la siguiente descripción de una realización de la presente invención tomada conjuntamente con las figuras que se acompañan, en las que:

Las figuras 1 a 4 son vistas en sección transversal de alambre para EDM fabricado según una realización de la presente invención;
La figura 5 es una microfotografía óptica de una sección transversal del núcleo de soporte de cobre y un recubrimiento sustancialmente continuo de cinc no aleado en el que están dispersas partículas sueltas de aleación de latón de fase gamma, procesado según se describe en el ejemplo 1;
La figura 6 es una microfotografía electrónica de barrido de una vista del perfil de un alambre con un recubrimiento de fase gamma procesado en el modo convencional del proceso de la Patente ‘010 (figura 5a), en comparación con la vista del perfil de un alambre con un núcleo de soporte de cobre y un recubrimiento sustancialmente continuo de cinc no aleado en el que están dispersas partículas sueltas de una aleación de latón de fase gamma, procesado según se describe en el ejemplo 1 (figura 5b);
La figura 7 en una vista en sección transversal de un alambre para EDM después de un recocido de difusión, fabricado según una realización de la presente invención.

Descripción detallada

En general, el alambre para EDM se cortará de manera más eficiente si contiene una superficie con un contenido en cinc más elevado en dicha superficie de erosión. Por ejemplo, un alambre de una aleación de latón recubierto de cinc se cortará de manera más eficiente que un alambre de una aleación de latón no recubierto. No obstante, el punto de fusión del recubrimiento es un factor importante en la determinación de la eficiencia del comportamiento de cualquier recubrimiento dado. Dado que el cinc no aleado tiene un punto de fusión relativamente bajo de 420 °C, los recubrimientos aleados con puntos de fusión más elevados (por ejemplo, recubrimientos de aleaciones de latón de fases beta, gamma o épsilon), pero con menor contenido en cinc, pueden superar a los recubrimientos de cinc no aleado en algunas aplicaciones. Los puntos de fusión más elevados de estas aleaciones retrasan su eliminación de la superficie de erosión por las fuerzas mecánicas e hidráulicas que actúan sobre ellas y, por consiguiente, está disponible un contenido en cinc más elevado en la superficie cuando es necesario para una erosión adicional. Desafortunadamente, estas fases de aleación con un contenido en cinc más elevado tienden a ser frágiles y, por consiguiente, es difícil y/o costoso que sean incluidas en alambres duros estirados para EDM como recubrimientos continuos.

Las fases de las aleaciones de latón aplicables habitualmente a los alambres para EDM son fase alfa, fase beta, fase gamma y fase épsilon. De entre las fases de aleación de latón, la fase alfa tiene el punto de fusión más elevado (aproximadamente 910 °C en su contenido en cinc más elevado comercialmente viable del 35 al 37 por ciento en peso), la fase beta tiene el siguiente punto de fusión más elevado (aproximadamente 890 °C en un recubrimiento recocido por difusión, habitualmente con un contenido en cinc típico del 45 por ciento en peso), la fase gamma tiene el siguiente punto de fusión más elevado (aproximadamente 800 °C en un recubrimiento recocido por difusión, habitualmente con un contenido en cinc típico del 65 por ciento en peso) y la fase épsilon tiene el punto de fusión más bajo (aproximadamente 550 °C en un recubrimiento recocido por difusión, habitualmente con un contenido en cinc típico del 85 por ciento en peso).

A medida que aumenta el contenido en cinc de estas fases de la aleación, la ductilidad de las fases disminuye proporcionalmente y, por ello, el alambre resultante es más difícil de estirar sin dañar el recubrimiento. La capacidad de estirado en frío del alambre para EDM es importante porque es necesario que el alambre para EDM tenga una elevada resistencia a la tracción para soportar las cargas de tracción impuestas sobre el alambre para mantenerlo situado con precisión durante el desarrollo del proceso. Debido a su contenido en cinc relativamente bajo, los recubrimientos de fase beta han sido aplicados con éxito a alambres para EDM, incluso a pesar de que son tan frágiles que un alambre de sección completa de fase beta sería difícil de estirarse en frío. Los recubrimientos de fase gamma son todavía más frágiles que los recubrimientos de fase beta y, de hecho, a menudo son tan frágiles que producen recubrimientos discontinuos en los que unas islas de fase gamma quedan incrustadas en la superficie del alambre después de haber sido estiradas en frío. Sin embargo, aunque el recubrimiento no cubre la totalidad de la superficie del alambre, el aumento del contenido en cinc en la superficie es suficiente para que se haya demostrado que los recubrimientos de fase gamma superan los recubrimientos de fase beta. Los recubrimientos de fase épsilon, procesados de manera convencional, son todavía más frágiles que los de fase gamma. Además de la limitación de la fragilidad, la fase épsilon es muy inestable, lo que hace difícil controlar el proceso de conversión de un recubrimiento de cinc para dar fase épsilon de una manera similar a la utilizada para convertir un recubrimiento de

cinc para dar fase gamma.

La presente invención, dada a conocer en el presente documento, da a conocer un proceso que permite que las discontinuidades presentes en recubrimientos frágiles de fase gamma sean llenadas con cinc no aleado que es suficientemente dúctil para fluir hacia el interior de estas discontinuidades y llenarlas con un material que tiene unas características de eliminación mejores que el sustrato del soporte de cobre. Aunque un punto de fusión del cinc más bajo es considerado, en general, que es un inconveniente de los recubrimientos de cinc en comparación con los recubrimientos de aleación, el cinc todavía tiene valor para llenar las discontinuidades en la fase gamma porque (1) es suficientemente dúctil para ser estirado en frío y (2) no requiere ningún tratamiento térmico que potencialmente podría convertir la fase gamma relativamente inestable en una forma menos eficiente. La presente invención da a conocer asimismo un proceso capaz de convertir dicho recubrimiento de cinc en una forma dúctil de latón de fase épsilon que permite que el punto de fusión más elevado de la fase épsilon sea ventajoso. Además, dado que el proceso de la presente invención de formación de la fase épsilon puede producir un producto dúctil capaz de ser estirado en frío, la fase épsilon puede ser aplicada a cualquier sustrato, incluyendo los que no contienen latón de fase gamma, dando como resultado de ese modo un recubrimiento más eficiente producido con un coste de fabricación menor que otros recubrimientos recocidos por difusión (por ejemplo, latón de fase beta o gamma)

En el siguiente ejemplo, un alambre para EDM fue producido con un diámetro de acabado de 0,25 mm por medio del proceso indicado.

Ejemplo 1

Núcleo: Cu/Zn 60/40
Electrodeposición de 10 μm de cinc a 0,9 mm de diámetro
Temperatura del tratamiento térmico: 170 °C durante 6 horas en atmosfera de nitrógeno
Electrodeposición de 10 μm de cinc
Estirado en frío desde 0,9 mm hasta 0,25 mm.

Haciendo referencia a la figura 1, un núcleo 12 de alto contenido en latón está cubierto con un recubrimiento de cinc 15 que tiene un grosor inicial de 10 μm. Después de un tratamiento térmico a 170 °C durante 6 horas en una atmósfera de nitrógeno, el alambre está representado en la figura 2, con un recubrimiento de latón 18 de fase gamma sobre el núcleo 12 de alto contenido en latón. Dado que se utilizó una atmósfera no oxidante de nitrógeno gaseoso durante el tratamiento térmico, el alambre puede ser electrodepositado de nuevo con un recubrimiento de cinc 15 que tiene un grosor de 10 μm tal como se representa en la figura 3, en la que el recubrimiento gamma 18 y el núcleo 12 de alto contenido en cobre son los mismos que los representados en la figura 2. El estirado en frío del alambre compuesto hasta su diámetro de acabado de 0,25 mm hace que la fase gamma frágil se fracture y forme partículas sueltas 19, tal como se representa en la figura 4. Sin embargo, el recubrimiento de cinc 16 es suficientemente dúctil para fluir alrededor de estas partículas y encapsularlas en el núcleo 12 de alto contenido en latón.

La figura 5 muestra una vista en sección transversal del alambre fabricado en el ejemplo 1 tal como se observa en un microscopio óptico. Las características de la microfotografía están indicadas de modo que pueden ser comparadas con la estructura esquemática descrita en la figura 4.

La figura 6 muestra la vista del perfil de (a) el alambre de la presente invención en comparación con (b) un alambre gamma recubierto procesado de manera convencional, en la que ambos alambres están vistos en un microscopio electrónico de barrido (SEM). El alambre gamma recubierto procesado de manera convencional utilizó el mismo proceso que el del ejemplo 1, excepto en que fue suprimida la segunda etapa de electrodeposición después de haber suprimido el tratamiento térmico de conversión para dar gamma. Este es esencialmente el mismo proceso que el descrito en la Patente US 5,945,010 de la técnica anterior. En el perfil, las discontinuidades en el recubrimiento de fase gamma procesado de manera convencional aparecen como fisuras superficiales. Dado que en el alambre de la presente invención la mayor parte de estas discontinuidades han sido llenadas con cinc, existen muchas menos fisuras distintivas como características superficiales observadas en su perfil, tal como se muestra por medio de la figura 6(b).

Se debe tener en cuenta que el término “núcleo” utilizado en toda la descripción de la presente invención pretende indicar la descripción más general de la parte del alambre que está situada debajo de la capa superficial exterior que puede estar compuesta de una o varias fases metalúrgicas distintivas. El término “núcleo” no está limitado a un metal homogéneo o a una aleación, y puede incluir una estructura en capas o estratificada, tal como una capa de latón de fase beta sobre un sustrato de acero revestido de cobre. Por ejemplo, el “núcleo” puede contener dos capas que cubren un sustrato homogéneo, pero asimismo se contemplan otras estructuras más complejas que contienen múltiples componentes. Según la presente invención, el sustrato del núcleo incluye preferentemente cobre en la superficie exterior o cerca de la misma. De este modo, la presente invención contempla una variedad de materiales del sustrato. Estos materiales del sustrato contemplados incluyen, pero no están limitados a, cobre puro, latón, latón sobre cobre, acero revestido de cobre, latón sobre acero revestido de cobre, acero revestido de latón y latón sobre

latón (por ejemplo, latón de alto contenido en cinc sobre latón de bajo contenido en cinc). Entre los ejemplos más específicos se incluyen cobre no aleado con una capa de latón de fase beta en su superficie, una aleación homogénea de latón de una sola fase, una aleación homogénea de latón de una sola fase con una capa de latón de fase beta en su superficie y un acero revestido de cobre con una capa de latón de fase beta en su superficie. Todas estas construcciones de núcleos son contempladas por la presente invención. A efectos de explicación, la construcción del núcleo contemplada por la presente invención debe ser denominada “soporte del núcleo”.

La invención descrita en el presente documento permite asimismo que el recubrimiento exterior de cinc sea convertido en latón de fase épsilon de una manera controlada, permitiendo de este modo aprovechar el punto de fusión más elevado de la fase de la aleación. Dichos recubrimientos pueden ser utilizados, tal como se ha descrito previamente, para llenar los huecos de los recubrimientos discontinuos de fase gamma, o aplicados a otros sustratos para aprovechar sus características mejoradas. Dado que estos recubrimientos son procesados a temperaturas de recocido de difusión más bajas que las intentadas anteriormente (de 50 °C a 140 °C), se ha descubierto que los recubrimientos de cinc pueden ser convertidos en fase épsilon a temperaturas muy bajas en las que la fase épsilon es muy estable. A estas bajas temperaturas, el proceso puede ser controlado con precisión de tal modo que la estructura metalúrgica del alambre (y, por consiguiente, sus propiedades mecánicas) no son modificadas y la fase épsilon resultante es dúctil.

En general, se considera que el punto de fusión más bajo de la fase épsilon es un inconveniente de los recubrimientos de fase épsilon en comparación con los recubrimientos de fase beta o gamma. No obstante, se ha descubierto que el mayor contenido en cinc de la fase épsilon compensa este inconveniente, de tal modo que se ha descubierto que los recubrimientos de fase épsilon encajan con el rendimiento de los recubrimientos de fase beta a la vez que son competitivos con el rendimiento de los recubrimientos de fase gamma. Por consiguiente, el recubrimiento de fase épsilon proporciona un rendimiento de corte similar a la vez que tiene un coste de fabricación menor que los de fase beta o gamma. Infiltrando el recubrimiento de fase épsilon poroso con grafito, es decir, estirando el alambre en un lubricante compuesto por una suspensión de finas partículas de grafito en un medio acuoso, se puede mejorar aún más el rendimiento de un recubrimiento de fase épsilon.

Dado que el proceso se produce a una temperatura relativamente baja durante un tiempo relativamente largo (en comparación con el tiempo de enfriamiento a temperatura ambiente), se puede considerar que la muestra es procesada en condiciones de equilibrio. Los diagramas de equilibrio de fase aceptados universalmente para el sistema binario de cobre/cinc, por ejemplo, Constitution of Binary Alloys de Hansen et al., páginas 649 a 655, 1958, identifica una fase de aleación de Zn/Cu 84/16 como latón de fase épsilon.

Tal como se puede ver a partir de la descripción anterior, el estirado de un alambre de núcleo de soporte de cobre recubierto con cinc hasta su tamaño de acabado y, a continuación, el tratamiento térmico del alambre a muy baja temperatura proporciona un alambre para EDM con un recubrimiento de latón de fase épsilon sustancialmente continuo a la vez que mantiene las propiedades mecánicas del alambre del núcleo. El recubrimiento resultante del recocido de difusión puede ser poroso, permitiendo que sea infiltrado con grafito para mejorar adicionalmente sus propiedades de descarga. El electrodo de alambre para EDM resultante puede igualar la velocidad de corte de los recubrimientos de fase beta y seguir siendo competitivo con la velocidad de corte de los recubrimientos de fase gamma, con un coste de fabricación menor que los de cualquiera de los otros recubrimientos de fase de alto contenido en cinc. Se considera asimismo que el recubrimiento épsilon es suficientemente dúctil para permitir un estirado en frío del alambre tratado térmicamente a la vez que conserva un recubrimiento sustancialmente continuo de latón de fase épsilon.

El proceso de “corte de nivelación” para producir unas tolerancias dimensionales muy precisas es un aspecto importante en muchos trabajos de EDM. Durante este proceso, se utiliza una tensión de hueco considerablemente más baja para eliminar pequeñas cantidades de la pieza que se está mecanizando. Con el fin de controlar con precisión el “corte de nivelación”, la superficie del electrodo de alambre utilizada debe estar caracterizada por tener una función de trabajo termiónica baja y uniforme. Las aleaciones o los recubrimientos discontinuos de las aleaciones tendrán más funciones de trabajo termiónicas no uniformes que los de los materiales no aleados o de bajo contenido en aleación. Por consiguiente, el cinc no aleado y los recubrimientos de fase épsilon (con el contenido en aleación más bajo, es decir, el porcentaje de cobre, de las aleaciones de latón de fase) tendrán unas características de funciones de trabajo termiónicas muy uniformes. De este modo, superarán los latones convencionales (Cu/Zn 65/35 o Cu/Zn 63/37), los alambres recubiertos de latón de fase beta (Cu/Zn 55/45) o los alambres recubiertos de fase gamma (Cu/Zn 35/65 que son discontinuos) en cortes de “paso de nivelación”.

REIVINDICACIONES

1. Electrodo de alambre, para ser utilizado en un aparato de mecanización por descarga eléctrica, comprendiendo dicho electrodo de alambre:

un núcleo de cobre de soporte (12);
un recubrimiento (18) dispuesto sobre dicho núcleo de cobre de soporte (12);
dicho recubrimiento incluye una sobrecapa sustancialmente continua de cinc o de latón de fase épsilon;

caracterizado por que:

- dicho recubrimiento incluye partículas dispersas sueltas (19) de aleación de latón de fase gamma;
- dicha sobrecapa retiene las partículas de la aleación de latón de fase gamma, de modo que llena las discontinuidades entre las partículas de la aleación de latón de fase gamma.

2. Electrodo de alambre, según la reivindicación 1, en el que dicha sobrecapa está compuesta de cinc.

3. Electrodo de alambre, según la reivindicación 1, en el que dicha sobrecapa está compuesta de latón de fase épsilon.

4. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho núcleo (12) comprende un latón que tiene un contenido en cinc comprendido dentro de un intervalo del 5 % al 40 % en peso.

5. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho núcleo (12) comprende una capa de latón de fase beta estratificada sobre un sustrato de latón de fase alfa.

6. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho núcleo comprende una capa de latón de fase beta estratificada sobre un sustrato de una mezcla de latón de fases alfa/beta.

7. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho núcleo (12) comprende una capa de latón de fase beta estratificada sobre un sustrato de cobre.

8. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que dicho núcleo (12) comprende una capa de latón de fase beta estratificada sobre un sustrato de acero revestido de cobre.

9. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que dicho recubrimiento es un recubrimiento sustancialmente continuo que cubre sustancialmente la totalidad de la superficie exterior de dicho núcleo (12).

10. Electrodo de alambre, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que dicho recubrimiento ha sido infiltrado con grafito.

11. Proceso para la fabricación de un alambre eléctrico para la mecanización por descarga eléctrica, comprendiendo dicho proceso:

disponer un alambre (12) con un núcleo de metal de soporte de cobre; recubrir dicho alambre del núcleo (12) con un primer recubrimiento de cinc (15) para formar un núcleo recubierto;
calentar dicho núcleo recubierto a una temperatura comprendida dentro de un intervalo de 50 °C a 450 °C durante un periodo de tiempo comprendido dentro de un intervalo de 3 a 50 horas hasta que se forme un alambre compuesto que tiene un núcleo (12) recubierto con un recubrimiento de latón (18) de fase gamma;
enfriar dicho alambre compuesto;
recubrir el alambre compuesto formado de este modo con un segundo recubrimiento de cinc (15); y
estirar dicho alambre compuesto recubierto con un segundo recubrimiento de cinc (15) hasta su diámetro de acabado para hacer que el latón frágil de fase gamma se fracture y forme partículas sueltas (19), de modo que el recubrimiento de cinc (15) es seleccionado de manera que sea suficientemente dúctil para que, durante el proceso de estirado, fluya alrededor de dichas partículas de latón (19) de fase gamma, las encapsule, y forme un recubrimiento en el que una sobrecapa de cinc (16) retenga las partículas de latón (19) de fase gamma y llene las discontinuidades entre las partículas de latón (19) de fase gamma.

12. Proceso según la reivindicación 11, en el que dicho alambre compuesto recubierto con un segundo recubrimiento de cinc es sometido a una etapa de recocido de difusión bajo unas condiciones de temperatura en las que el recubrimiento de cinc no aleado es convertido en latón dúctil de fase épsilon en el diámetro de acabado.

13. Proceso para la fabricación de un alambre eléctrico para la mecanización por descarga eléctrica, comprendiendo dicho proceso:

disponer un alambre (12) con un núcleo de metal de soporte de cobre; recubrir dicho alambre de núcleo (12) con un primer recubrimiento de cinc (15) para formar un núcleo recubierto;
calentar dicho núcleo recubierto a una temperatura comprendida dentro de un intervalo de 50 °C a 450 °C durante un periodo de tiempo comprendido dentro de un intervalo de 3 a 50 horas hasta que se forme un alambre compuesto que tiene un núcleo (12) recubierto con un recubrimiento de latón (18) de fase gamma;
enfriar dicho alambre compuesto;
recubrir el alambre compuesto formado de este modo con un segundo recubrimiento de cinc (15);
calentar dicho alambre compuesto recubierto con un segundo recubrimiento de cinc (15) durante una etapa de recocido de difusión, bajo unas condiciones de temperatura de la etapa de recocido de difusión de modo que el recubrimiento de cinc no aleado (15) se convierta en latón dúctil de fase épsilon en un diámetro intermedio, y
estirar dicho alambre compuesto recubierto con latón de fase épsilon hasta su diámetro de acabado para hacer que el latón frágil de fase gamma se fracture y forme partículas sueltas (19), de modo que el latón de fase épsilon es formado de manera que sea suficientemente dúctil para que, durante el proceso de estirado, fluya alrededor de dichas partículas de latón (19) de fase gamma, las encapsule, y forme una sobrecapa de latón épsilon (16) que retenga las partículas de latón (19) de fase gamma y llene las discontinuidades entre las partículas de latón (19) de fase gamma.

14. Proceso, según cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13, en el que la etapa de recocido de difusión es realizada a una temperatura comprendida dentro de un intervalo de 50 °C a 140 °C durante un periodo de tiempo comprendido dentro de un intervalo de 3 a 50 horas hasta que se forme una sobrecapa de latón de fase épsilon.

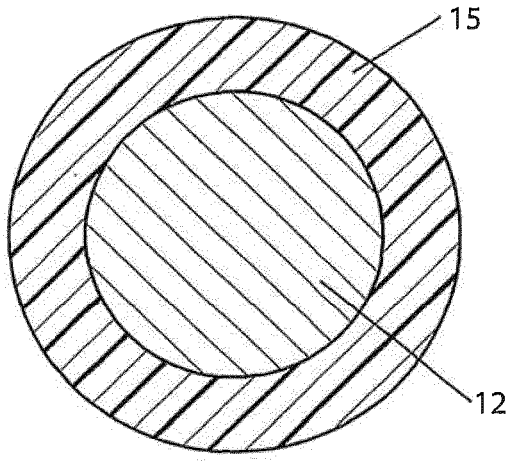

Fig. 1

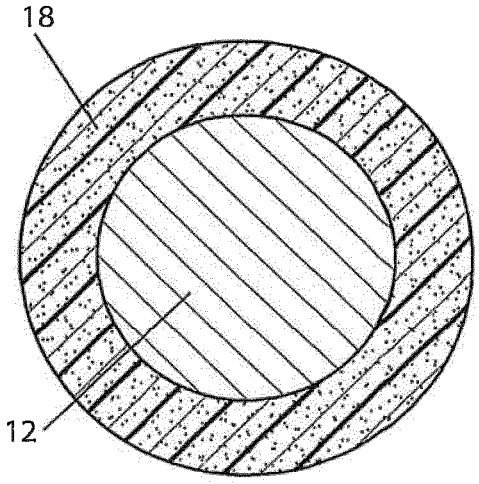

Fig. 2

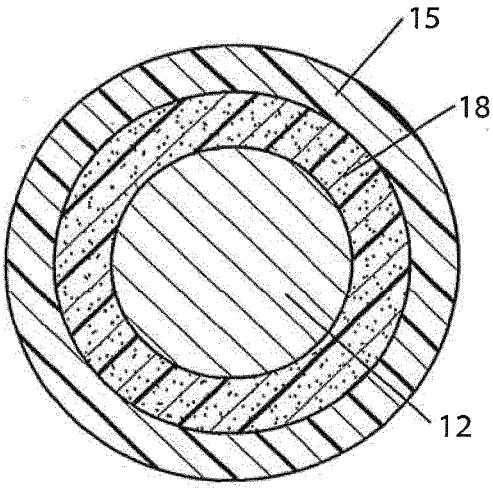

Fig. 3

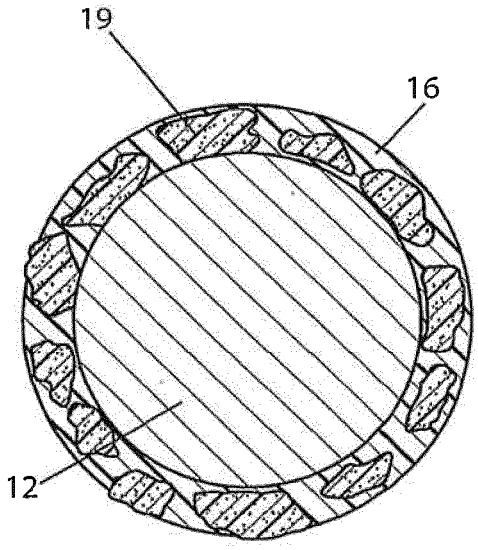

Fig. 4

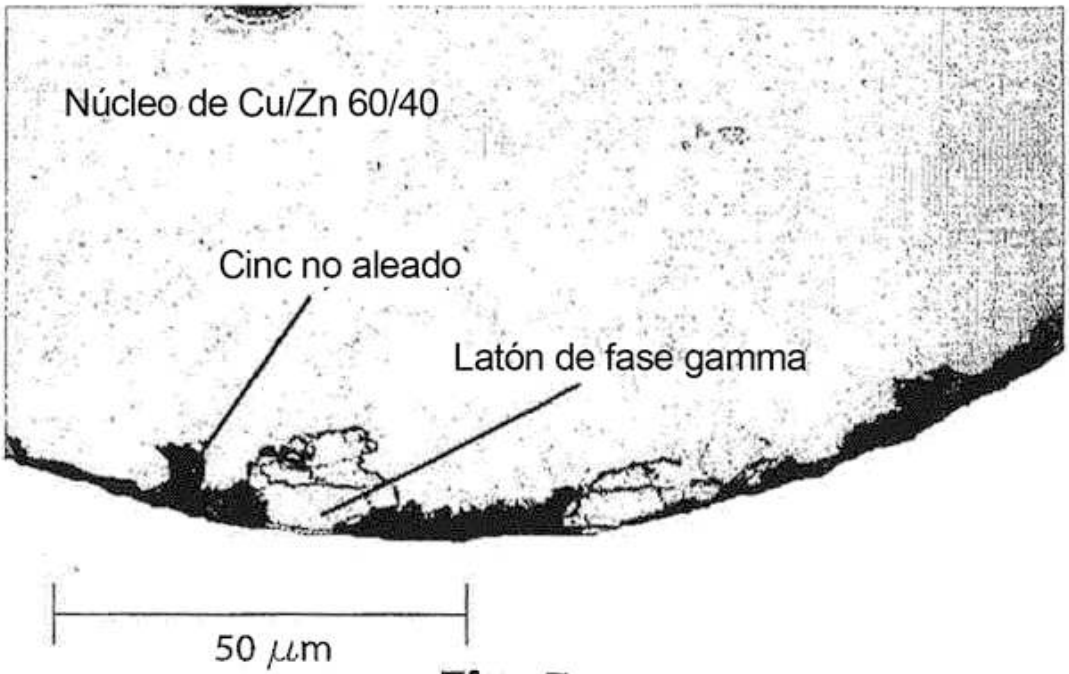
Núcleo de Cu/Zn 60/40
Cinc no aleado
Latón de fase gamma
50 μm

Fig. 5

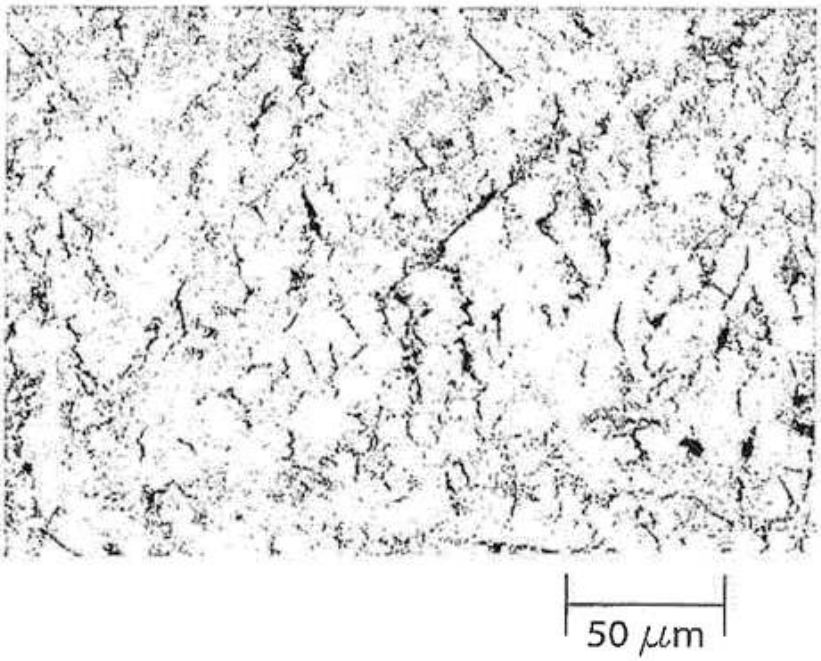
50 μm

Fig. 6A

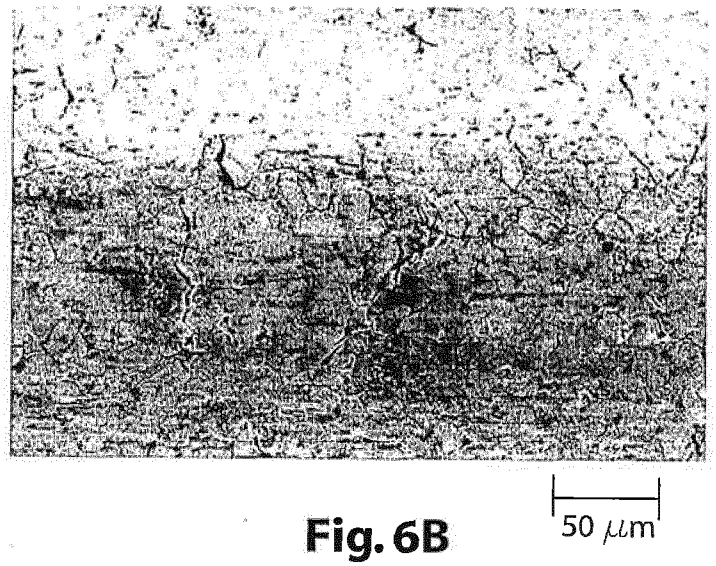

Fig. 6B

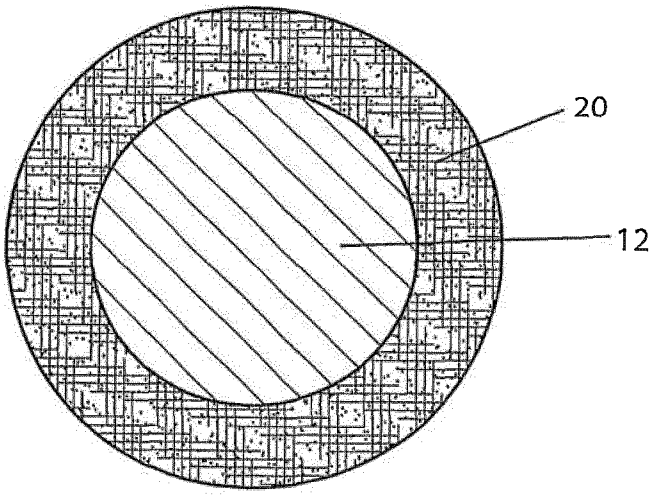

Fig. 7

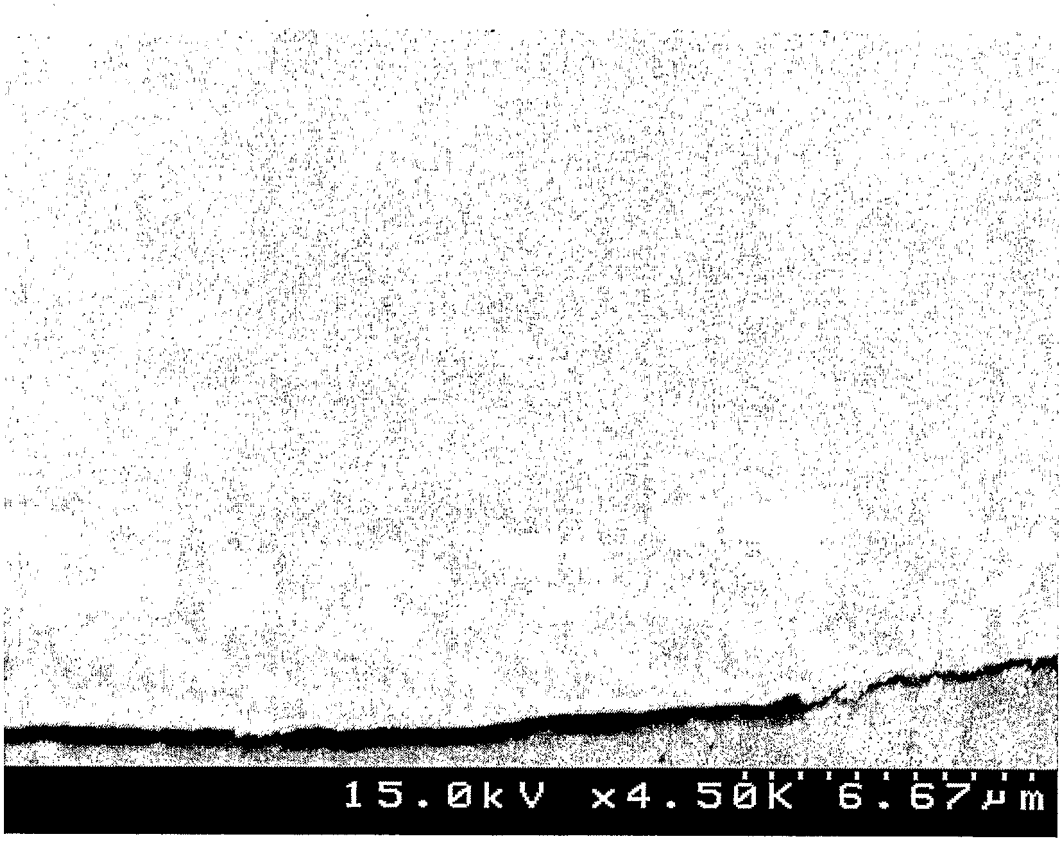

Fig. 8

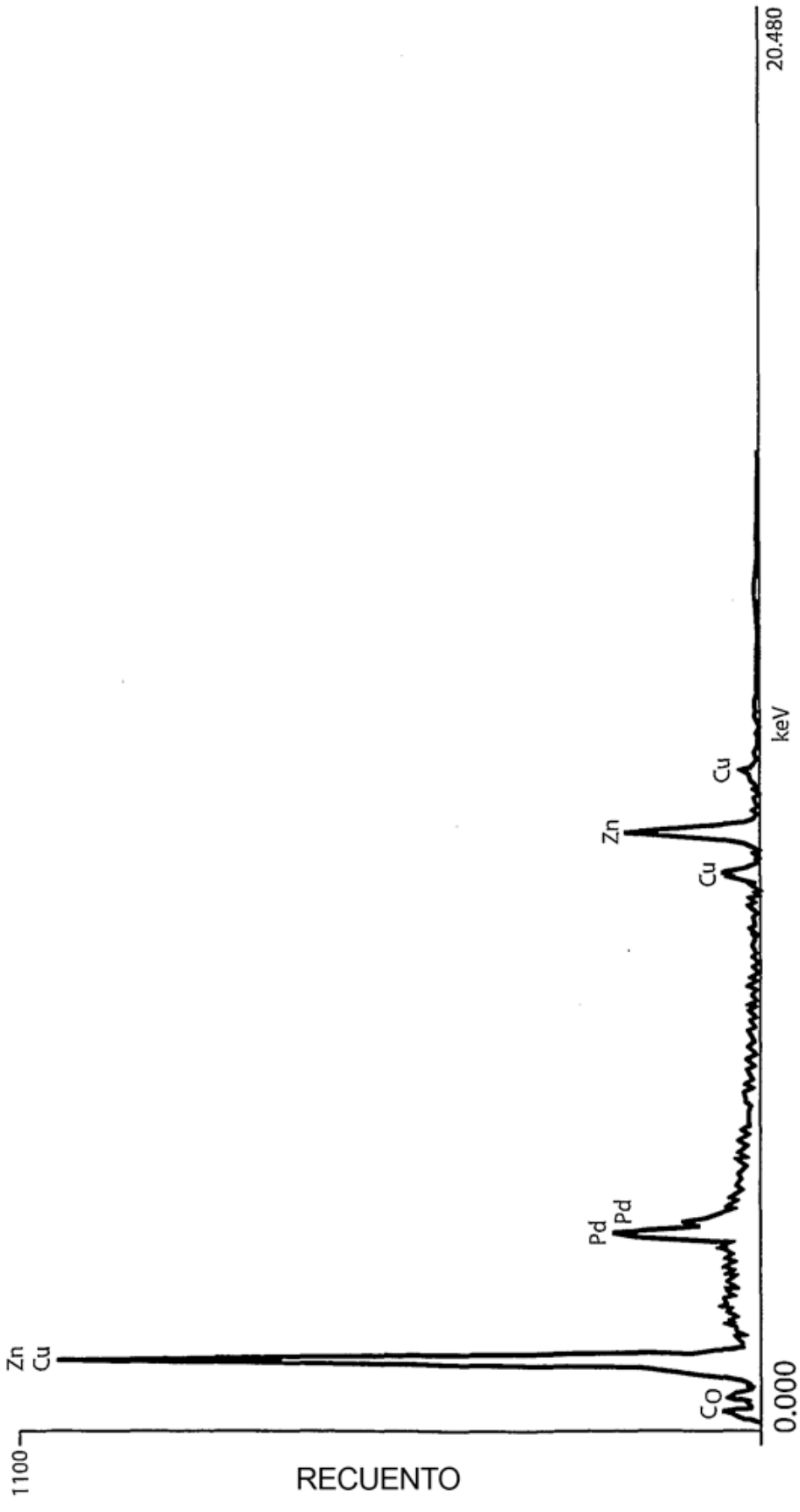

Fig. 9

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 5762726 A
- US 4287404 A
- US 4686153 A
- US 5945010 A

- US 5762726 A
- US 4287404 A
- US 4686153 A
- US 5945010 A

Literatura no patente citada en la descripción

- **HANSEN et al.** *Constitution of Binary Alloys,* 1958, 649-655