

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 486**

51 Int. Cl.:  
**B23H 7/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06709289 .0**  
96 Fecha de presentación: **10.02.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1846189**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.10.2007**

54 Título: **Varilla compuesta, para electroerosión**

30 Prioridad:  
11.02.2005 FR 0501547  
17.08.2005 FR 0508589

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
14.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
14.05.2012

73 Titular/es:  
**THERMCOMPACT  
Z.I. LES ILES  
74370 METZ TESSY, FR**

72 Inventor/es:  
**BLANC, Patrick;  
LY, Michel y  
SANCHEZ, Gérald**

74 Agente/Representante:  
**Durán Moya, Luis Alfonso**

ES 2 380 486 T3

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

Varilla compuesta, para electroerosión

## 5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a las varillas de electrodo utilizadas para el corte, por electroerosión de metales o materiales conductores de la electricidad en un máquina de electroerosión.

10 La mayor parte de máquinas de electroerosión modernas están concebidas para utilizar varillas de latón desnudo, en general de 0,25 mm de diámetro, y con una carga de rotura comprendida entre 400 y 1000 N/mm<sup>2</sup>.

15 Las varillas para electroerosión deben ser conductoras de la electricidad. Actúan por descarga eléctrica erosiva entre la varilla y una pieza conductora a mecanizar, en un medio dieléctrico controlado, a base de agua.

La obtención de precisión de mecanización, especialmente en la realización de cortes con ángulo de radio reducido, requiere utilizar varillas de pequeño diámetro y soportando una gran carga mecánica a la rotura para su disposición en la zona de mecanización y limitar la amplitud de las vibraciones. Se puede entonces intentar utilizar una varilla, en la que, como mínimo, una parte central es de acero, con la finalidad de aumentar la carga a la rotura.

20 Al ser la mecanización por electroerosión un procedimiento relativamente lento, existe simultáneamente la necesidad de hacer máxima la velocidad de mecanización, en especial, la velocidad de mecanización en desbaste. En la presente solicitud de patente, la velocidad de mecanización de desbaste se evalúa en mm<sup>2</sup>/min, es decir en la velocidad de aumento de una superficie cortada o en mm/min para una altura determinada de la pieza, es decir, en velocidad de penetración de la varilla en la pieza. Se comprenderá que esta velocidad depende directamente de la energía de la chispa desarrollada en la zona de mecanización entre la varilla y la pieza a mecanizar, y depende, por lo tanto, de la energía eléctrica que puede conducir la varilla hasta la zona de mecanización. Sin embargo, las descargas erosivas en la zona de mecanización, y el efecto Joule producido por la corriente eléctrica que atraviesa la varilla, tienden a calentarla.

30 Uno de los límites de las varillas para electroerosión es que se rompen bajo el efecto combinado del calentamiento y del esfuerzo mecánico. Esto obliga a los usuarios a limitar la potencia de mecanización de sus máquinas de erosión, en particular, cuando las condiciones de refrigeración de la varilla no son buenas, por ejemplo, en mecanización cónica o en la mecanización de piezas de gran altura.

35 La solución más simple para evitar las roturas consiste en utilizar varillas de gran diámetro, por ejemplo, de 0,30 mm y superiores. Sin embargo, esto limita el radio mínimo de los ángulos entrantes que se puede mecanizar.

40 Se ha propuesto ya utilizar varillas revestidas de zinc, siendo el efecto del revestimiento el aumentar la velocidad de mecanización con respecto a la de una varilla de latón desnudo. Sin embargo, la capa de zinc puro se desgasta muy rápidamente y no protege el ánima de la varilla durante un tiempo suficientemente largo para el corte de las piezas de gran altura.

45 Se ha propuesto recubrir un ánima de varilla con una capa de latón de fase  $\beta$ , es decir, un latón que contiene aproximadamente 47% de zinc, evitando el inconveniente de un desgaste demasiado rápido de la capa superficial de zinc puro. Los rendimientos de corte pueden ser, por lo tanto, mejorados.

50 El documento US 4.977.303 describe, por una parte, un procedimiento para realizar una varilla de electrodo y describe, por otra parte, una varilla de electrodo con estructura específica.

55 El procedimiento descrito y reivindicado en dicho documento consiste en prever un ánima metálica, por ejemplo, de cobre, recubriéndola con una capa con un espesor determinado (13 a 15  $\mu\text{m}$ ) de un metal volátil, tal como zinc, calentar el conjunto en atmósfera oxidante a más de 700°C, preferentemente a 850°C, para difundir el zinc y el cobre hasta obtener una capa difundida cuyo espesor es aproximadamente tres veces el espesor dado de la capa inicial de zinc y reducir, por lo menos 30% el espesor de la capa difusa. Las condiciones operativas del procedimiento descrito conduce necesariamente, en la capa difusa, a una concentración de zinc de aproximadamente 33%, a una aleación cobre-zinc de fase  $\alpha$  y que tiene un espesor aproximado de 22  $\mu\text{m}$  después de reducción de 30% del espesor.

60 La varilla de electrodo que se describe y reivindica en este documento comprende una capa superficial de óxido que tiene un espesor aproximado de 1  $\mu\text{m}$ , recubriendo una capa continua de 6  $\mu\text{m}$  aproximadamente, en una aleación de cobre y de zinc conteniendo de 58 a 60% de zinc (es decir, una aleación cobre-zinc de fase  $\gamma$ ), disminuyendo a continuación, la concentración de zinc en la dirección del ánima, hasta una profundidad aproximada de 11  $\mu\text{m}$ . El documento no describe los medios para obtener esta varilla de electrodo con capa de aleación cobre-zinc en fase  $\gamma$ .

65 En el documento US 5.945.010, se ha propuesto más recientemente recocer un latón  $\alpha$  zincado, de manera que se

5 produzca una capa periférica de latón de fase  $\gamma$ , a continuación, trefilar el desbaste obtenido de esta manera para llevarle al diámetro final. El perfilado produce una capa superficial de latón en fase  $\gamma$  fracturada. El documento indica que la fracturación de la capa superficial no dificulta el rendimiento de la velocidad de corte. Y el documento descarta el prever una capa de latón de fase  $\beta$ .

10 Finalmente, en el documento US 6.781.081 (ó US 2003/0057189 A1) se muestra una varilla de electrodo que tiene las características del preámbulo de la reivindicación 1 y muestra el buen rendimiento de una varilla que tiene, sobre un ánima metálica, una superposición de dos capas continuas de latón, siendo la capa inferior de latón de fase  $\beta$ , la capa exterior continua de latón de fase  $\gamma$ . La velocidad de erosión es entonces superior a la de las varillas que tienen solamente una capa de latón de fase  $\gamma$  o solamente una capa de latón de fase  $\beta$ . Sin embargo, el documento no describe los medios a utilizar para realizar dicha varilla.

#### DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

15 Existe además la necesidad de mecanizar lo más rápidamente posible para una intensidad de mecanización determinada y también de poder utilizar la intensidad de mecanización más elevada posible con una varilla de un diámetro determinado.

20 La presente invención es resultado de la observación sorprendente, según la cual, con una varilla para la electroerosión a una ánima metálica recubierta con una capa de aleación, se pueden obtener rendimientos de electroerosión claramente mejorados preveyendo, sobre un ánima de cobre o de latón, una capa de revestimiento que combina una capa superficial de latón de fase  $\gamma$  fracturada y una sub-capa de latón de fase  $\beta$ . Esta comprobación es contraria a lo que se indica en el documento US 5.945.010, que no comprueba mejora de la velocidad de corte cuando se utiliza una capa superficial fracturada del latón de fase  $\gamma$ , y sobretodo que descarta utilizar el latón de fase  $\beta$ .

25 De este modo, para mejorar adicionalmente la velocidad de mecanización por electroerosión, la presente invención propone una varilla de electrodo para mecanización por electroerosión, que comprende:

- 30 - un ánima de cobre, aleación de cobre, o latón,
- un revestimiento de latón,
- en el que el revestimiento de latón comprende la superposición de:
- una sub-capa de latón de fase  $\beta$ , y
- una capa superficial con estructura de latón en fase  $\gamma$  fracturada, que permite aparecer latón en fase  $\beta$
- 35 en las fracturas.

Según una forma de realización ventajosa, latón en fase  $\beta$  rellena, por lo menos en parte, las fracturas de la capa superficial en fase  $\gamma$ .

40 La sub-capa de latón en fase  $\beta$  puede ventajosamente ser continua, produciendo mejores resultados que una sub-capa discontinua.

45 Se obtienen mejores resultados, combinando simultáneamente una mayor velocidad de electroerosión y un buen estado superficial de la pieza mecanizada, disponiendo que la capa superficial de latón en fase  $\gamma$  fracturada tenga un espesor inferior a 8% del diámetro de la varilla, preferentemente inferior a 5% del diámetro de la varilla. Más allá de un espesor de 5% aproximadamente, se comprueba una degradación del estado superficial de la pieza mecanizada: aparecen, sobre la pieza mecanizada después de acabado, estrías paralelas a la dirección de la varilla de electrodo que ha llevado a cabo la mecanización.

50 De manera alternativa, o como complemento, la sub-capa de latón en fase  $\beta$  puede tener ventajosamente un espesor comprendido entre 5% y 12% del diámetro de la varilla.

55 La producción industrial de una varilla de electrodo está facilitada cuando el espesor acumulado de la capa superficial de latón en fase  $\gamma$  fracturada y la sub-capa de latón en fase  $\beta$  es inferior a 10% aproximadamente del diámetro de la varilla de electrodo. Más allá de estos valores se observan riesgos de rotura de la varilla en el curso de la fabricación en las etapas de trefilado.

60 Una forma de realización ventajosa consiste en prever una capa superficial de latón en fase  $\gamma$  fracturada que tiene un espesor aproximado de 2% del diámetro de la varilla, y una sub-capa de latón en fase  $\beta$  que tiene un espesor aproximado de 6% del diámetro de la varilla.

Se obtiene además un aumento de la velocidad de electroerosión preveyendo que la superficie externa de la capa superficial de latón en fase  $\gamma$  esté suficientemente oxidada, de color oscuro.

65 El inconveniente, en ciertas máquinas de mecanización por electroerosión es que el óxido puede provocar

dificultades de contacto eléctrico, o bien desgaste prematuro de las entradas de corriente. Se podrá preferir, por lo tanto, una superficie externa con capa superficial de latón en fase  $\gamma$  y menos oxidada, que presente, por ejemplo, un aspecto brillante, que pueda reflejar la luz, con la finalidad de ser compatible con las máquinas de electroerosión que utilizan esta característica para detectar la presencia de la varilla.

5 En la práctica, para evitar problemas de contacto eléctrico y de desgaste de las entradas de corriente, garantizando simultáneamente rendimientos de electroerosión mejorados, se podrá preferir una varilla de electrodo cuyo espesor medio de la capa de óxido, medida por disolución selectiva, está comprendido entre 100 nm y 250 nm aproximadamente, preferentemente inferior a 200 nm. La capa de óxido está constituida esencialmente por óxido de zinc.

10 Se podrá escoger ventajosamente un ánima de latón con un contenido de zinc inferior a 40%, más ventajosamente un ánima de latón con 20% de zinc.

15 De manera alternativa, se podrá escoger un ánima de cobre, para optimizar la conductibilidad de la varilla.

También se puede obtener un aumento de la velocidad de electroerosión escogiendo un ánima de aleación CuZn37, con 37% de zinc, con la ventaja simultánea de la reducción del coste de producción.

20 En la fabricación de esta varilla de electrodo, se podrá encontrar ventajoso efectuar la difusión a baja temperatura aplicada a lotes de varias bobinas de varilla, puesto que se realiza de esta manera economía de energía con respecto al tratamiento a mayor temperatura y/o en línea.

25 De este modo, según otro aspecto, la invención da a conocer un procedimiento económico para realizar una varilla de electrodo de este tipo, que comprende las siguientes etapas:

- a) prever un ánima de cobre o de latón,
- b) recubrir el ánima de una capa de zinc por vía electrolítica, para realizar un pre-desbaste,
- 30 c) someter eventualmente el pre-desbaste a un primer trefilado, para alisar la superficie de la varilla zincada, y facilitar de esta manera el desenrollado de la varilla una vez difundida,
- d) recocer el pre-desbaste trefilado en un horno a temperatura comprendida entre unos 200°C y 400°C aproximadamente y durante un tiempo de 2 horas a 40 horas aproximadamente, escogiendo la temperatura y la duración de manera que se produzca, por difusión entre el zinc y la capa de recubrimiento y el cobre o latón del ánima, un desbaste que tiene una sub-capa de latón en fase  $\beta$  y una capa superficial de latón en
- 35 fase  $\gamma$ , la cual está, por lo menos, ligeramente oxidada superficialmente,
- e) someter el desbaste difundido de esta manera a un segundo trefilado en frío para llevarle al diámetro final y de manera que fracture la capa de latón en fase  $\gamma$ .

40 De todas maneras, se podrá fabricar una varilla de electrodo de este tipo por un tratamiento térmico en lotes a temperatura más baja y de mayor duración, mientras las condiciones de duración sigan siendo compatibles con las exigencias industriales. De forma inversa, se puede fabricar una varilla de electrodo por un procedimiento en línea, por calentamiento de la varilla a una temperatura más alta (aproximadamente 600°C) cuando tiene lugar su devanado.

45 En el curso del segundo trefilado, la fase  $\gamma$  externa se fractura inicialmente en bloques uniformemente repartidos en la superficie de la varilla. Entre estos bloques, hay fisuras vacías. A continuación, como siempre en el curso del trefilado, estos bloques tienden a reagruparse en la dirección longitudinal dejando la sub-capa en fase  $\beta$  que penetra entre ellos para aflorar finalmente en ciertos lugares de la superficie de la varilla.

50 Preferentemente, el segundo trefilado lleva a cabo una reducción de diámetro comprendida entre 40% y 78% aproximadamente. Esto permite fracturar correctamente la capa periférica de latón en fase  $\gamma$ .

Como complemento, se podrá escoger el efectuar un primer trefilado realizando una reducción de diámetro comprendida entre 40% y 60% aproximadamente.

55 En el procedimiento, la etapa d) de recocido se podrá efectuar ventajosamente al horno a una temperatura y durante un tiempo escogidos, de manera que el grosor medio de la capa de óxido, medida por disolución selectiva sobre la varilla de electrodo después de la etapa e), esté comprendida aproximadamente entre 100 nm y 250 nm.

60 No es posible enumerar de manera simple todas las condiciones de tiempo y temperatura que permiten obtener un cierto estado de difusión. En efecto, la difusión que se realiza para fabricar una varilla de electroerosión se refiere a una capa de zinc externa que ni es plana, ni delgada, ni suficientemente gruesa para constituir un medio semiacabado. Además, las rutas térmicas (temperatura variable en función del tiempo) posibles son muy diversas.

65 Para operaciones de difusión realizadas en el aire en varillas de cobre de latón CuZn20 zincadas acondicionadas en

bobinas de 4 kg, se ha podido observar que el espesor  $e$  de la capa intermedia en fase  $\beta$  crecía en función del tiempo  $t$  según la ley siguiente:  $de/dt = D/e$ , siendo  $D$  un coeficiente de difusión que depende de la temperatura  $T$  y de la composición del ánima de la varilla, siendo  $de/dt$  la derivada del espesor  $e$  con respecto al tiempo  $t$ . El coeficiente  $D$  es una función de la temperatura  $T$ , según una ley del tipo  $D = D_0 e^{-Q/R.T}$ , siendo  $D_0$  un factor de frecuencia expresado en  $m^2/s$ , siendo  $Q$  la energía de activación expresada en  $J/mol$ , siendo  $R$  la constante molar de los gases perfectos con un valor de  $8,31 J/(mol.K)$ , y siendo  $T$  la temperatura expresada en grados Kelvin.

$D_0$  y  $Q$  dependen de la naturaleza del ánima de la varilla revestida de zinc. Para gamas de temperatura de  $620^\circ K$  a  $680^\circ K$  aproximadamente, se podrá escoger  $D_0 = 4,98 \cdot 10^{-4}$  y  $Q = 129\ 500$  para un ánima de cobre,  $D_0 = 2,46 \cdot 10^{-6}$  y  $Q = 100\ 800$  para un ánima de latón CuZn20.

Para un ánima de CuZn37, se podrá escoger  $D_0 = 4,10 \cdot 10^{-3}$  y  $Q = 138\ 200$ .

Se puede integrar la ecuación diferencial  $de/dt = D/e$  por cualquier método conocido. A temperatura constante, la integración facilita la fórmula simplificada  $e = (2D.t)^{1/2}$ . El espesor final de fase  $\beta$  está ciertamente limitado por la cantidad de zinc disponible, y según la invención se prevé dejar un poco de fase  $\gamma$  en la superficie.

Para operaciones de difusión de varillas acondicionadas en bobinas más grandes, se aumentará ventajosamente el tiempo de tratamiento, reduciendo la temperatura estable para homogeneizar la temperatura en la masa de las bobinas.

Es de este modo que los inventores han podido obtener la fase  $\beta$  entre la fase  $\alpha$  del ánima y la capa externa en fase  $\gamma$  de la manera siguiente: se toma una varilla que comprende un ánima de latón con 63% de cobre y 37% de zinc, y un revestimiento de  $3\ \mu m$  de zinc puro, cuyo diámetro exterior es de  $0,46\ mm$ ; se trata térmicamente esta varilla durante 15 horas a  $220^\circ C$ . Se observa entonces una sub-capa de aproximadamente  $2\ \mu m$  de fase  $\beta$  comprendida entre el ánima de latón en fase  $\alpha$  y una capa externa de  $4\ \mu m$  aproximadamente de fase  $\gamma$ .

Las indicaciones anteriores permiten al técnico en la materia orientar sus elecciones de las condiciones de tiempo y de temperatura, de hecho su ruta térmica, en función de las condiciones iniciales y de las condiciones finales deseadas.

El hecho de que la difusión se efectúe sobre una varilla expuesta al oxígeno es muy importante, puesto que de lo contrario, en atmósfera de gas neutro, o bajo una presión reducida, se produciría una evaporación importante del zinc y el espesor de fase  $\beta$  restante al final de la difusión sería mucho más reducido.

Si se desea oxidar fuertemente la superficie externa de la capa superficial de latón en fase  $\gamma$ , se efectuará el recocido al aire. El aire debe poder difundirse hacia la superficie de la varilla más rápidamente que lo que requiere la oxidación de ésta. Para ello, se preverá un pre-desbaste en forma de un bobinado poco denso, en cuba, por ejemplo, o bien se utilizará una rampa de subida de temperatura muy reducida, inferior a  $0,5^\circ C/min$ , por ejemplo de  $0,2^\circ C/min$ . En presencia de un bobinado denso, es principalmente el exterior de la bobina que se oxidaría, mientras que el interior permanecería protegido contra el oxígeno.

Si se desea oxidar poco la superficie externa de la capa superficial de latón en fase  $\gamma$  se limitará a utilizar el aire presente entre las espiras de las varillas. Se introducirá para ello la bobina en un dispositivo estanco o semi-estanco, tal como una fina lámina metálica, por ejemplo, una lámina de aluminio arrollada alrededor de aquella. El dispositivo de embalaje, debe permitir la dilatación y la contracción de los gases contenidos en el embalaje alrededor y dentro de la bobina en el curso del tratamiento térmico. Se limita de esta manera la oxidación por embalaje del pre-desbaste en una envolvente estanca o semi-estanca.

Las condiciones de temperatura en la duración de la etapa de calentamiento por difusión se escogerán preferentemente, de manera que el espesor medio de la capa de óxido, medido por disolución selectiva sobre la varilla de electrodo después de la etapa e), esté comprendido entre  $100\ nm$  y  $250\ nm$  aproximadamente.

La solución de disolución efectiva puede ser la siguiente:  $50\ ml$  de ácido acético, una vez molar en  $200\ ml$  de agua, la cual se añaden  $0,5\ ml$  de alcohol propargílico. La duración de inmersión es de aproximadamente de  $2\ minutos$ . Se mide la pérdida de masa  $M$  de una longitud  $L$  de varilla de diámetro  $D_1$ . Se supone que esta pérdida de masa  $M$  es una disolución del óxido de zinc, cuya masa volúmica  $M_v$  es aproximadamente de  $5\ 600\ kg/m^3$ , para deducir de ello el espesor de óxido  $E_0$  por la fórmula  $E_0 = M/\pi D_1 L M_v$ .

No se recomienda la difusión bajo una atmósfera neutra o bajo presión reducida, puesto que el zinc se evapora entonces en parte de la superficie de la varilla y forma polvo. Estos polvos metálicos, muy reactivos, no son deseables, y es por esta razón que se recomienda proceder a la difusión en el aire.

DESCRIPCIÓN RESUMIDA DE LOS DIBUJOS

Otros objetivos, características y ventajas de la presente invención resultarán de la descripción siguiente de formas de realización particulares, en relación con las figuras adjuntas, entre las cuales:

- 5 - la figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de una varilla para electroerosión, según una forma de realización de la presente invención;
- la figura 2 es una sección esquemática transversal a mayor escala de la varilla de electroerosión de la figura 1;
- 10 - la figura 3 es una sección longitudinal de una varilla de electroerosión, según una forma de realización de la invención con ánima de latón; y
- la figura 4 es una sección transversal de una varilla de electroerosión, según la invención con ánima de cobre.

DESCRIPCIÓN DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERENTES

15 En las formas de realización mostradas en las figuras, una varilla para mecanización por electroerosión -1- comprende un ánima -2- de cobre o de latón, revestida de un revestimiento constituido por una sub-capa -3- continua de latón en fase  $\beta$  y una capa superficial -4- con estructura de latón en fase  $\gamma$  fracturada, que permite aparecer latón en fase  $\beta$  en las fracturas.

20 En la presente descripción y en las reivindicaciones, se designaron la expresión "latón en fase  $\beta$ " una aleación de cobre y de zinc que tiene sensiblemente de 45% a 49% de zinc. A temperatura ambiente, esta fase  $\beta$  está ordenada, y es más bien frágil, y se la designa habitualmente  $\beta'$ . Si se supera una cierta temperatura, la estructura resulta desordenada y se habla entonces de fase  $\beta$ . La transición entre las fases  $\beta$  y  $\beta'$  es inevitable, pero produce pocos efectos. Como consecuencia, a efectos de simplicidad, este latón será designado en la presente descripción por la  
25 única expresión "latón en fase  $\beta$ ".

En la descripción y en las reivindicaciones, la expresión "latón en fase  $\gamma$ " es utilizada para designar una aleación de cobre y de zinc en la que el zinc se encuentra presente en una proporción aproximada de 65%.

30 Un "latón en fase  $\alpha$ " podrá tener un contenido de zinc inferior a 40%, por ejemplo, aproximadamente 35%, o incluso aproximadamente 20%.

En lo que respecta a la capa superficial -4-, se distingue, por ejemplo (figura 3) una zona -5- en fase  $\gamma$ , bordeada por fracturas -5a- en las que puede aparecer latón en fase  $\beta$ .

35 Latón en fase  $\beta$  puede llenar, como mínimo, una parte de las fracturas -5a- de la capa superficial -4- de latón de fase  $\gamma$ , asegurando una cierta continuidad de la superficie de la varilla.

40 El efecto ventajoso de esta estructura de varilla ha sido demostrado por varios ensayos efectuados sobre varillas de estructuras diferentes.

Ensayo Nº 1

45 Este primer ensayo demuestra que una capa superficial de latón en fase  $\gamma$  fracturada reduce la intensidad máxima de corriente eléctrica que puede soportar la varilla.

Se prevé para ello diferentes varillas con un mismo diámetro  $D_1$  de 0,25 mm. Se fija la varilla entre los bornes eléctricos sumergidos en agua desionizada a 20°C. La varilla no es sometida a tensión mecánica. Un generador de corriente eléctrica es conectado a los bornes del dispositivo. Se aumenta la intensidad eléctrica hasta la rotura de la  
50 varilla, y se anota la intensidad máxima soportada por la varilla.

Los resultados se observan en la siguiente tabla.

Varilla	Intensidad máxima soportada
Cobre	130 A
Latón CuZn 37	75 A
Latón CuZn 37 revestido de 3 $\mu$ m de zinc puro	75 A
Latón CuZn 37 revestido de 3 $\mu$ m de zinc puro y difundido posteriormente en fase $\gamma$ no fracturada	75 A
Latón CuZn 37 revestido de zinc, difundido a 177°C y después trefilado para obtener una fase $\gamma$ fracturada	65 A

55 Se observará que la última varilla ensayada de fase  $\gamma$  fracturada sobre un ánima de latón, se adapta a las indicaciones del documento US 5.945.010 antes citado.

Ensayo Nº 2

Se ha producido a continuación una varilla, según la invención, con un diámetro  $D_1$  de 0,25 mm, constituida por un ánima -2- de latón CuZn20 recubierta por una sub-capa -3- de fase  $\beta$  aparentemente no fracturada, y una capa superficial -4- de fase  $\gamma$  visiblemente fracturada. Para ello, se ha revestido una varilla de latón CuZn20, con un diámetro de 1,20 mm, con 29  $\mu\text{m}$  de zinc por vía electrolítica. Se ha trefilado esta varilla hasta un diámetro de 0,827 mm. Se ha recocido la varilla haciéndola pasar por un horno durante dos horas a 400°C, con rampas de subida y bajada de temperatura de +/- 1°C/min, y en atmósfera de aire. Finalmente, se ha trefilado la varilla difundida de este modo para llevarla a un diámetro  $D_1$  de 0,25 mm. La capa de revestimiento obtenida sobre la varilla tenía un espesor aproximado total de 20  $\mu\text{m}$ . Estaba constituida por una sub-capa -3- de fase  $\beta$  visible en la superficie de la varilla en ciertos lugares, y recubierta en otros lugares por latón -4- en fase  $\gamma$  fracturada. Parece de este modo que, en la etapa de trefilado, la sub-capa -3- de latón en fase  $\beta$  no se fisura cuando se efectúa su trefilado.

Esta varilla, objeto de comprobación en las mismas condiciones que las varillas anteriores en el curso del ensayo nº1, ha soportado una intensidad máxima de 75 A. Su carga a la rotura era de 750 N/mm<sup>2</sup>. Se pueden utilizar con éxito en electroerosión con una tensión mecánica de 17 N.

Este ensayo hace aparecer un efecto sorprendente de la sub-capa -3- de latón en fase  $\beta$ , que aumenta la capacidad de la varilla para soportar una intensidad de corriente eléctrica, y que lleva esta capacidad al nivel de las varillas en las que la capa superficial -4- no está fracturada.

Ensayo Nº 3

Se produce, a continuación, una varilla -B- de la manera siguiente: un ánima de latón CuZn20 de 1,20 mm de diámetro ha sido revestida de 29  $\mu\text{m}$  de zinc y después trefilada para llevarla a un diámetro  $D_1$  de 0,25 mm. Un recocido de 1h15 a 380°C ha sido efectuado para obtener una varilla que comporta una sub-capa -3- de aproximadamente 16  $\mu\text{m}$  en fase  $\beta$  y una capa superficial -4- de, aproximadamente 4  $\mu\text{m}$  en fase  $\gamma$  sensiblemente no fracturada (puesto que no ha sido trefilada).

Esta varilla ha soportado una intensidad máxima de 75 A. Ha presentado una carga de rotura de 430 N/mm<sup>2</sup> y ha podido ser utilizada satisfactoriamente en electroerosión, no obstante, con una tensión mecánica reducida de 10 N.

De este modo, la varilla A según la invención, realizada en el curso del ensayo Nº 2, presenta una mejor capacidad de resistencia mecánica que la varilla -B- del ensayo anterior.

Ensayo Nº 4

Se han comparado, a continuación las velocidades de erosión de las varillas -A- y -B-, en condiciones adaptadas a las dos varillas, es decir, con una tensión mecánica de 10 N.

El ensayo ha sido efectuado con ayuda de una máquina Agie AgieCut Evolution II SFF.

Las condiciones eran las siguientes: tecnología de base estcca25nnn300g230050, adaptada a las varillas de latón zincado de 900 N/mm<sup>2</sup>, boquillas aplacadas sobre la pieza. El material mecanizado era acero con una altura de 60 mm. La tensión mecánica sobre la varilla se llevó a 10 N. La velocidad de electroerosión era de 2,515 mm/min para la varilla -A-, 2,500 mm/min para la varilla -B-. Se ha comprobado, por lo tanto, un ligero aumento de la velocidad de electroerosión para la varilla -A-.

Con la misma máquina, el mismo material y la tecnología estccw25nnn300h250050, adaptada a las varillas con ánima de latón CuZn20 y capa en fase  $\beta$ , en el estado de recocido, siendo la fuerza sobre la varilla de 12 N, se han observado las velocidades máximas siguientes, aumentando progresivamente al valor del parámetro -P- a partir de 1 hasta la rotura de la varilla: 2,79 mm/min para la varilla -A- (con -P- = 27); 1,85 mm/min para la varilla -B- (con -P- = 19).

El hecho de que la varilla -A- mecanice con mayor rapidez que la varilla -B- se contradice con los datos publicados en el documento US 5.945.010.

Ensayo Nº 5

A continuación, se ha buscado la influencia del espesor  $E_4$  de la fase  $\gamma$  fracturada con la finalidad de determinar una varilla que tenga una velocidad de erosión óptima.

Una varilla, según la invención, ha sido obtenida a partir de un ánima de cobre de 0,9 mm de diámetro. El ánima ha sido revestida de zinc, después ha sido trefilada para obtener una varilla intermedia de 0,422 mm de diámetro, cuya capa externa de zinc tiene un espesor de 16 a 19  $\mu\text{m}$ . La varilla intermedia ha sido llevada a diferentes temperaturas

durante tiempos variables, de manera que se han producido capas externas compuestas de fases  $\beta$  y  $\gamma$  en diferentes proporciones. Después de los tratamientos de difusión, las varillas se encontraban en estado recocido. Una operación de trefilado en frío ha permitido obtener varillas para electroerosión de 0,25 mm de diámetro  $D_1$  en estado laminado. La capa superficial -4- en fase  $\gamma$  estaba fracturada, mientras que la sub-capa -3- en fase  $\beta$  permanecía continua. La capa superficial -4- en fase  $\gamma$  no recubría la totalidad de la superficie de las varillas, y se ha observado el espesor  $E_4$  de esta capa superficial -4- en fase  $\gamma$  donde se presentaba el cual no ha proporcionado un valor medio del espesor, sino más bien un valor máximo.

Los resultados se reúnen en la tabla siguiente.

Varilla	Condiciones de difusión	Espesores de las capas (espesor máximo si es capa $\gamma$ )	Velocidad máxima de erosión en régimen E2 H50	Rotura prematura en el curso de la mecanización
1	400°C, 2h +/-0,5°C/min en el aire	$\beta$ 25 $\mu\text{m}$ $\gamma$ 2 $\mu\text{m}$ aspecto oscuro	4,35 mm/min	No
2	380°C, 3h +/-0,5°C/min en el aire	$\beta$ 18 $\mu\text{m}$ $\gamma$ 5 $\mu\text{m}$ aspecto oscuro	4,76 mm/min	No
3	380°C, 3h, +/-0,5°C/min varilla protegida del aire exterior en la bobina	$\beta$ 18 $\mu\text{m}$ $\gamma$ 5 $\mu\text{m}$ aspecto brillante	4,61 mm/min	No
4	360°C, 2h, +/-0,5°C/min en el aire	$\beta$ 5 $\mu\text{m}$ $\gamma$ 20 $\mu\text{m}$ aspecto de color no uniforme	4,05 mm/min	Sí
5	320°C, 2h, +/-0,5°C/min en el aire	$\beta$ 5 $\mu\text{m}$ $\gamma$ 20 $\mu\text{m}$ aspecto de color no uniforme	3,7 mm/min	Sí

Se comprueba que una capa superficial -4- en fase  $\gamma$  fracturada, de espesor  $E_4$  demasiado importante, conduce a roturas prematuras de la varilla en el curso de la mecanización.

De los ensayos anteriores, se puede deducir que la capa superficial -4- de latón en fase  $\gamma$  fracturada tiene preferentemente, un espesor  $E_4$  inferior a 8% del diámetro de la varilla, más ventajosamente del orden de 2% del diámetro de la varilla.

Por su parte, la sub-capa -3- continua de latón en fase  $\beta$  puede tener ventajosamente un espesor  $E_3$  comprendido entre 5% y 12% del diámetro de la varilla, más ventajosamente próximo a 6%.

Un compromiso satisfactorio ha sido obtenido previendo una capa superficial -4- de latón en fase  $\gamma$  fracturada cuyo espesor  $E_4$ , donde se encuentra presente, es de aproximadamente 6  $\mu\text{m}$  para un diámetro de la varilla de 250  $\mu\text{m}$  (es decir, un poco más de 2% del diámetro), y una sub-capa -3- continua de latón en fase  $\beta$  cuyo espesor  $E_3$  es aproximadamente de 15  $\mu\text{m}$ , es decir aproximadamente 6% del diámetro de la varilla.

Las varillas 2 y 3 de la tabla anterior muestran que la velocidad de erosión aumenta adicionalmente en presencia de una oxidación de la superficie externa de la capa superficial -4- de latón en fase  $\gamma$ . La figura 2 muestra la presencia de una capa de óxido -6- con un espesor medio  $E_0$ .

Un efecto inesperado de la capa superficial -4- de latón de fase  $\gamma$  fracturada, incluso presente en muy poca cantidad en la superficie de una varilla sometida a difusión, ha sido un mejor contacto eléctrico con respecto a una varilla completamente difundida en fase  $\beta$  y oxidada en la superficie. El contacto eléctrico consiste, sobre una máquina Agie Evolution II, en descargas de muy reducida potencia, permitiendo solamente localizar la pieza con precisión, y no cortarla.

Se ha observado igualmente un aplastamiento menor de los contactos de entrada de corriente con varillas de capa superficial -4- en fase  $\gamma$  fracturada y sub-capa -3- en fase  $\beta$  con relación a varillas difundidas hasta que la fase  $\gamma$  desaparece completamente. Se puede pensar que la fase  $\gamma$  fracturada, incluso presente en pequeña cantidad, permite limpiar las entradas de corriente. Los residuos eventuales de óxido y de lubricante que se depositan en la superficie de las entradas de corriente podrían ser arrastrados por el efecto de rascado de la superficie de las varillas, superficie que es irregular.

Ensayo N° 6

Se ha buscado a continuación, la posibilidad de realizar un varilla, según la invención que tiene un ánima de latón CuZn37 (63% de cobre y 37% de zinc), con el objetivo de producir una varilla a un coste más reducido, pero presentando no obstante, las ventajas de la invención.

Un varilla satisfactorio ha sido obtenido escogiendo un tratamiento de difusión relativamente largo a temperatura relativamente alta para producir una sub-capa -3- de latón en fase  $\beta$  y una capa superficial -4- en fase  $\gamma$  fracturada.

## ES 2 380 486 T3

5 Para ello, un desbaste en latón CuZn37 ha sido revestido de 9  $\mu\text{m}$  de zinc con un diámetro de 0,827 mm, y después se ha tratado en un horno, en atmósfera de aire, con una rampa de subida de temperatura desde la temperatura ambiente hasta 320°C a razón de + 0,5°C/min, una zona estable de 11 h a 320°C, una rampa de descenso de 320°C hasta temperatura ambiente a razón de -0,5°C/min. A continuación, por trefilado se ha reducido el diámetro  $D_1$  hasta 0,25 mm, y la varilla ha sufrido un recocido continuo en línea antes del bobinado.

10 Para comparar los efectos obtenidos según la invención, se ha realizado muestras de varillas, según el procedimiento descrito en el documento US 5.945.010:

- 10 - tomar un desbaste de latón de CuZn37 (63% de cobre y 37% de zinc);
- realizar un revestimiento de zinc de espesor 6  $\mu\text{m}$  sobre un diámetro de 0,9 mm;
- realizar un tratamiento térmico al horno a 17,7°C, en atmósfera de aire, para transformar por difusión el zinc en un latón en fase  $\gamma$  sin formar cantidad apreciable de fase  $\beta$ ;
- 15 - trefilar en 0,25 mm, efectuar un recocido continuo antes del bobinado.

20 Con respecto a una varilla de electroerosión tradicional de latón desnudo, esta varilla según el documento US 5.945.010 presentaba ventajas a potencia de mecanización reducida, pero se ha comprobado que estas ventajas desaparecían cuando se aumentaba la potencia de mecanización por electroerosión.

Un ensayo complementario consistido en aumentar el espesor medio de la capa superficial -4- de latón  $\gamma$  fracturado por un aumento de espesor del revestimiento de zinc. Sin embargo, la varilla obtenida se mostró frágil y no era utilizable en las máquinas de electroerosión que pliegan la varilla cuando tiene lugar un reentallado automático.

25 A continuación, se han comparado, en las mismas condiciones operativas, las velocidades de erosión máximas de la varilla con ánima -2- de latón CuZn37 y la capa superficial -4- de latón  $\gamma$ , según el documento US 5.945.010, y de la varilla según la invención con ánima -2- de latón CuZn37 con sub-capa -3- de latón  $\beta$  y la capa superficial -4- de latón  $\gamma$  fracturada:

Varilla	CuZn37 + capa $\gamma$ fracturada	CuZn37 + capa $\beta$ + capa $\gamma$ fracturada
Velocidad de erosión	119 $\text{mm}^2/\text{min}$	120,5 $\text{mm}^2/\text{min}$

30 En presencia de la sub-capa intermedia -3- de latón  $\beta$ , la varilla se ha mostrado menos frágil a la flexión. De este modo, se ha podido aumentar el espesor total de la capa de desgaste de la varilla.

35 La velocidad máxima de erosión de la varilla con ánima de latón CuZn37 ha sido mejorada, y no se ha comprobado rotura prematura de la varilla.

La presente invención no se ha limitado a las formas de realización explícitamente descritas, sino que incluye las diferentes variantes y generalizaciones contenidas en el campo de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Varilla de electrodo (1) para mecanización por electroerosión, que comprende:
- 5           - un ánima (2) de cobre, de aleación de cobre o de latón,  
               - un revestimiento de latón,  
**caracterizado porque** el revestimiento de latón comprende la superposición de:
- una sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$ , y  
               - una capa superficial (4) con la estructura de latón en fase  $\gamma$  fracturada que permite aparecer latón en
- 10           fase  $\beta$  en las fracturas (5a).
2. Varilla de electrodo, según la reivindicación 1, **caracterizada porque** latón en fase  $\beta$  llena, como mínimo en parte, las fracturas (5a) de la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$ .
- 15 3. Varilla de electrodo (1), según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizada porque** la sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$  es continua.
4. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque** la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  fracturada tiene un espesor ( $E_4$ ) inferior a 8% del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla, preferentemente inferior a 5% del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla.
- 20 5. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada porque** la sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$  tiene un espesor ( $E_3$ ) comprendido entre 5% y 12% del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla.
- 25 6. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 4 ó 5, **caracterizada porque** el espesor acumulado ( $E_3 + E_4$ ) de la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  fracturada y de la sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$  es inferior a 10% aproximadamente del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla de electrodo.
- 30 7. Varilla de electrodo, según la reivindicación 6, **caracterizada porque** la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  fracturada tiene un espesor ( $E_4$ ) aproximadamente de 2% del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla y la sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$  tiene un espesor ( $E_3$ ) aproximadamente a 6% del diámetro ( $D_1$ ) de la varilla.
8. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** la superficie externa de la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  está oxidada, con un color oscuro.
- 35 9. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** la superficie externa de la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  de la varilla está oxidada, pero presenta no obstante, un aspecto brillante que puede reflejar la luz.
- 40 10. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque** el espesor medio ( $E_0$ ) de la capa de óxido (6), medido por disolución selectiva, está comprendido entre 100 nm y 250 nm aproximadamente.
- 45 11. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, **caracterizada porque** la capa de óxido (6) está constituida esencialmente por óxido de zinc.
12. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada porque** el ánima (2) es de latón con un contenido de zinc inferior al 40%.
- 50 13. Varilla de electrodo, según la reivindicación 12, **caracterizada porque** el ánima (2) es de latón con 20% de zinc.
14. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada porque** el ánima (2) es de aleación CuZn37, con un contenido de zinc aproximadamente 37%.
- 55 15. Varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizada porque** el ánima (2) es de cobre.
16. Procedimiento de realización de una varilla de electrodo, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizado por** comprender las etapas siguientes:
- 60           a) prever un ánima (2) de cobre o de latón,  
               b) recubrir el ánima (2) con una capa de zinc por vía electrolítica, para realizar un pre-desbaste,  
               c) someter eventualmente el pre-desbaste a un primer trefilado,  
               d) recocer el pre-desbaste trefilado en horno a una temperatura comprendida entre 200°C y 400°C
- 65           aproximadamente y durante un tiempo de 2 h a 40 h aproximadamente, escogiendo la temperatura y la duración

para producir, por difusión entre el zinc y la capa de recubrimiento y el cobre o latón del ánima (2), un desbaste que tiene una sub-capa (3) de latón en fase  $\beta$  y una capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$  oxidada superficialmente,

5 e) someter el desbaste difundido de esta manera a un segundo trefilado en frío, para llevarlo al diámetro final ( $D_1$ ) y de manera que fracture la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$ .

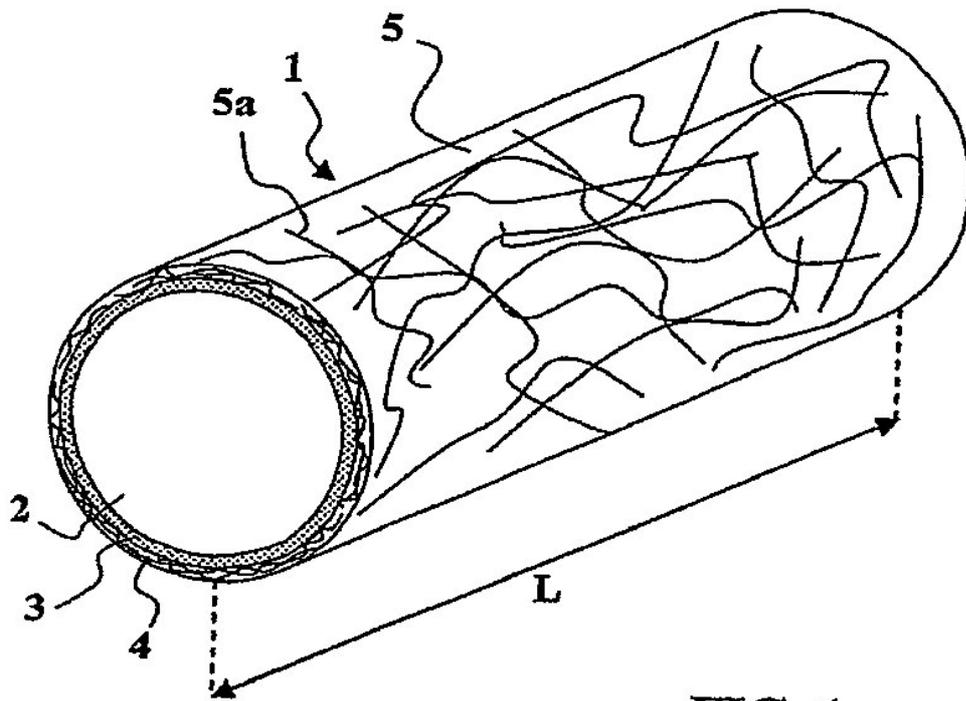
17. Procedimiento, según la reivindicación 16, **caracterizado porque** el segundo trefilado realiza una reducción de diámetro comprendida entre 40% y 78% aproximadamente.

10 18. Procedimiento, según una de las reivindicaciones 16 ó 17, **caracterizado porque** el primer trefilado realiza una reducción de diámetro comprendida entre 40% y 60% aproximadamente.

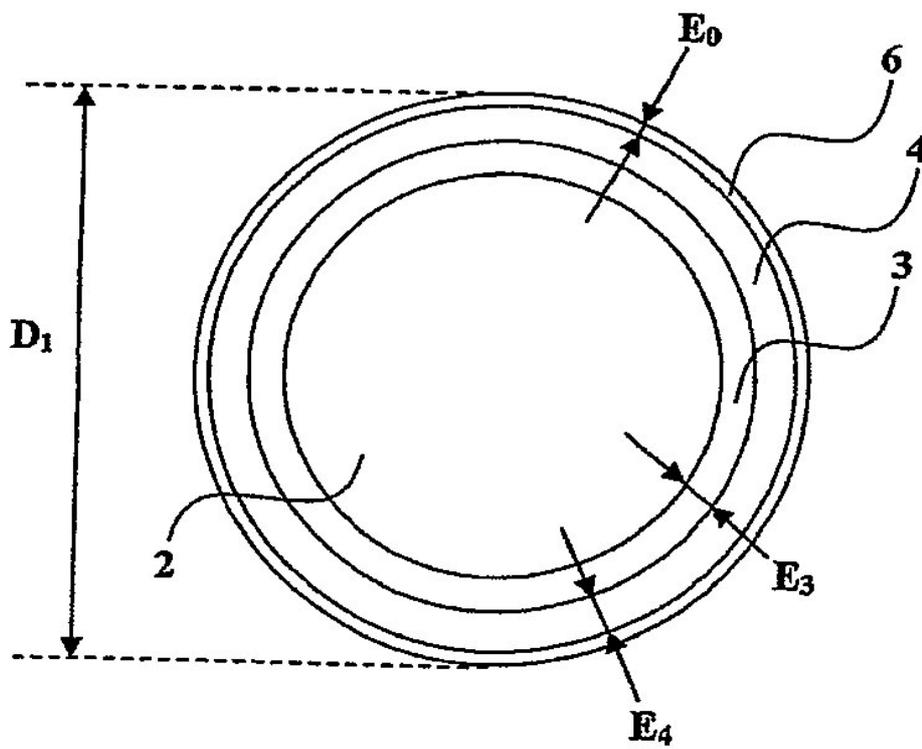
15 19. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 18, **caracterizado porque** la etapa d) de recocido se efectúa en horno a una temperatura y un tiempo escogidos de manera que el espesor medio ( $E_0$ ) de la capa de óxido (6), medido por disolución selectiva sobre la varilla de electrodo después de la etapa e), esté comprendido entre 100 nm y 250 nm aproximadamente.

20 20. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, **caracterizado porque** la etapa d) de recocido se efectúa en el aire, produciendo una oxidación de la superficie externa de la capa superficial (4) de latón en fase  $\gamma$ .

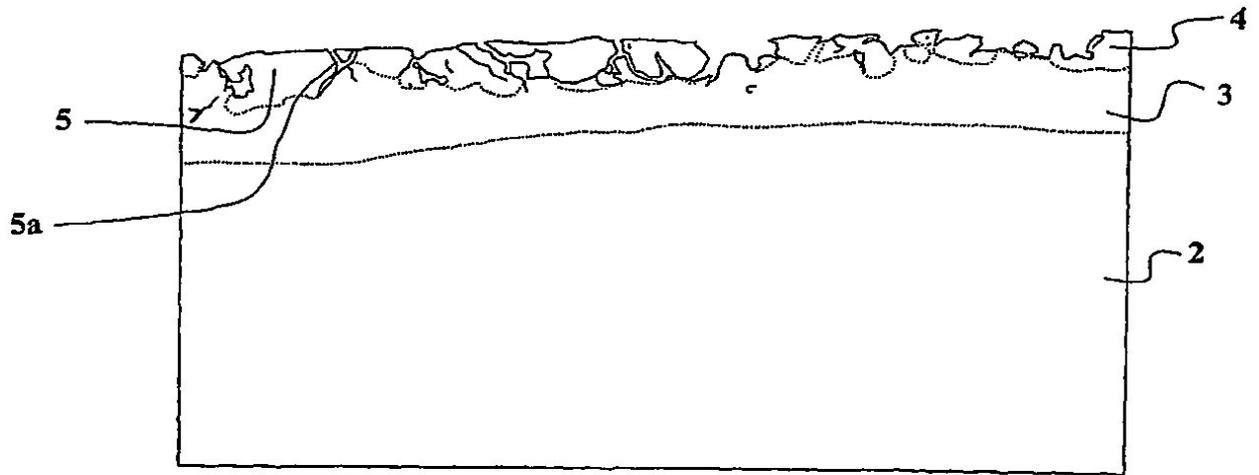
21. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 16 a 19, **caracterizado porque** la etapa d) de recocido se efectúa limitando la oxidación por embalaje del pre-desbaste en una envolvente estanca o semiestanca.



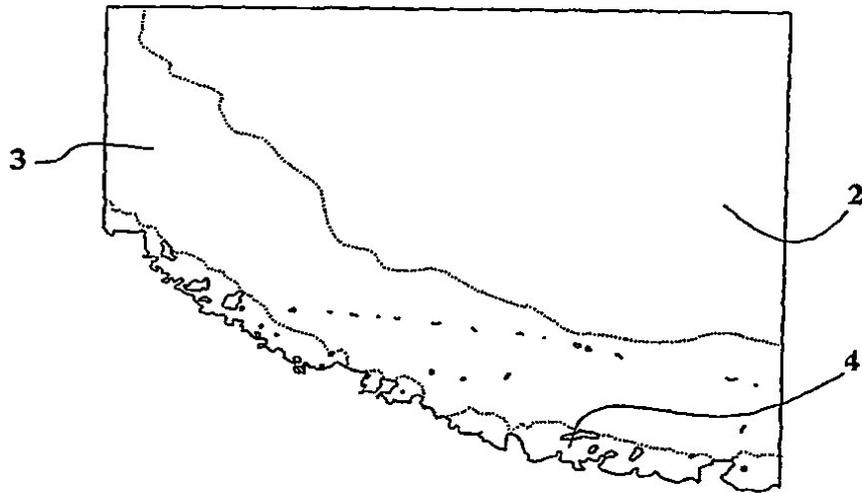
**FIG. 1**



**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**