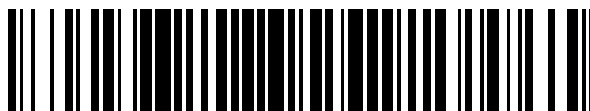


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 390 168**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08170563 .4**  
96 Fecha de presentación: **03.12.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2193867**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.06.2010**

54 Título: **Electrodo de alambre para corte por descarga eléctrica y método para fabricar dicho electrodo de alambre**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**07.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**07.11.2012**

73 Titular/es:  
**BERKENHOFF GMBH (100.0%)  
BERKENHOFFSTRASSE 14  
35452 HEUCHELHEIM, DE**

72 Inventor/es:  
**BAUMANN, INGO y  
NÖTHE, TOBIAS**

74 Agente/Representante:  
**MOLINERO ZOFIO, Félix**

ES 2 390 168 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**

**Electrodo de alambre para corte por descarga eléctrica y método para fabricar dicho electrodo de alambre**

5

[0001] La presente invención se refiere a un electrodo de alambre para el corte por mecanizado de descarga eléctrica o electroerosión por chispa erosiva, teniendo un núcleo, que comprende un metal o una aleación metálica, y una cobertura o revestimiento que recubre al núcleo y comprende una o más coberturas o capas de revestimiento, de las cuales una al menos contiene una mezcla de fases de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , además se refiere a un método para fabricar dicho electrodo de alambre.

10

[0002] Dicho electrodo de alambre se da a conocer a partir de la patente EE.UU. 5.808.262. Dicho método se da a conocer a partir de la patente europea EP 0 733 431.

15

[0003] Los métodos de mecanizado por electroerosión (EDM), o métodos de electro erosión por chispa, se utilizan para separar piezas de trabajo conductoras de electricidad, y se basan en la remoción de material por medio de descargas de chispas entre la pieza de trabajo y una herramienta. Con este propósito, en el interior de un líquido dieléctrico tal que por ejemplo agua desionizada o aceite, se generan descargas eléctricas controladas entre la pieza de trabajo en cuestión y la herramienta, colándose esta a corta distancia respectiva de aquella y que actúa como un electrodo, a través de la aplicación de impulsos voltaicos. De esta manera, las piezas de trabajo que consisten por ejemplo, de metales, cerámicas conductoras de electricidad, o materiales compuestos etc. pueden ser mecanizadas de manera sustancial independientemente de su dureza.

20

25

[0004] El corte mecanizado por electroerosión (corte por chispa erosiva) o erosión por alambre es método especial de mecanizado por electroerosión, en el cual la herramienta está constituida por un fino alambre tensionado de diámetros generalmente en el intervalo aproximado de 0.02 a 0.4 mm. El alambre se desgasta durante el proceso de erosión como resultado de la remoción de material, por lo cual continuamente debe emplazarse en el corte o zona de mecanizado, y solo puede utilizarse una vez, es decir el alambre se consume continuamente.

30

35

[0005] En la práctica se utilizan tanto los alambres revestidos como los no revestidos o electrodos de alambre, los cuales que hoy en día se fabrican generalmente a base de latón o de cobre. Los electrodos de alambre no revestidos, también denominados alambres

desnudos o vírgenes, están compuestos de material homogéneo, mientras que los electrodos de alambre revestido tienen un núcleo cubierto, o revestido. Los electrodos de alambre revestido de la técnica anterior se construyen generalmente con un forro o cobertura, el cual puede estar compuesto con una capa de revestimiento o cobertura o de una pluralidad de  
5 capas de revestimiento o coberturas dispuestas unas encima de las otras; siendo el forro el responsable del proceso de erosión presente, mientras que el núcleo del electrodo de alambre, imparte por ejemplo la resistencia necesaria a la tensión mecánica para el paso a través del alambre y para el pretensado del alambre, así como la necesaria conductividad eléctrica y térmica del electrodo de alambre.

10

[0006] Los alambres desnudos consisten generalmente de latón con un contenido de zinc de entre 35 y 40% en peso, mientras que la mayoría de los alambres revestidos comprenden un núcleo de cobre o latón y una o más capas de cobertura de zinc o una aleación de cobre-zinc. Como materiales incluidos en el proceso de erosión presente, el zinc y el latón, debido a  
15 la presencia de zinc y la fácil vaporización resultante, ofrecen la ventaja de poseer una relativamente alta velocidad de remoción y de eficiencia en el proceso de erosión, y de poder transferir muy pequeños de impulsos de energía para el acabado fino de las superficies de la pieza de trabajo.

20

[0007] En el caso de alambres de latón desnudos, el incremento en el contenido de zinc se haya sujeto a ciertos límites, ya que el proceso de formación en frío requerido no es económicamente viable por encima de un contenido específico de zinc debido a que al elevarse el contenido de zinc se incrementa la proporción de fases frágiles en la microestructura.

25

[0008] Es sabido que comparado con estos alambres desnudos, el resultado de corte puede mejorarse al utilizar alambres provistos de una cobertura o revestimiento de zinc puro o mayoritariamente puro. Además, es sabido que los alambres que poseen un revestimiento de latón que comprende la fase  $\beta$  o fase  $\beta'$  logran un resultado de corte aún mayor que los  
30 alambres mencionados anteriormente revestidos únicamente de zinc, puesto que el zinc incluido en la aleación de latón  $\beta$  o aleación de latón  $\beta'$  se evapora más lentamente al compararlo con el zinc puro, y por lo tanto se encuentra disponible para promover la remoción de material en un intervalo adecuado de tiempo cuando el alambre pasa a la zona de corte o mecanizado. Además, el contenido de zinc de la cobertura se puede incrementar aun mas  
35 utilizando alambres que contengan un revestimiento de la fase  $\gamma$  o de la fase  $\epsilon$  del latón, y en principio es posible lograr resultados de corte idénticos o mayores al compararlos con los

alambres mencionados anteriormente revestidos de latón  $\beta$  o latón  $\beta'$ . Conjuntamente con los revestimientos de fases frágiles, tal que la fase  $\gamma$  se ha encontrado, sin embargo, en primer lugar que un incremento en el espesor de la capa no implica necesariamente una mejora adicional del resultado (ver EP 1 295 664), y en segundo lugar la conformación o capacidad de trabajo de capas más gruesas esta sujeta a límites, con inconvenientes para la fabricación en términos económicos (ver EEUU 5 945 010). Además, los revestimientos de latón  $\gamma$  experimentan mayor desgaste que los revestimientos de latón  $\beta$  lo cual en la práctica disminuye frecuentemente de nuevo el resultado de corte.

10 [0009] Desarrollos posteriores para la mejora en el rendimiento de corte incluyen principalmente combinaciones de las distintas capas de cobertura mencionadas, si apropiadas con capas adicionales, en un revestimiento o cobertura de múltiples capas y también, por ejemplo, en el uso de varios efectos de superficie. Ocasionalmente también se han propuesto a este respecto, los forros que comprenden una capa de cobertura de latón que comprende una mezcla de fases de, por ejemplo, fase  $\alpha$  y fase  $\beta$  o fase  $\beta$  y fase  $\gamma$ , en algunos casos, de manera obligada debido a procesos de difusión que tienen lugar durante los procesos de fabricación correspondiente. Como ejemplo, en EP 1 038 625 se describe un electrodo de alambre, en donde la cobertura del mismo comprende una capa de cobertura interna, la cual, inter-alia, puede tener una estructura  $\beta$  y/o  $\gamma$  homogénea. Al escoger tal estructura, se propone proporcionar una red cristalina cúbica centrada en el cuerpo con la fuerte inclusión antes mencionada de los átomos de zinc en la red.

[0010] En general, se necesita aumentar la viabilidad económica de la técnica de erosión por alambre por medio de una mejora adicional de los resultado de corte y de resistencia a la erosión.

[0011] Es por tanto objeto de la presente invención proporcionar un electrodo de alambre que posea un resultado de corte y una resistencia a la erosión mejorados.

30 [0012] Las características de la reivindicación 1 y de la reivindicación 14 sirven para lograr este objeto. Las realizaciones ventajosas del electrodo de alambre y del método para fabricarlo representan el contenido de las reivindicaciones dependientes asociadas respectivas.

35 [0013] De acuerdo con la presente invención, se proporciona un electrodo de alambre para corte mecanizado por electroerosión, o corte de erosión por chispas, que tiene un núcleo el

- cual comprende un metal o una aleación metálica. En este caso, es preferible que el núcleo consista en una proporción de más del 50% en peso y mas preferiblemente sea completamente o esencialmente completamente de uno o más metales y/o de una o más aleaciones metálicas. En particular, el núcleo, puede por consiguiente, estar conformado
- 5 completamente de un metal o de una aleación metálica. El núcleo puede conformarse homogéneo o, por ejemplo en la forma de una pluralidad de metales individuales o de capas de aleaciones metálicas de diferente composición dispuestas las unas encima de las otras; puede tener propiedades que varían en la dirección radial.
- 10 [0014] Rodeando o abarcando al núcleo se encuentra un forro o cobertura, por ejemplo en la forma de un revestimiento, el cual comprende una o más capas de cobertura. El propósito de la cobertura es su desgaste durante un proceso de erosión por alambre. En el caso de una pluralidad de capas de cobertura, estas se disponen unas encima de las otras en la dirección radial, y preferiblemente cada capa se extiende rodeando o abarcando al núcleo. En este
- 15 caso, se proporciona una o más capas de cobertura las cuales comprenden una mezcla de fases de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ . Por consiguiente, esta capa de cobertura única o esta pluralidad de capas de cobertura pueden contener, respectivamente, por ejemplo, fase  $\beta$  y fase  $\gamma$ , fase  $\beta'$  y fase  $\gamma$  o también fase  $\beta$ , fase  $\beta'$  y fase  $\gamma$ .
- 20 [0015] En este contexto, se deberá mencionar que la fase  $\beta'$  es estable por debajo de una cierta temperatura y tiene una red ordenada con puntos reticulares definidos para el cobre y para el zinc y, si esta temperatura se excede, pasa dentro de la fase  $\beta$  no ordenada, en la cual los átomos están distribuidos estadísticamente sobre los puntos reticulares de una red cúbica de cuerpo centrado. Dado que, de acuerdo a la opinión predominante, la conversión
- 25 entre la fase  $\beta$  y la fase  $\beta'$  no se puede suprimir y adicionalmente tiene únicamente un impacto menor en las propiedades mecánicas y eléctricas de esta, una referencia general a la fase  $\beta$  también significa siempre la fase  $\beta'$  dentro del contexto de esta solicitud, a menos que se mencione expresamente una diferenciación.
- 30 [0016] Puesto que el latón  $\beta'$ , latón  $\beta$  y latón  $\gamma$ , como se indicó anteriormente, contribuyen ventajosamente a una mejora en el resultado de corte, es preferible de manera particular que al menos una de estas capas sea proporcione en la región externa o en las cercanías de la región externa de la cobertura.
- 35 [0017] Preferiblemente, la cobertura conforma la superficie externa del electrodo de alambre, y con la excepción de una capa de transición, que se discutirá posteriormente en mayor

detalle, y que puede estar presente, no se proporcionan capas adicionales entre el núcleo y la cobertura. En ciertas aplicaciones, sin embargo, también puede ser ventajoso proporcionar una o más capas adicionales en la cobertura y/o entre el núcleo y la cobertura.

5 [0018] Al menos se forma una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , de modo que la fase  $\beta$  y/o  $\beta'$  y la fase  $\gamma$  están presente una junta a la otra, o en paralelo, en una microestructura de grano fino, en la cual el tamaño de grano principal de los granos de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y los granos de latón  $\gamma$  es 5  $\mu\text{m}$  o menor y preferiblemente 3  $\mu\text{m}$  o menor en sección perpendicular al eje longitudinal del electrodo de alambre. En una realización preferente, el

10 tamaño de grano principal de los granos de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y los granos de latón  $\gamma$  es al menos 0.1  $\mu\text{m}$  y preferiblemente al menos 0.2  $\mu\text{m}$  en sección perpendicular al eje longitudinal del electrodo de alambre. Los granos de latón  $\gamma$  están presentes, por ejemplo, como una precipitación fina en una matriz de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ . Los valores dados para el tamaño de grano principal, se refieren por lo tanto a la totalidad o combinación de la fase  $\beta$  y/o  $\beta'$  y

15 fase  $\gamma$  en la microestructura, es decir a todos los granos los cuales pertenecen a una de dichas fases. Además, los valores dados para el tamaño de grano principal se refieren al tamaño de grano perpendicular al eje longitudinal del alambre, es decir en planos perpendiculares al eje longitudinal del alambre. Como consecuencia de la formación en frío que tiene lugar a lo largo del eje longitudinal durante la producción, los granos serán

20 generalmente de mayor dimensión en la dirección del eje longitudinal del alambre que en la perpendicular al eje longitudinal, y por lo tanto resultarán valores generalmente mayores en micro sección longitudinal o desbastado.

[0019] El tamaño de grano principal se determina preferentemente en base a la evaluación

25 de micrografías electrónicas de barrido de microsecciones transversales. En este sentido, puede ser conveniente que la producción de las microsecciones transversales comprenda el desbastado, pulido y posible decapado. Inicialmente el alambre se corta preferiblemente de manera transversal al eje longitudinal del mismo con la ayuda del proceso de corte por inclinación de haz de iones, es decir, el alambre se cubre en ciertas porciones con una

30 pantalla que luego se con iones  $\text{Ar}^+$  a la energía de 6 keV, como resultado de lo cual el material se remueve desde las partes del alambre que sobresalen más allá de la pantalla por los iones y luego el alambre preparado de esta manera se sujeta conductivamente utilizando plata conductiva a un sujetador de muestra, se pule en el haz de iones y luego se investiga directamente en un microscopio electrónico de barrido. Las micrografías utilizadas son

35 preferentemente imágenes electrónicas retro dispersadas magnificadas de 2000 a 3000, preferentemente 2000. Los tamaños de grano pueden después determinarse de manera

ventajosa sobre la base de ASTM E 112, contando las interfaces. Con este propósito, se pueden colocar por ejemplo los cuadrados de longitud de borde de 10 mm sobre las imágenes, pudiéndose contar el número de granos dentro del cuadrado respectivo, y donde los granos situados en la línea límite externa del cuadrado se cuentan solo al 50%. El tamaño de grano principal en la región investigada se obtiene entonces de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{A}{V^2 n}}$$

donde D es el tamaño de grano principal (diámetro de un grano equivalente con una sección transversal cuadrada), A es el área de superficie del cuadrado, V es la ampliación y n es el número de granos en el cuadrado determinado en la forma descrita anteriormente. Después se hace una media del tamaño de grano así determinado sobre tres cuadrados, por ejemplo.

[0020] La proporción de la fase  $\gamma$  en la mezcla de fases es preferiblemente del 5% al 80% y más preferiblemente del 5% al 50%. En este caso, en realizaciones ventajosas, la proporción puede ser al menos del 10%.

[0021] Se ha encontrado que, con un electrodo de alambre con este diseño y al mismo tiempo, el resultado de corte y la resistencia a la erosión se incrementan considerablemente en comparación con los alambres ya conocidos. En virtud de la microestructura presente en al menos una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , la fase  $\gamma$  se encuentra disponible para promover los procesos de descarga en la abertura de mecanizado, en donde esta, sin embargo, está adherida adecuadamente por la microestructura asegurándose así el que se libere en dosis finas. En otras palabras, durante el proceso de erosión, entre el electrodo de alambre y la pieza de trabajo, esto impide que, cantidades relativamente grandes de fase  $\gamma$ , por ejemplo en la forma de granos relativamente grandes, puedan removerse localmente de forma completa en corto tiempo, o que se separen completamente a consecuencia de la escasa adherencia al sustrato, y por lo tanto que de manera no ventajosa no se encuentren disponibles durante más tiempo en cualquier otra parte durante el movimiento adicional de la porción de alambre respectiva a través de la zona de erosión predefinida por la altura de la pieza de trabajo y la anchura de la abertura de corte. Además, debido a la microestructura de grano fino, se encuentra ventajosamente presente un incrementado número de límites de grano, el cual puede servir como puntos raíz preferidos para la descarga de chispas, de modo que aumente la inflamabilidad en el proceso y por consiguiente a su vez, el resultado de corte.

[0022] Comparado con un electrodo de alambre que comprende, por ejemplo, una capa de cobertura externa la cual comprende predominantemente granos de fase  $\gamma$  relativamente grandes, el electrodo de alambre de acuerdo con la invención posee mayor resistencia a la erosión. Se pueden aplicar potencias de generador mayores en la forma de corrientes o frecuencias de impulso mayores con el fin mejorar el resultado de corte. Además, aumenta la fiabilidad contra la rotura del alambre, es decir, mejora la fiabilidad del proceso particularmente en el caso de piezas de trabajo relativamente altas, y por lo tanto se reduce ventajosamente el riesgo de tiempos de inactividad.

10

[0023] La cobertura se puede aplicar al núcleo, por ejemplo, mediante métodos de revestimiento adecuados, si fuera apropiado, en combinación con un proceso de tratamiento térmico. La cobertura se puede aplicar, por ejemplo, empleando medios físicos o electroquímicos y si fuera apropiado, ello puede ser seguido de etapas adicionales para reducir el diámetro del alambre. Entonces, por ejemplo, se puede proceder a partir de un material inicial en la forma de alambre de Cu, CuZn<sub>20</sub> o CuZn<sub>37</sub>, de diámetro, por ejemplo, 1 mm, el cual se reviste de Zn, por ejemplo por electrodeposición o por inmersión en caliente. Una vez el diámetro de este alambre revestido haya quedado reducido opcionalmente a una dimensión intermedia con la ayuda de un dispositivo de estirado de alambre, le siguen después los procesos de recocido por difusión de una etapa o de etapas múltiples, en los cuales el calor puede introducirse por radiación, convección o conducción térmica. El recocido puede tener lugar, por ejemplo, bajo presión atmosférica o un gas protector.

15

20

[0024] Se puede conseguir la formación de la mezcla de fases de grano fino de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  de manera ventajosa, por ejemplo, sometiendo el alambre revestido con Zn en primer lugar y opcionalmente estirándolo a una dimensión intermedia para el recocido por difusión, y donde se forma una capa de cobertura predominantemente de latón  $\gamma$  de manera dirigida mediante un procedimiento apropiado conocido, como se describe por ejemplo en EP 0 733 431 B1. Con este fin, por vía de ejemplo, el recocido por difusión se puede realizar a una velocidad de calentamiento de al menos 10°C/s y una temperatura de recocido de 500°C a 800°C procediendo a partir de un revestimiento preferentemente de zinc, aplicado por debajo de una temperatura a la cual ocurre la difusión, con un tiempo de recocido seleccionado en el intervalo de 10 a 300 segundos, para la fabricación de la capa de cobertura predominantemente de latón  $\gamma$  o preferiblemente esencialmente de latón  $\gamma$ , y después teniendo lugar el enfriamiento como mínimo a 10°C/s. Le sigue un segundo recocido por difusión, en el cual el latón  $\gamma$  se convierte primero a temperaturas de más de 600 °C en

25

30

35



un latón  $\beta$  muy rico en zinc con una proporción de zinc preferentemente de al menos un 51% en peso o sustancialmente en un latón  $\beta$  muy rico en zinc teniendo una proporción de zinc preferentemente de al menos un 51% en peso. Durante el enfriamiento, las regiones finas de latón  $\gamma$  se precipitan después desde la solución de sólido  $\beta$  supersaturada. La velocidad de calentamiento es preferentemente de al menos 10°C/s, el tiempo de recocido está preferentemente en el intervalo de 5 a 200 segundos y la velocidad de enfriamiento es preferentemente de al menos 10 °C/s. Los tiempos de recocido anteriores se refieren al período de tiempo entre el inicio y final del suministro de calor. S puede optar después por una o más etapas de revestimiento de Zn adicionales y/o uno o más procesos de recocido por difusión adicionales, antes que el alambre quede estirado en su dimensión final. El alambre puede quedar estirado antes, durante o después de uno de los procesos de enfriamiento anteriores.

[0025] En una realización preferente, al menos una o preferiblemente todas de al menos una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  esta o están formadas de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  en un grado de al menos un 50% en peso. En particular, al menos una o todas de al menos una capa de cobertura conteniendo latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  pueden consistir o consisten esencialmente de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ .

[0026] En una configuración ventajosa de capas múltiples de cobertura, se hace provisión de una o más capas de cobertura las cuales se forman de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$ , un latón y/o cobre de al menos un 50% en peso y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente y se disponen entre el núcleo y al menos una capa de cobertura que contiene latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ . Es preferible que todas las capas de cobertura que contienen latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  queden dispuestas radialmente fuera de todas las capas de cobertura, las cuales se forman desde latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\gamma$ , latón /o cobre en un grado de al menos 50% en peso.

[0027] En una de estas configuraciones de capas múltiples, la cobertura puede comprender de forma ventajosa, por ejemplo, una o más capas de cobertura las cuales se forman de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$  a un grado de al menos 50% en peso y preferentemente completamente o sustancialmente completamente y se disponen entre el núcleo y al menos una capa de cobertura que contiene latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ . En este caso es preferible de nuevo que todas las capas de cobertura que contengan latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  se dispongan radialmente fuera de todas las primeras capas de cobertura. Por ejemplo, se

puede seleccionar una configuración ventajosa en la cual la cobertura comprenda, o consista o esencialmente consista en una capa de cobertura situada adicionalmente hacia el exterior, la cual este formada predominantemente o completamente o sustancialmente completamente por latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , y una capa de cobertura la cual se dispone entre esta capa de cobertura situada adicionalmente hacia afuera y el núcleo; y se forma predominantemente o completamente o sustancialmente completamente de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$ , es decir, una primera capa de cobertura. Es preferible que la microestructura de una o más y preferentemente de todas estas primeras capas de cobertura sea de grano más grueso que la de al menos una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ . Al proporcionar una primera capa entre el núcleo y una capa de cobertura que contiene latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , es posible incrementar la resistencia general de la capa de cobertura e incrementar adicionalmente la resistencia al desgaste o erosión. Se ha comprobado que meramente al incrementar el espesor de la capa de cobertura que contiene latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , comporta una disminución de la conductividad eléctrica y la resistencia a la tensión mecánica del electrodo de alambre, lo cual sin embargo tiene un efecto desfavorable en el resultado de corte y en la fiabilidad del proceso.

[0028] En conjunto con esta realización, es preferible además que la cobertura comprenda una o más segundas capas de cobertura, las cuales se forman cada una de latón y/o cobre en un grado de al menos 50% en peso y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente y se dispongan entre el núcleo y al menos una primera capa de cobertura. Es preferible que todas las primeras capas de cobertura estén dispuestas radialmente hacia fuera de todas las segundas capas de cobertura y que todas las capas de cobertura que comprenden latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  se dispongan radialmente hacia fuera de todas las primeras capas de cobertura. Una segunda capa de cobertura puede ser ventajosa, en particular cuando se selecciona un material de núcleo de propiedades de erosión moderadas, tal que por ejemplo acero o cobre, ya que ello supone una reserva al desgaste adicional, pero puede contribuir a un incremento del grado de a la tensión mecánica en comparación con una capa de cobertura la cual contiene latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$  o comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ . Dicha capa puede posiblemente incluso estar presente debido a la producción, si por ejemplo dicha composición se obtiene a causa de procesos de difusión entre un núcleo de cobre o un núcleo de acero enchapado con cobre y la primera capa de cobertura.

[0029] En una configuración adicional de capas múltiples, la cobertura puede comprender, por ejemplo, una capa de cobertura externa la cual preferiblemente forma parte de la superficie externa o de la superficie externa completa de la capa de cobertura en la forma de

una capa superior y esta formada de zinc, una aleación de zinc u óxido de zinc en un grado de por lo menos un 50% en peso y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente. Tal capa de cobertura externa es ventajosa dentro del contexto de los procesos de acabado fino con pequeñas energías de descarga, dado que el zinc se haya  
 5 después disponible más rápidamente. Contrariamente en el caso de energías de descarga mayores, la capa se remueve rápidamente y contribuye solo de forma insignificante al proceso de erosión. La capa de cobertura externa preferiblemente tiene un espesor de 0,1 a 3  $\mu\text{m}$ .

10 [0030] En una configuración preferente de capas múltiples, la cobertura se construye a partir de una o más primeras capas de cobertura definidas anteriormente, de una o más capas de cobertura definidas anteriormente que contienen latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , y la capa de cobertura externa definida anteriormente proporcionada en la forma de una capa superior. En particular, la cobertura se puede construir ventajosamente a partir de una primera capa de  
 15 cobertura, una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , y latón  $\gamma$ , y la capa de cobertura externa.

[0031] En una configuración preferente adicional de capas múltiples, la cobertura se construye a partir de una o más primeras capas de cobertura definidas anteriormente, una o  
 20 más segundas capas de cobertura definidas anteriormente, una o más capas de cobertura definidas anteriormente que contienen latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  y la capa de cobertura externa definida anteriormente proporcionada en la forma de una capa superior. En particular, la cobertura se puede construir ventajosamente de una primera capa de cobertura, una segunda capa de cobertura, una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  y  
 25 la capa de cobertura externa.

[0032] Es preferible que el núcleo se encuentre formado predominantemente y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente de cobre o una aleación de cobre-zinc con un contenido de zinc de 2 a 40% en peso. Dichos núcleos se conforman  
 30 de manera ventajosa fácilmente en frío.

[0033] En una configuración preferente, la contribución principal del espesor de la cobertura al espesor total del electrodo de alambre está en el intervalo del 2% a 30% y preferiblemente en el intervalo del 5 a 20% a lo largo de toda la longitud del electrodo de alambre. En el caso  
 35 de una cobertura demasiado delgada, no se lograra la suficiente resistencia a la erosión. Es más difícil llevar a cabo el proceso de formación en frío en el caso de coberturas

excesivamente gruesas, y además la resistencia a la tensión mecánica y la conductividad eléctrica del electrodo de alambre se reducen a causa del aumento en la proporción de fases frágiles. Los diámetros preferidos del electrodo de alambre se hayan en un intervalo de 0,1 a 0,4mm.

5

[0034] La cobertura que rodea el núcleo - dependiendo de la aplicación - se puede formar tanto de una manera cerrada como tener fisuras o discontinuidades, es decir la cobertura puede cubrir al núcleo completamente o sustancialmente completamente o o alternativamente, sólo parcialmente. De manera similar, en el caso de configuraciones de 10 capas múltiples de la cobertura, cada capa de cobertura se puede formar tanto en una manera cerrada como tener figuras o discontinuidades, es decir puede cubrir la capa de cobertura situada debajo de esta o al núcleo completamente o sustancialmente completamente o también solo parcialmente. Esto se refiere en particular a cada una de las 15 capas de cobertura mencionadas anteriormente. También, en el caso de coberturas de capas múltiples, el núcleo puede no quedar completamente cubierto pudiendo ser visible en algunas ubicaciones. Así a manera de ejemplo, la fabricación del electrodo de alambre mediante procesos de estirado en frío puede conducir a la aparición de fisuras y desprendimientos en la capa superior y en una o más de las capas de cobertura inferiores. Además, los procesos de estirado en frío conducen a la distorsión en la capa de cobertura o 20 las capas de cobertura, y por lo tanto en conjunto las interfaces entre las capas de cobertura adyacentes o entre el núcleo de alambre y la capa de cobertura superpuesta generalmente no se formara de una manera ideal, sino al contrario puede ser irregular y/o "indistinta" debido a los procesos de difusión. Además, el material del núcleo puede penetrar tan lejos que hasta la superficie de alambre como resultado de la distorsión.

25

[0035] En una configuración preferente, una capa de transición, la cual comprende y preferiblemente consiste o esencialmente consiste de uno o más elementos del material de núcleo y uno o más elementos de la cobertura, se dispone entre el núcleo y la cobertura. En general, se formará una capa de transición correspondiente en el transcurso de la fabricación 30 del electrodo de alambre y en particular en el de la cobertura. Adicionalmente o en lugar de tal capa de transición relacionada con la fabricación, también es posible producir una o más capas de transición en una manera dirigida. La capa de transición o las capas de transición sirven para asegurar una adhesión del núcleo y la cobertura suficiente y permanente.

35 [0036] En conjunto, debe señalarse que las zonas de transición, las cuales pueden formar una capa de transición, pueden estar presentes entre capas de cobertura adyacentes

generalmente ligadas obligatoriamente al resultado de la producción, por ejemplo como resultado de los procesos de difusión ya mencionados. El hecho de mencionar dentro del contexto de esta solicitud de patente, que la cobertura se construye de capas específicas, no excluye consecuentemente la presencia de tales capas de transición.

5

[0037] A continuación se explica la invención con más detalle sobre la base de las realizaciones ejemplares y en referencia a las figuras.

La figura 1 muestra, esquemáticamente y sin una escala exacta, una sección transversal de una primera realización de electrodo de alambre de acuerdo con la invención.

10 La figura 2 muestra, esquemáticamente y sin una escala exacta, una sección transversal de una segunda realización de electrodo de alambre de acuerdo con la invención.

[0038] El electrodo de alambre 1 mostrado en sección transversal en la figura 1 comprende un alambre núcleo 2, el cual queda completamente rodeado o abarcado por una cobertura 3, 4 la cual forma el exterior del electrodo de alambre 1. En la realización ejemplar mostrada, el núcleo 2 se forma completamente de manera homogénea o sustancialmente completamente de cobre o una aleación de cobre-zinc con un contenido de zinc preferiblemente de 2 a 40% en peso. La cobertura 3, 4 está compuesta por dos capas parciales de cobertura 3 y 4, las cuales se disponen una encima de otra y se forman cada una de latón en grado de más de un 50% en peso y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente. En casos específicos, generalmente puede ser ventajoso formar el electrodo de alambre 1 de modo que la composición del núcleo 2 y/o de la cobertura y/o de las capas de cobertura individuales varíe en dirección radial. En el caso de la cobertura, esta se puede realizar no solo con configuraciones de capas múltiples, sino también mediante variaciones continuas dentro de las capas de cobertura individuales.

[0039] La capa de cobertura 3 situada adicionalmente hacia el exterior consiste predominantemente, es decir en un grado de más de 50% en peso, y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente en una mezcla en primer lugar de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y en segundo lugar de latón  $\gamma$ , en donde la fase  $\beta$  y/o  $\beta'$  y la fase  $\gamma$  están presentes una junto a la otra, o en paralelo, en una microestructura de grano fino, en la cual el tamaño de grano promedio de todos los granos que pertenecen a las fases mencionadas, es 0,1 a 5  $\mu\text{m}$  perpendicular al eje longitudinal del alambre.

35 [0040] La capa de cobertura adicional 4 se dispone entre la capa de cobertura 3, la cual forma la superficie externa del electrodo de alambre 1; en la realización ejemplar en la figura

1, y el núcleo 2. La capa de cobertura 4 puede de manera ventajosa consistir mayoritariamente, es decir, en un grado de al menos un 50% en peso, y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$ , un latón y/o cobre, donde se prefiere el latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$ . También  
 5 puede ser ventajoso remplazar la capa de cobertura 4 con dos capas de cobertura dispuestas una encima de la otra, en donde la capa de cobertura que colinda con el núcleo se forma mayoritariamente y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente de latón  $\alpha$  y/o cobre y la capa de cobertura dispuesta en la parte superior se forma mayoritariamente y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente de  
 10 latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  o  $\alpha+\beta'$ .

[0041] Además, se puede proveer una capa de transición (no mostrada) la cual igualmente rodea completamente el núcleo 2 entre las coberturas 3 y 4 y el núcleo 2; la capa de transición contiene al menos un elemento el cual está presente en el núcleo 2 y al menos un  
 15 elemento el cual está presente en la capa de cobertura 4. La capa de transición contiene preferentemente una aleación la cual, en términos de su composición, se sitúa entre aquella del núcleo 2 y aquella de la capa de cobertura 4. En este punto, la composición también puede variar en la dirección radial para utilizar una transición gradual entre el núcleo 2 y la capa de cobertura 4. Dicha capa de transición sirve para aumentar la adhesión entre el  
 20 núcleo 2 y la capa de cobertura 4. Dependiendo del método de producción utilizado para el electrodo de alambre 1, generalmente ya se habrá producido de forma inherente una capa de transición 25 más o menos extensa, por ejemplo como resultado de los procesos de difusión. Dicha capa de transición será de pequeño espesor en comparación a la de la cobertura 3, 4.

[0042] Debe señalarse que en conjunto, las interfaces entre las capas adyacentes no estarán generalmente formadas de manera ideal, sino que pueden ser irregulares y/o "indistintas" debido a los procesos de difusión. Como ya se ha indicado anteriormente, el curso de las capas o de las interfaces también puede ser demasiado irregular, en comparación con aquel  
 30 mostrado en las figuras, dependiendo del método de fabricación, de modo que las capas individuales o una pluralidad de capas situadas una encima de la otra son "interrumpidas" en algunas ubicaciones por capas subyacentes o el núcleo. En particular, la cobertura 3, 4 y/o capas de cobertura individuales 3, 4 se puede configurar como una capa de transición posiblemente presente de modo que posea fisuras o discontinuidades y no cubra completamente al núcleo o las capas subyacentes.

35

[0043] En un ejemplo preferido particular de esta realización, el núcleo 2 se forma de  $\text{Cu Zn}_{37}$ , la capa de cobertura 4 colindante al núcleo se forma mayoritariamente de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  que tiene un contenido de zinc de aproximadamente 48% en peso, y la capa de cobertura 3 la cual forma la superficie externa del electrodo de alambre 1 se forma mayoritariamente de una mezcla de fases de latón  $\beta$  o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  que tiene un contenido de zinc medio de aproximadamente 55% en peso. El espesor medio de la capa de cobertura 4 es aproximadamente 8  $\mu\text{m}$ , el espesor predominante de la capa de cobertura 3 es aproximadamente 15  $\mu\text{m}$ , y el espesor del electrodo de alambre completo 1 es 0.25 mm. El electrodo de alambre 1 tiene una resistencia a la tensión mecánica de aproximadamente 800 N/mm<sup>2</sup> y una conductividad eléctrica de aproximadamente 12 m/ $\Omega$  mm<sup>2</sup>. Una posible capa de transición ente el núcleo y la cobertura 3, 4 podrá tener un espesor aproximado de por ejemplo 1  $\mu\text{m}$ .

[0045] En la figura 2 se muestra una realización preferente adicional de un electrodo de alambre 1' en sección transversal. En principio, esta realización difiere de la realización de acuerdo con la figura 1 en que se proporciona también una capa superior 5, en la capa de cobertura 3 como capa de cobertura más externa, donde dicha capa superior se forma mayoritariamente y preferiblemente completamente o sustancialmente completamente de zinc, una aleación de zinc y/u óxido de zinc. Ventajosamente podría tener un contenido de zinc mayor que la capa de cobertura 3 comportando entonces una influencia beneficiosa en los procesos de acabado fino con pequeñas energías de descarga. En este caso, la capa superior 5 puede tener un espesor considerablemente menor que la capa de cobertura 3 y discontinuidades mayores. De ser apropiada, la superficie externa del electrodo de alambre 1', se puede formar por lo tanto sustancialmente por la capa de cobertura 3 y la capa superior 5.

[0046] En un ejemplo preferido particular de esta realización de acuerdo ala figura 2, el núcleo 2 se forma de  $\text{Cu Zn}_{20}$ , la capa de cobertura 4 colindante al núcleo esta formado mayoritariamente latón  $\beta$  o  $\beta'$  con un contenido de zinc aproximado del 45% en peso, la capa de cobertura 3 se forma mayoritariamente de una mezcla de fases de latón  $\beta$  o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  teniendo un contenido promedio de zinc aproximado de 53% en peso, y la capa superior 5 consiste predominantemente de óxido de zinc. El espesor de capa principal de las capas de cobertura 3 y 4 es aproximadamente 12  $\mu\text{m}$  en cada caso, el espesor de capa principal de la capa superior 5 es aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ , y el espesor del electrodo de alambre completo 1' es 0,25 mm. El electrodo de alambre 1' tiene una resistencia a la tensión mecánica aproximada de 750 N/mm<sup>2</sup> y una conductividad eléctrica aproximada de 17

$m/\Omega\text{mm}^2$ . Una posible capa de .transición entre el núcleo y la cobertura 3, 4 podrá tener un espesor aproximado de  $1\ \mu\text{m}$ , por ejemplo.



## REIVINDICACIONES

1. Un electrodo de alambre para corte mecanizado por descarga eléctrica teniendo:

- un núcleo (2) el cual comprende un metal o una aleación metálica, y
- una cobertura (3, 4; 3, 4, 5) la cual rodea el núcleo (2) y comprende una o más capas de cobertura (3, 4, 5), de las cuales al menos una (3) contiene una mezcla de fases de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ ,

**caracterizado porque**, en al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , la fase  $\beta$  y/o  $\beta'$  y la fase  $\gamma$  están presentes una junto a la otra en una microestructura de grano fino, en la cual el tamaño de grano principal de los granos de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y los granos de latón  $\gamma$  es 5  $\mu\text{m}$  o menos en sección perpendicular al eje longitudinal del electrodo de alambre (1,1').

2. El electrodo de alambre de conformidad con la reivindicación 1, caracterizado porque el tamaño de grano principal de los granos de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y de los granos de latón  $\gamma$  es 3  $\mu\text{m}$  o menos en sección perpendicular al eje longitudinal del electrodo de alambre (1,1').

3. El electrodo de alambre de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, caracterizado porque al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ , se forma de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  hasta un grado de al menos 50% en peso.

4. El electrodo de alambre de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la cobertura (3, 4; 3, 4, 5) comprende al menos una capa de cobertura (4), la cual se forma de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$ , latón  $\alpha+\beta$  y/o latón  $\alpha+\beta'$ , latón  $\alpha$  y/o cobre hasta un grado de al menos 50% en peso y se dispone entre el núcleo (2) y al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ .

5. El electrodo de alambre de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado porque la cobertura (3, 4; 3, 4, 5) comprende al menos una primera capa de cobertura (4), la cual se forma de latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y/o latón  $\alpha+\beta$  o  $\alpha+\beta'$  hasta un grado de al menos un 50% en peso y se dispone entre el núcleo (2) y al menos una capa de cobertura que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ .

6. El electrodo de alambre de acuerdo a la reivindicación 5, en donde la microestructura de al menos una primera capa de cobertura (4) es de grano más grueso que la microestructura de al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$ .

5

7. El electrodo de alambre de acuerdo a la reivindicación 5 o reivindicación 6, en donde la cobertura (3, 4; 3, 4, 5) comprende al menos una segunda capa de cobertura (4), la cual se forma de latón  $\alpha$  y/o cobre hasta un grado de al menos 50% en peso y se dispone entre el núcleo (2) y al menos una primera capa de cobertura (4).

10

8. El electrodo de alambre de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la cobertura (3, 4, 5) comprende una capa de cobertura externa (5), la cual se forma de zinc, una aleación de zinc u óxido de zinc hasta un grado de al menos un 50% en peso.

15

9. El electrodo de alambre de acuerdo a la reivindicación 5 o reivindicación 6 y reivindicación 8, en donde la cobertura (3, 4, 5) está compuesta de al menos una primera capa de cobertura (4), al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  y la capa de cobertura externa (5).

20

10. El electrodo de alambre de acuerdo a la reivindicación 5 o reivindicación 6 y reivindicaciones 7 y 8, en donde la cobertura (3, 4, 5) está compuesta de al menos una primera capa de cobertura (4), al menos una segunda capa de cobertura (4), al menos una capa de cobertura (3) que comprende latón  $\beta$  y/o  $\beta'$  y latón  $\gamma$  y la capa de cobertura externa (5).

25

11. El electrodo de alambre de conformidad con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde la capa de cobertura externa (5) tiene un espesor de 0,1 a 3  $\mu\text{m}$ .

12. El electrodo de alambre de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el núcleo (2) se forma de cobre o una aleación de cobre-zinc que tiene un contenido de zinc de 2 a 40% en peso.

5

13. El electrodo de alambre de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la contribución principal del espesor de la cobertura(3, 4; 3, 4, 5) al espesor total del electrodo de alambre (1,1') se encuentra en el intervalo de 2% a 30% a lo largo de la longitud completa del electrodo de alambre (1,1').

10

14. Un método para producir un electrodo de alambre (1,1') de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en donde un núcleo (2) que comprende cobre o latón está revestido con zinc y un alambre que tiene una capa de cobertura que consiste predominantemente de latón  $\gamma$  se forma por medio de recocido por difusión, caracterizado porque se lleva a cabo una etapa adicional de recocido por difusión, en la cual el latón  $\gamma$  es sustancialmente convertido en un latón  $\beta$  teniendo un contenido de zinc de al menos 51% en peso a temperaturas por encima de 600°C y finalmente el alambre (1,1') se enfría, en cuyo caso las regiones finas de latón  $\gamma$  se precipitan desde la solución de sólido  $\beta$  supersaturada.

20

15. El método de acuerdo a la reivindicación 14, en donde la velocidad de calentamiento es al menos 10°C/s, el tiempo de recocido es 5 a 200 s y la velocidad de enfriamiento es al menos 10°C/s.

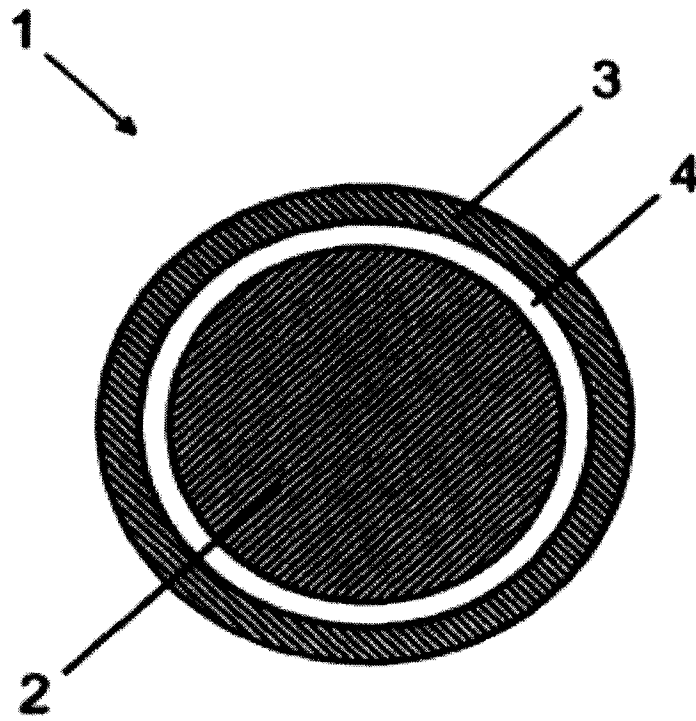


Figura 1

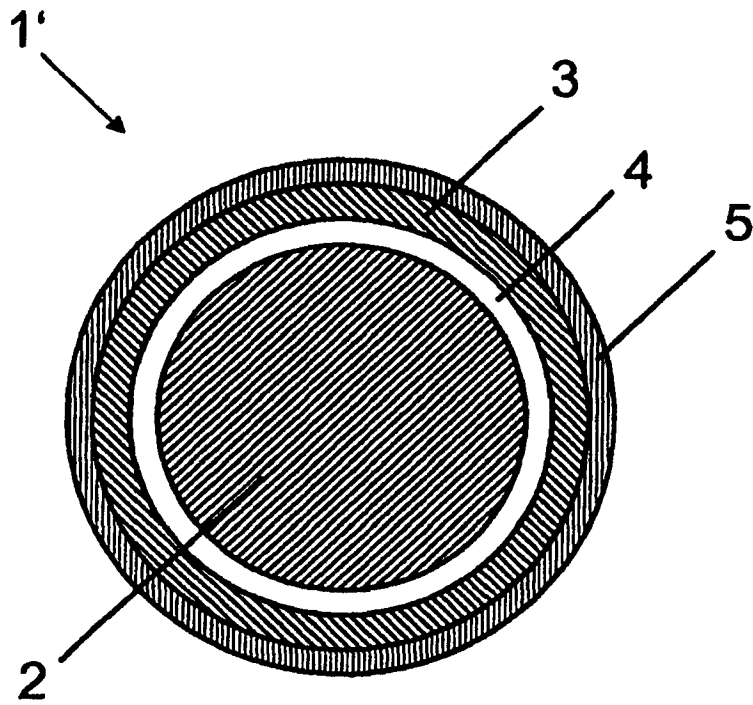


Figura 2