

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 016 832**

51 Int. Cl.:

**H01B 3/30** (2006.01)

**H01B 17/64** (2006.01)

**H01B 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.01.2018 E 18151891 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.02.2025 EP 3511950**

54 Título: **Alambre esmaltado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.05.2025**

73 Titular/es:  
**SCHWERING & HASSE ELEKTRODRAHT GMBH**  
**(100.00%)**  
**Pyrmonter Straße 3-5**  
**32676 Lügde, DE**

72 Inventor/es:  
**REICHER, JOHANN y**  
**HAASE, ROXANA**

74 Agente/Representante:  
**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 3 016 832 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

Alambre esmaltado

5 La invención se refiere a un alambre esmaltado con un núcleo conductor, en donde la superficie del núcleo conductor está recubierta completamente o esencialmente por completo con una laca electroaislante.

10 Los alambres esmaltados del tipo descrito anteriormente se conocen en principio por la práctica y por el estado de la técnica en diversas formas de realización. Se remite a los documentos US 6.087.592 A, US 4.537.804 A, WO 99/08288 A1, WO 2013/054738 A1 y EP 2 923 362 B1. Estos alambres esmaltados se utilizan en máquinas o componentes eléctricos como bobinas, rotores y similares. Para fabricar dichas máquinas o componentes, normalmente se enrolla el alambre esmaltado y se dispone un gran número de espiras del alambre esmaltado, por ejemplo en una ranura. Durante este proceso de bobinado, es deseable lograr una alta densidad de empaquetamiento del alambre esmaltado, ya que la eficiencia de las máquinas o componentes depende de la utilización de la superficie de ranura o de la superficie de sección transversal de ranura disponible. Esta utilización de la superficie de ranura disponible puede describirse mediante el factor de llenado de ranura, que indica la relación entre la superficie de sección transversal efectiva del núcleo del conductor y la superficie de sección transversal máxima de la ranura. Además del objetivo de conseguir una mayor eficiencia posible, una alta densidad de empaquetamiento o una utilización óptima de la superficie de ranura disponible también es ventajosa con respecto al tamaño de las máquinas o componentes, ya que una alta densidad de empaquetamiento o una alta utilización de la superficie de ranura permite un diseño más compacto.

25 Con los alambres esmaltados conocidos en la práctica, se ha demostrado que a menudo las superficies de ranura disponibles no se pueden utilizar satisfactoriamente y, como resultado, se consiguen factores de llenado de ranura bajos y por consiguiente bajos niveles de eficiencia. En el caso de los alambres esmaltados conocidos, la capa de aislamiento aplicada sobre el núcleo conductor debe presentar un cierto espesor mínimo para cumplir con los requisitos impuestos al alambre esmaltado con respecto a sus propiedades eléctricas, como por ejemplo la rigidez dieléctrica. Al mismo tiempo, este espesor de capa mínimo limita el factor de relleno de ranura máximo alcanzable. Para garantizar las propiedades eléctricas requeridas, el aislamiento del alambre debe presentar un cierto espesor y al mismo tiempo el factor de llenado de ranura y unido a ello también la eficiencia del componente o de la máquina disminuye al aumentar el espesor de la capa de aislamiento.

35 Con respecto a esto, la invención se basa en el problema técnico de indicar un alambre esmaltado del tipo mencionado al principio, que se caracterice por una capa de aislamiento ventajosamente delgada en comparación con los alambres esmaltados conocidos en la práctica, con el que se pueden mejorar los factores de llenado de ranura conocidos hasta ahora y que cumpla no obstante todos los requerimientos con respecto a las propiedades eléctricas. Por tanto, la invención se basa en cierto modo en el problema técnico de indicar un alambre esmaltado que permita un compromiso óptimo entre un espesor de capa delgado de la laca electroaislante y las propiedades eléctricas no obstante satisfactorias, que cumplan los requerimientos, con el que pueda utilizarse de manera óptima la superficie de ranura disponible durante el proceso de bobinado.

45 Para resolver el problema técnico, la invención enseña un alambre esmaltado, con un núcleo conductor, en donde la superficie del núcleo conductor está recubierta completamente o esencialmente por completo con una laca electroaislante, en donde la laca electroaislante está formada a base de al menos un polímero de laca, en donde la laca electroaislante presenta una pluralidad de capas funcionales, en donde como capa(s) funcional(es)

- se proporciona al menos una capa funcional conductora con al menos un aditivo conductor
- y se proporciona al menos una capa funcional aislante con al menos un material de relleno aislante
- y se proporciona al menos una capa funcional neutra que está libre de aditivos conductores y libre de materiales de relleno aislantes y que está constituida por el al menos un polímero de laca o esencialmente por el al menos un polímero de laca,

55 en donde una capa funcional neutra se ha aplicado directamente sobre el núcleo conductor como capa base, en donde sobre esta capa base se ha aplicado al menos una capa funcional conductora y al menos una capa funcional aislante y en donde la relación del diámetro del núcleo conductor con respecto al espesor de capa total de la laca electroaislante es mayor o igual a tres.

60 Se ha demostrado eficaz que el núcleo conductor esté constituido por cobre o aluminio o esencialmente por cobre o aluminio. En principio, sin embargo, también otras sustancias eléctricamente conductoras, preferiblemente metales, son materiales posibles para el núcleo conductor del alambre esmaltado. Se recomienda que el núcleo conductor sea un alambre redondo y por consiguiente presente una sección transversal redonda. De acuerdo con una variante de realización alternativa, en el caso del núcleo conductor se trata de un alambre plano con superficie de sección transversal ovalada o de un alambre rectangular con superficie de sección transversal rectangular. En principio, otras formas de la superficie de sección transversal del núcleo conductor también están dentro del alcance de la invención.

65 En el contexto de la invención, por conductividad se entiende en particular conductividad eléctrica. En este contexto,

por aditivo conductor se entiende por tanto en particular un aditivo eléctricamente conductor o que puede conducir electricidad, mientras que por material de relleno aislante en el contexto de la invención se entiende un material de relleno eléctricamente no conductor o esencialmente no conductor eléctricamente o que no puede conducir electricidad.

5 Preferiblemente, la al menos una capa funcional conductora presenta al menos el polímero de laca y al menos un aditivo conductor y de manera especialmente preferida forma el al menos un polímero de laca a este respecto una matriz en la que está dispuesto el al menos un aditivo conductor. Está dentro del alcance de la invención que la al menos una capa funcional aislante comprende al menos el polímero de laca y al menos un material de relleno aislante y de manera especialmente preferida forma el al menos un polímero de laca una matriz en la que está dispuesto el al menos un material de relleno aislante.

15 De acuerdo con la invención, la laca electroaislante presenta al menos una capa funcional conductora y al menos una capa funcional aislante. En esta forma de realización, el al menos un aditivo conductor y el al menos un material de relleno aislante están dispuestos preferiblemente en cada caso en capas funcionales separadas de la laca electroaislante, concretamente en la al menos una capa funcional conductora por un lado y en la al menos una capa funcional aislante por otro lado.

20 De acuerdo con una forma de realización muy recomendada de la invención, la laca electroaislante presenta al menos dos capas funcionales conductoras y/o al menos dos capas funcionales aislantes. Las capas funcionales están dispuestas entonces convenientemente en una secuencia de capas alterna, por ejemplo en el orden "capa funcional conductora - capa funcional aislante - capa funcional conductora - capa funcional aislante". De manera especialmente preferida, las capas funcionales conductoras o aislantes dispuestas en una secuencia de capas alterna están dispuestas o se han aplicado directamente sobre la capa base. Además, está dentro del alcance de la invención que se proporcionen al menos dos capas funcionales conductoras y/o al menos dos capas funcionales aislantes y que además se proporciona, adicionalmente a la capa base de acuerdo con la invención, al menos una capa funcional neutra adicional, en donde las capas funcionales están dispuestas de manera recomendada en una secuencia de capas alterna.

30 Una configuración preferida de la invención se caracteriza por que se proporciona una capa final de la laca electroaislante, en donde la capa final es preferiblemente la capa exterior de la laca electroaislante, que presenta la mayor distancia de las capas de laca electroaislante desde el núcleo conductor. La capa final es convenientemente una capa funcional aislante o una capa funcional neutra. De acuerdo con una forma de realización especialmente recomendada, la capa final es una capa funcional neutra. Además, está dentro del alcance de la invención que al menos una capa exterior, preferiblemente una capa exterior diferente de la laca electroaislante, esté dispuesta sobre la laca electroaislante o sobre la capa final, en donde la capa exterior es de manera especialmente preferida una capa deslizante cuyo coeficiente de fricción es preferiblemente menor que el coeficiente de fricción de la laca electroaislante o la capa final de la laca electroaislante.

40 De manera recomendada, la laca electroaislante presenta al menos tres, preferiblemente al menos cuatro capas funcionales. Se recomienda que la laca electroaislante presente al menos cinco, preferiblemente al menos seis capas funcionales. Según una forma de realización probada de la invención, la laca electroaislante presenta como máximo 40, preferiblemente como máximo 35, de manera especialmente preferida como máximo 30 capas funcionales.

45 Una variante de realización que es de especial importancia en el alcance de la invención se caracteriza por que el espesor de capa de una capa funcional asciende a entre 0,5  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ , preferiblemente a entre 1  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , de manera especialmente preferida a entre 2  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ . En el contexto de la invención, por espesor de capa o espesor de la capa se entiende en particular la extensión de la capa transversalmente a la dirección longitudinal del alambre esmaltado. Está dentro del alcance de la invención que las capas funcionales individuales tengan el mismo espesor de capa o esencialmente el mismo espesor de capa. En principio, las capas funcionales individuales pueden presentar sin embargo también diferentes espesores de capa una de otra.

50 Según una variante de realización preferida, la capa base está formada como un agregado de capas de al menos dos capas funcionales neutras. Preferiblemente, el agregado de capas está constituido únicamente por capas funcionales neutras sin la interposición de otras capas funcionales y el agregado de capas o la capa base se aplica directamente sobre el núcleo conductor.

60 Una forma de realización muy especialmente preferida de la invención se caracteriza por que el espesor de capa total ( $d_E$ ) de la laca electroaislante asciende a entre 2  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , preferiblemente a entre 3  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ , de manera especialmente preferida a entre 3,5  $\mu\text{m}$  y 120  $\mu\text{m}$ . Se recomienda que el núcleo conductor presente un diámetro ( $d_K$ ) entre 0,03 mm y 7 mm, preferiblemente entre 0,05 mm y 5 mm. El diámetro ( $d_K$ ) del núcleo conductor en este contexto significa el diámetro más grande de la superficie de sección transversal del núcleo conductor, transversalmente a la dirección longitudinal del alambre esmaltado.

65 De acuerdo con la invención, la relación del diámetro ( $d_K$ ) del núcleo conductor con respecto al espesor de capa total ( $d_E$ ) de la laca electroaislante es mayor o igual a tres. Convenientemente, la relación del diámetro del núcleo conductor

con respecto al espesor de capa total de la laca electroaislante es mayor o igual a cuatro, preferiblemente mayor o igual a cinco, de manera especialmente preferida mayor o igual a diez. De acuerdo con una forma de realización, la relación del diámetro del núcleo conductor con respecto al espesor de capa total de la laca electroaislante es mayor o igual a 20, preferiblemente mayor o igual a 30, por ejemplo 40. Se recomienda que la relación del diámetro del núcleo conductor con respecto al espesor de capa total de la laca electroaislante ascienda a al menos 3, preferiblemente a al menos 5 y de manera especialmente preferida a al menos 10 si el diámetro del núcleo conductor asciende a entre 0,05 mm y 1 mm. Está dentro del alcance de la invención que la relación del diámetro del núcleo conductor con respecto al espesor de capa total de la laca electroaislante asciende a al menos 10, preferiblemente a al menos 20, de manera especialmente preferida a al menos 30, si el núcleo conductor tiene un diámetro de preferiblemente más de 1 mm.

Una forma de realización que reviste especial importancia en el contexto de la invención se caracteriza por que el aditivo conductor se selecciona del grupo: "material semiconductor inorgánico, material semiconductor orgánico, material de carbono conductor". En este contexto, se entiende por material semiconductor en particular un material cuya conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) se encuentra entre la de los conductores eléctricos y la de los no conductores.

De manera conveniente, el aditivo conductor es un material semiconductor cerámico, que se selecciona preferiblemente del grupo: "carburos, siliciuros, nitruros, óxidos, titanatos". Preferiblemente, el aditivo conductor es un carburo o nitruro. Esta forma de realización se basa en el descubrimiento de que pueden conseguirse propiedades especialmente ventajosas del alambre esmaltado con carburos o nitruros como aditivos conductores y en particular puede conseguirse un espesor de capa de aislamiento bajo con una rigidez dieléctrica sorprendentemente alta al mismo tiempo. En este contexto, ha resultado útil que el aditivo conductor sea un carburo de silicio o un nitruro de metal de transición, preferiblemente un nitruro de metal de transición temprano. En este contexto, nitruro de metal de transición temprano significa un nitruro de metal de transición con un metal de transición del grupo 3, grupo 4, grupo 5 o grupo 6, es decir, un metal de transición del grupo del escandio, titanio, vanadio o cromo. De manera muy especialmente preferida, el aditivo conductor se selecciona del grupo: "nitruros de titanio, nitruros de zirconio, nitruros de hafnio, nitruros de vanadio, nitruros de niobio, nitruros de tántalo, nitruros de cromo, nitruros de molibdeno, nitruros de tungsteno".

Además, está dentro del alcance de la invención que el aditivo conductor se seleccione del grupo: "negros de carbono, nanotubos de carbono, fulerenos, grafeno, grafito, carbonos vítreos".

Según una forma de realización especialmente recomendada de la invención, el aditivo conductor es un semiconductor II-VI, preferiblemente un sulfuro de cinc u óxido de cinc. En este contexto, se entiende por semiconductor II-VI un semiconductor de material compuesto que está constituido por al menos un elemento del segundo grupo principal (metales alcalinotérreos) y/o al menos un elemento del grupo 12 y al menos un elemento del sexto grupo principal (calcógenos).

Está dentro del alcance de la invención que la laca electroaislante contenga una pluralidad de aditivos conductores diferentes, por ejemplo al menos dos aditivos conductores. En una forma de realización de este tipo, los al menos dos aditivos conductores diferentes uno de otro pueden estar dispuestos en cada caso en diferentes capas funcionales conductoras y/o en las mismas capas funcionales conductoras.

Una forma de realización muy probada de la invención se caracteriza por que el material de relleno aislante es una sustancia inorgánica. Se recomienda que el material de relleno aislante se seleccione del grupo: "mica, caolín, corindón, alúmina fundida, silicatos, óxidos de aluminio, sulfatos, dióxidos de silicio, dióxidos de titanio".

Según una variante de realización preferida, el material de relleno aislante es un silicato modificado en superficie. Se recomienda que el material de relleno aislante sea un silicato silanizado, de manera especialmente preferida un silicato modificado con al menos un componente del grupo: "aminosilano, epoxisilano, metacrilisilano, trimetilsilano, metilsilano, vinilsilano".

Además, está dentro del alcance de la invención que la laca electroaislante presente una pluralidad de distintos materiales de relleno aislantes, por ejemplo al menos dos materiales de relleno aislantes diferentes. En el contexto de una forma de realización de este tipo, los al menos dos materiales de relleno aislantes diferentes uno de otro pueden estar dispuestos en cada caso en capas funcionales aislantes diferentes y/o en las mismas capas funcionales aislantes.

De acuerdo con una forma de realización especialmente preferida de la invención, las partículas del aditivo conductor y/o del material de relleno aislante presentan un tamaño de partícula en el intervalo de 0,05 a 50  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en el intervalo de 0,05 a 20  $\mu\text{m}$ , preferiblemente en el intervalo de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$  y de manera especialmente preferida en el intervalo de 0,1 a 5  $\mu\text{m}$ .

Se ha demostrado que es eficaz que el polímero de laca se forme a base de al menos un componente del grupo: "poliéster, poliésterimida, poliesteramidaimida, poliuretano, poliamida, poliamidaimida, poliimida". De manera especialmente preferida, el polímero de laca está formado a base de al menos un componente del grupo: "poliéster,

poliesterimida, poliamidaimida" y de manera muy especialmente preferente el polímero de laca está formado a base de poliesterimida. Está dentro del alcance de la invención que la capa funcional neutra o las capas funcionales neutras aplicadas sobre el núcleo conductor o directamente sobre el núcleo conductor esté constituida/estén constituidas por el polímero de laca o por al menos un polímero de laca. - Una forma de realización muy preferida de la invención se caracteriza por que la capa final de la laca electroaislante está formada como una capa funcional neutra y está constituida o esencialmente está constituida por al menos uno de los polímeros de laca mencionados anteriormente. Ha dado buen resultado a este respecto que el polímero de laca de la capa funcional neutra o de la capa final se forme a base de al menos un componente del grupo: "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida". Ha dado buen resultado muy especialmente que el polímero de laca de la capa funcional neutra o capa final se forme a base de poliamidaimida.

Una forma de realización muy recomendada, que es de particular importancia dentro del alcance de la invención, se caracteriza por que una capa funcional conductora contiene entre el 0,05 % en peso y el 15 % en peso, preferiblemente entre el 0,1 % en peso y el 10 % en peso, de manera especialmente preferida entre el 0,2 % en peso y el 5 % en peso, de manera muy especialmente preferida entre el 0,3 % en peso y el 3 % en peso del aditivo conductor. Está dentro del alcance de la invención que una capa funcional aislante del alambre esmaltado de acuerdo con la invención presente los porcentajes % en peso de material de relleno aislante mencionados anteriormente. En este contexto, la proporción del aditivo conductor o del material de relleno aislante en la laca electroaislante se refiere al laca electroaislante curada. En el caso de que la laca electroaislante se aplique sobre el núcleo conductor como laca húmeda que contiene disolvente, la proporción del aditivo conductor o del material de relleno aislante en la laca electroaislante se refiere en este contexto por consiguiente al estado curado y libre de disolventes o bien esencialmente libre de disolventes de la laca electroaislante. En el contexto de la invención, el curado de la laca electroaislante o de las capas de laca electroaislante se realiza preferiblemente mediante calentamiento. En principio, el curado de la laca electroaislante o de las capas de laca electroaislante puede realizarse sin embargo también mediante irradiación UV.

De acuerdo con una variante de realización recomendada, la laca electroaislante o las capas de laca electroaislante se aplican sobre el núcleo conductor como laca húmeda que contiene disolvente en un baño de laca o en un baño de inmersión. La laca húmeda puede formarse a este respecto por el al menos un polímero de pintura y dado el caso con al menos un aditivo y/o material de relleno preferiblemente dispersado de manera homogénea en el polímero de laca así como al menos un disolvente. En principio, también es posible aplicar el al menos un polímero de laca, dado el caso con al menos un aditivo y/o material de relleno, sin disolventes sobre el núcleo conductor.

Está dentro del alcance de la invención que la laca electroaislante o las capas de laca electroaislante se apliquen como laca húmeda que contiene disolvente mediante un fieltro que aplica la laca o mediante una boquilla sobre el núcleo conductor y a continuación se curen. Además, está dentro del alcance de la invención que la laca electroaislante se aplique sobre el núcleo conductor mediante un procedimiento de extrusión o que las capas de laca electroaislante se apliquen sobre el núcleo conductor mediante un procedimiento de coextrusión.

Según una forma de realización especialmente recomendada de la invención, una capa funcional conductora de la laca electroaislante líquida, no curada contiene entre el 0,001 % en peso y el 10 % en peso, preferiblemente entre el 0,005 % en peso y el 5 % en peso, preferiblemente entre el 0,01 % en peso y el 3 % en peso, de manera muy especialmente preferida entre el 0,01 % en peso y el 1 % en peso del aditivo conductor. Está dentro del alcance de la invención que una capa funcional aislante de la laca electroaislante líquida, no curada contenga porcentajes % en peso correspondientes de material de relleno aislante. En este contexto, se entiende por laca aislante líquida, no curada en particular la laca húmeda que contiene disolventes, en la que el aditivo conductor o el material de relleno aislante se encuentra dispersado preferiblemente de manera homogénea.

Una forma de realización muy especialmente preferida de la invención se caracteriza por que el aditivo conductor está distribuido de manera homogénea o esencialmente homogénea en la respectiva capa funcional conductora. Además, está dentro del alcance de la invención que el material de relleno aislante se distribuya de manera homogénea o esencialmente homogénea en la respectiva capa funcional aislante.

Una forma de realización muy recomendada de la invención se caracteriza por que el al menos un aditivo conductor presenta una conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) a temperatura ambiente entre  $10^{-10} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  y  $10^6 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , preferiblemente entre  $10^{-8} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  y  $10^4 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . De manera conveniente, la resistencia específica ( $\rho$ ) del al menos un aditivo conductor presenta un coeficiente de temperatura negativo. El coeficiente de temperatura negativo de la resistencia específica del al menos un aditivo conductor significa en el contexto de la invención en particular que la resistencia específica ( $\rho$ ) del al menos un aditivo conductor disminuye preferiblemente con un aumento de la temperatura. En el contexto de esta forma de realización, la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) del al menos un aditivo conductor aumenta en consecuencia preferiblemente con un aumento de la temperatura.

Se recomienda que el al menos un material de relleno aislante tenga una conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) que sea menor de  $10^{-8} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , preferiblemente menor de  $10^{-10} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

A continuación, se explica con más detalle la invención por medio de un ejemplo de realización. Según una forma de realización muy probada, el alambre esmaltado de acuerdo con la invención presenta la secuencia de capas (de dentro a fuera) expuesta a continuación:

A) Núcleo conductor de cobre y/o aluminio

5 B) al menos una Capa funcional neutra de al menos un polímero de laca del grupo "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida", en particular poliesterimida y/o poliamidaimida, preferiblemente sin aditivos conductores y preferiblemente sin materiales de relleno aislantes,

10 C) al menos una Capa funcional aislante de al menos un polímero de laca del grupo "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida", en particular poliesterimida y/o poliamidaimida, y al menos un material de relleno aislante distribuido en el mismo del grupo "mica, caolín, corindón, corindón de alta calidad, silicato, óxido de aluminio, sulfato, dióxido de silicio, dióxido de titanio",

15 D) al menos una Capa funcional conductora de al menos un polímero de laca del grupo "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida", en particular poliesterimida y/o poliamidaimida, y al menos un aditivo conductor distribuido en el mismo del grupo "carburo, siliciuro, nitruro, óxido, titanato", preferiblemente carburo y/o nitruro de metal de transición,

20 C) al menos una Capa funcional aislante de al menos un polímero de laca del grupo "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida", en particular poliesterimida y/o poliamidaimida, y al menos un material de relleno aislante distribuido en el mismo del grupo "mica, caolín, corindón, corindón de alta calidad, silicato, óxido de aluminio, sulfato, dióxido de silicio, dióxido de titanio".

25 A la al menos una capa funcional aislante C) mencionada en último lugar le puede seguir según una forma de realización preferida al menos una capa funcional conductora D) adicional y como se recomienda a ésta puede seguirle al menos una capa funcional aislante C) adicional. En principio, pueden seguir hacia fuera otras capas funcionales conductoras D) y capas funcionales aislantes C), disponiéndose preferiblemente estas capas funcionales conductoras D) y capas funcionales aislantes C) en orden alterno. - De acuerdo con otra forma de realización preferida de la invención, a la al menos una capa funcional neutra B) mencionada anteriormente le puede seguir en primer lugar directamente al menos una capa funcional conductora D) y sobre ésta al menos una capa funcional aislante C), en donde a esta capa funcional aislante mencionada en último lugar le ha seguido al menos otra capa funcional conductora D) según una forma de realización probada. También en este caso pueden seguir hacia el exterior otras capas funcionales aislantes C) y capas funcionales conductoras D) y de hecho preferiblemente en orden alterno. - Está dentro del alcance de la invención que a la secuencia alterna de capas funcionales aislantes y capas funcionales conductoras le siga una capa final como capa exterior de la laca electroaislante, en donde está diseñada convenientemente esta capa final como capa funcional aislante C) o como capa funcional neutra B). La capa final está diseñada preferiblemente como una capa funcional neutra.

40 La invención se basa en el reconocimiento de que el alambre esmaltado de acuerdo con la invención se caracteriza por un recubrimiento aislante ventajosamente delgado que, no obstante, cumple satisfactoriamente todos los requerimientos que se le imponen, por ejemplo en lo que se refiere a propiedades eléctricas como la rigidez dieléctrica. El espesor de capa de la laca electroaislante asciende a este respecto a únicamente del 20 % al 80 % de los espesores de capa conocidos por la práctica de lacas electroaislante. Mediante la configuración de acuerdo con la invención de la laca electroaislante y en particular mediante el diseño y/o la disposición especial de las capas funcionales, puede conseguirse en consecuencia de manera sorprendentemente sencilla y funcionalmente fiable una reducción clara del espesor de capa en comparación con los alambres esmaltados conocidos por la práctica. En este contexto, cabe destacar que mediante la reducción del espesor de capa pueden conseguirse factores de llenado de ranuras esencialmente mejorados en la producción de cuerpos de bobinado a partir del alambre esmaltado de acuerdo con la invención. Por consiguiente puede aumentar considerablemente la eficiencia o el rendimiento energético de componentes o máquinas que contengan un cuerpo de bobinado con el alambre esmaltado de acuerdo con la invención. El alambre esmaltado de acuerdo con la invención se caracteriza a este respecto en particular por su estructura sencilla y, en este contexto, por un esfuerzo de fabricación ventajosamente bajo. Mediante el uso de al menos un aditivo conductor y/o al menos un material de relleno aislante en las capas funcionales correspondientes, se puede lograr una rigidez dieléctrica sorprendentemente alta de la laca electroaislante, de modo que el alambre esmaltado cumpla los requerimientos de propiedades eléctricas a pesar de una capa de aislamiento o bien capa de laca electroaislante significativamente más delgada en comparación con los alambres esmaltados conocidos por la práctica. El alambre esmaltado de acuerdo con la invención ofrece por tanto un compromiso óptimo entre un bajo espesor de la laca electroaislante aplicada sobre el núcleo conductor y las propiedades eléctricas requeridas que debe satisfacer el alambre esmaltado.

60 La invención se explica a continuación con más detalle mediante un dibujo que muestra sólo un ejemplo de realización. - La única figura muestra esquemáticamente una sección transversal a través de un alambre esmaltado de acuerdo con la invención.

65 La figura muestra un alambre esmaltado que comprende un núcleo conductor 1, en donde el núcleo conductor 1 está constituido o esencialmente está constituido preferiblemente y en el ejemplo de realización por cobre. De acuerdo con una forma de realización preferida y en el ejemplo de realización, el núcleo conductor 1 presenta un diámetro ( $d_K$ ) de

aproximadamente 0,2 mm. Preferiblemente y en el ejemplo de realización, la superficie del núcleo conductor 1 está completamente recubierta con una laca electroaislante 2, en donde la laca electroaislante 2 está formada a base de al menos un polímero de laca 3. Ventajosamente y en el ejemplo de realización, el polímero de laca 3 está formado a base de poliesterimida.

5 De acuerdo con la invención, sobre el núcleo conductor 1 se aplica directamente como capa base 9 una capa funcional neutra que, preferiblemente y en el ejemplo de realización, está constituida por el al menos un polímero de laca 3. Sobre esta capa base 9 se aplica, preferiblemente y en el ejemplo de realización, una capa funcional aislante 6 con un material de relleno 7 aislante, en donde el material de relleno 7 aislante está distribuido, convenientemente y en el ejemplo de realización de acuerdo con la figura, de manera homogénea o esencialmente homogénea en la capa funcional aislante 6. Preferiblemente y en el ejemplo de realización, sobre esta capa funcional aislante 6 se aplica una capa funcional conductora 4 con un aditivo 5 conductor, en donde el aditivo 5 conductor está distribuido preferiblemente de manera homogénea o esencialmente homogénea en la capa funcional conductora 4. De acuerdo con la forma de realización recomendada y en el ejemplo de realización, sobre la capa funcional conductora 4 se aplica una capa funcional aislante 6 con un material de relleno 7 aislante y sobre esta capa funcional aislante 6 se aplica a su vez una capa funcional conductora 4 con un aditivo 5 conductor. De manera conveniente y en el ejemplo de realización, las capas funcionales conductoras 4 y las capas funcionales aislantes 6 están dispuestas según esto en una secuencia de capas alterna.

20 Ha dado buen resultado que se proporcione una capa final 10 como capa exterior de la laca electroaislante 2, que preferiblemente y en el ejemplo de realización se proporciona como capa funcional neutra. De acuerdo con la recomendación, la capa final 10 o bien la capa final diseñada como capa funcional neutra está constituida por poliamidaimida o esencialmente por poliamidaimida. El alambre esmaltado presenta en el ejemplo de realización de acuerdo con la figura por consiguiente seis capas funcionales. En el ejemplo de realización, el espesor de capa total (d<sub>E</sub>) de la laca electroaislante 2 puede ascender a 20 μm. La relación del diámetro (d<sub>K</sub>) del núcleo conductor 1 con respecto al espesor de capa total (d<sub>E</sub>) de la laca electroaislante 2 asciende entonces preferiblemente y en el ejemplo de realización de acuerdo con la figura a aproximadamente 10.

REIVINDICACIONES

1. Alambre esmaltado, con un núcleo conductor (1), en donde la superficie del núcleo conductor (1) está recubierta completamente o esencialmente por completo con una laca electroaislante (2), en donde la laca electroaislante (2) está formada a base de al menos un polímero de laca (3),
- 5
- en donde la laca electroaislante (2) presenta una pluralidad de capas funcionales, en donde como capa(s) funcional(es)
- 10
- se proporciona al menos una capa funcional conductora (4) con al menos un aditivo (5) conductor
  - y se proporciona al menos una capa funcional aislante (6) con al menos un material de relleno (7) aislante
  - y se proporciona al menos una capa funcional neutra (8) que está libre de aditivos (5) conductores y libre de materiales de relleno (7) aislantes y que está constituida por el al menos un polímero de laca (3) o esencialmente por el al menos un polímero de laca (3),
- 15
- en donde una capa funcional neutra (8) se ha aplicado directamente sobre el núcleo conductor (1) como capa base (9), en donde sobre esta capa base (9) se ha aplicado al menos una capa funcional conductora (4) y al menos una capa funcional aislante (6) y en donde la relación del diámetro ( $d_K$ ) del núcleo conductor (1) con respecto al espesor de capa total ( $d_E$ ) de la laca electroaislante (2) es mayor o igual a tres.
- 20
2. Alambre esmaltado según la reivindicación 1, en donde el al menos un aditivo (5) conductor y el al menos un material de relleno (7) aislante están dispuestos en cada caso en capas funcionales (4, 6) separadas.
- 25
3. Alambre esmaltado según la reivindicación 2, en donde la laca electroaislante (2) presenta al menos dos capas funcionales conductoras (4) y/o al menos dos capas funcionales aislantes (6), en donde las capas funcionales (4, 6) están dispuestas preferiblemente en una secuencia de capas alternas.
- 30
4. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la laca electroaislante (2) presenta al menos cinco, preferiblemente al menos seis capas funcionales (4, 6, 8) y/o en donde la laca electroaislante (2) presenta como máximo 40, preferiblemente como máximo 35, de manera especialmente preferida como máximo 30 capas funcionales (4, 6, 8).
- 35
5. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde el espesor de capa de una capa funcional (4, 6, 8) asciende a entre 0,5  $\mu\text{m}$  y 15  $\mu\text{m}$ , preferiblemente a entre 1  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , de manera especialmente preferida a entre 2  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ .
- 40
6. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 5, en donde la capa base (9) está formada como agregado de capas de al menos dos capas funcionales neutras (8).
- 45
7. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde el espesor de capa total ( $d_E$ ) de la laca electroaislante (2) asciende a entre 2  $\mu\text{m}$  y 200  $\mu\text{m}$ , preferiblemente a entre 3  $\mu\text{m}$  y 150  $\mu\text{m}$ , de manera especialmente preferida a entre 3,5  $\mu\text{m}$  y 120  $\mu\text{m}$ .
- 50
8. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el aditivo (5) conductor se selecciona del grupo: "material semiconductor inorgánico, material semiconductor orgánico, material de carbono conductor".
- 55
9. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el aditivo (5) conductor es un material semiconductor cerámico, que se selecciona preferiblemente del grupo: "carburos, siliciuros, nitruros, óxidos, titanatos", preferiblemente es un carburo y/o un nitruro, de manera especialmente preferida es un carburo de silicio y/o un nitruro de metal de transición, y de manera muy especialmente preferida es un nitruro de metal de transición temprano y se selecciona por ejemplo del grupo: "nitruros de titanio, nitruros de zirconio, nitruros de hafnio, nitruros de vanadio, nitruros de niobio, nitruros de tántalo, nitruros de cromo, nitruros de molibdeno, nitruros de tungsteno".
- 60
10. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 9, en donde el aditivo (5) conductor se selecciona del grupo: "negros de carbono, nanotubos de carbono, fullerenos, grafeno, grafito, carbonos vítreos".
- 65
11. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el aditivo (5) conductor es un semiconductor II-VI, preferiblemente un sulfuro de cinc u óxido de cinc.
12. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el material de relleno (7) aislante es una sustancia inorgánica y se selecciona preferiblemente del grupo: "mica, caolín, corindón, alúmina fundida, silicatos, óxidos de aluminio, sulfatos, dióxidos de silicio, dióxidos de titanio".
13. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 12, en donde el material de relleno (7) aislante es un silicato modificado en superficie, preferiblemente un silicato silanizado, de manera especialmente preferida un silicato modificado con al menos un componente del grupo: "aminosilano, epoxisilano, metacrisilano, trimetilsilano,

metilsilano, vinilsilano".

- 5 14. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 13, en donde el polímero de laca (3) está formado a base de al menos un componente del grupo: "poliéster, poliesterimida, poliesteramidaimida, poliuretano, poliamida, poliamidaimida, poliimida", preferiblemente está formado a base de al menos un componente del grupo: "poliéster, poliesterimida, poliamidaimida" y de manera especialmente preferida está formado a base de poliesterimida.
- 10 15. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 14, en donde una capa funcional conductora (4) contiene entre el 0,05 % en peso y el 15 % en peso, preferiblemente entre el 0,1 % en peso y el 10 % en peso, de manera especialmente preferida entre el 0,2 % en peso y el 5 % en peso, de manera muy especialmente preferente entre el 0,3 % en peso y el 3 % en peso del aditivo (5) conductor y/o en donde una capa funcional aislante (6) contiene entre el 0,05 % en peso y el 15 % en peso, preferiblemente entre el 0,1 % en peso y el 10 % en peso, de manera especialmente preferida entre el 0,2 % en peso y el 5 % en peso, de manera muy especialmente preferida entre el 0,3 % en peso y el 3 % en peso del material de relleno (7) aislante.
- 15 16. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 15, en donde una capa funcional conductora (4) de la laca electroaislante (2) líquida, no curada contiene entre el 0,001 % en peso y el 10 % en peso, preferiblemente entre el 0,005 % en peso y el 5 % en peso, preferiblemente entre el 0,01 % en peso y el 3 % en peso, de manera muy especialmente preferida entre el 0,01 % en peso y el 1 % en peso del aditivo (5) conductor y/o en donde una capa funcional aislante (6) de la laca electroaislante (2) líquida, no curada contiene entre el 0,001 % en peso y el 10 % en peso, preferiblemente entre el 0,005 % en peso y el 5 % en peso, preferiblemente entre el 0,01 % en peso y el 3 % en peso, de manera muy especialmente preferida entre el 0,01 % en peso y el 1 % en peso del material de relleno (7) aislante.
- 20 17. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 16, en donde el aditivo (5) conductor está distribuido de manera homogénea o esencialmente de manera homogénea en la respectiva capa funcional conductora (4) y/o en donde el material de relleno (7) aislante está distribuido de manera homogénea o esencialmente de manera homogénea en la respectiva capa funcional aislante (6).
- 25 18. Alambre esmaltado según una de las reivindicaciones 1 a 17, en donde el al menos un aditivo (5) conductor presenta una conductividad eléctrica ( $\sigma$ ) a temperatura ambiente entre  $10^{-10} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  y  $10^6 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ , preferiblemente entre  $10^{-8} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  y  $10^4 \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$  y/o en donde la resistencia específica ( $\rho$ ) del al menos un aditivo (5) conductor presenta un coeficiente de temperatura negativo.
- 30

