

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 202**

51 Int. Cl.:

H01L 39/14

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.06.2013** **E 13171785 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015** **EP 2680333**

54 Título: **Superconductor de NbTi con bloques de Al repartidos en la dirección circunferencial para la reducción de peso**

30 Prioridad:

25.06.2012 DE 102012210770

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.04.2015

73 Titular/es:

BRUKER EAS GMBH (100.0%)
Ehrichstrasse 10
63450 Hanau, DE

72 Inventor/es:

SZULCZYK, ANDREAS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Nuria

ES 2 533 202 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

Superconductor de NbTi con bloques de Al repartidos en la dirección circunferencial para la reducción de peso

5 La invención se refiere a un alambre superconductor que contiene material superconductor de NbTi y Cu.

10 El titanio de niobio (NbTi) es un material superconductor importante que se puede utilizar de múltiples maneras debido a su buena capacidad de deformación plástica (tanto en el material terminado como con respecto a precursores), por ejemplo, en bobinas magnéticas superconductoras o cables superconductores. El material superconductor de NbTi está integrado a este respecto típicamente en un alambre superconductor, discurrendo, en la mayoría de los casos, una pluralidad de filamentos de NbTi a lo largo de la dirección de extensión del alambre superconductor.

15 En el marco de la fabricación de alambre está previsto a menudo realizar en primer lugar una deformación plástica para obtener una sección transversal exterior hexagonal en el marco de un proceso de estiramiento para simplificar procesos de atado en filamentos individuales de NbTi (o también en otras estructuras y estructuras intermedias). Los elementos hexagonales correspondientes se pueden disponer entonces de manera muy compacta, por ejemplo, en un tubo de envoltura de Cu, véase el documento US 5.088.183 A mencionado al inicio.

20 Las propiedades superconductoras de NbTi se consiguen sólo en caso de una temperatura especialmente baja, por debajo de aproximadamente 9 K, de modo que el superconductor se debe refrigerar, por ejemplo, con helio líquido. Asimismo, ya no se mantiene el estado superconductor en caso de una intensidad demasiado elevada del campo magnético o también en caso de una densidad de corriente eléctrica demasiado elevada.

25 Alambres superconductores de NbTi están estabilizados típicamente con cobre (Cu), en la mayoría de los casos con grados de pureza elevados. El cobre discurre de manera paralela a filamentos superconductores en el alambre superconductor; por ejemplo, el cobre puede formar una matriz para filamentos de NbTi superconductores. El cobre constituye un conductor térmico bueno mediante el que se puede realizar una refrigeración eficaz de los filamentos de NbTi superconductores. Además, el cobre tiene una conductividad eléctrica elevada. En el caso de una pérdida local de la superconductividad en el alambre superconductor, el cobre proporciona un trayecto de corriente paralelo, por lo que se limita un aumento de la resistencia eléctrica y también una producción de calor asociada. Mediante la refrigeración eficaz, la zona local de conducción normal en el superconductor, finalmente, se puede volver de nuevo superconductor (función de estabilización). Aunque no sea posible una recuperación de la superconducción, el cobre protege frente a un daño ("fusión") del superconductor mediante una limitación del aumento de resistencia y, de este modo, una limitación de la producción de calor, y al mismo tiempo una evacuación eficaz del calor producido (protección frente a quenching). El cobre mejora además la resistencia mecánica del alambre superconductor.

30 Por un lado, el cobre es un material caro, y, por otro lado, es relativamente pesado con una densidad de aproximadamente $8,9 \text{ g/cm}^3$, lo que no se desea en muchas aplicaciones. Por tanto se buscan materiales alternativos para la estabilización de superconductores de NbTi que puedan sustituir al menos en parte el cobre. Aluminio (Al) en forma pura sería un material adecuado con respecto a la conducción de calor y la resistencia eléctrica que es más económico que cobre y claramente más ligero con una densidad de $2,7 \text{ g/cm}^3$.

35 En el documento WO 2008/121764 A1 se ha propuesto una estructura de superconductor de NbTi con un manguito de Cu, un núcleo de Al y varillas de NbTi de múltiples filamentos dispuestas de manera anular entre los mismos.

40 Mientras que Cu y NbTi son ambos relativamente duros y tienen un comportamiento similar en caso de una deformación plástica, Al es claramente más blando en comparación con NbTi y Cu. En el estiramiento de alambre se han observado grietas transversales a la dirección de extensión del alambre al utilizar estructuras de Al, en particular un núcleo de Al, en un alambre superconductor de NbTi. Un alambre con grietas es inútil para una aplicación de superconductor.

45 Por el documento US 5.189.386 se ha dado a conocer una estructura de superconductor en la que un núcleo de Al está dividido en seis sectores mediante capas de una aleación de Cu-Ni. Esta estructura es relativamente compleja.

50 En el documento US 4.652.697, que se considera como el estado de la técnica más próximo, se describe una estructura de superconductor en la que se han atado tres alambres de Al y cuatro alambres de múltiples filamentos, por ejemplo, con filamentos de NbTi y una matriz de cobre. Uno de los alambres de múltiples filamentos está dispuesto en el centro de la estructura de superconductor. La estructura se mantiene unida mediante una soldadura de PbSn. Una soldadura es difícil de procesar en la fabricación de alambre y como material adicional puede agravar adicionalmente la formación de grietas.

55 El documento JP 09 282953 A describe un alambre superconductor de Nb_3Al en el que están integrados filamentos de Nb_3Al en una matriz de cobre. Para el reforzamiento pueden estar previstas estructuras adicionales empotradas, por ejemplo, a partir de Nb o Ta. En una forma de realización se proponen estructuras adicionales con una varilla de Al en un tubo de Cu.

También se hace referencia al estado de la técnica en los documentos JPH03192611, EP0067591 y JPH06203653.

Objetivo de la invención

- 5 La invención se basa en el objetivo de proponer un alambre superconductor de NbTi que tenga un peso ligero, siendo la fabricación de éste económica y teniendo el alambre superconductor una tendencia reducida a una formación de grietas (en particular en el estiramiento de alambre).

Breve descripción de la invención

- 10 Este objetivo se consigue mediante un alambre superconductor que contiene un material superconductor de NbTi y Cu según la reivindicación 1.

- 15 En el marco de la invención se sustituye parcialmente cobre por aluminio en el alambre superconductor para la estabilización, estando previstos al menos tres bloques de Al. Los bloques de Al están dispuestos repartidos en la dirección circunferencial en la sección transversal del alambre (de manera perpendicular a la dirección longitudinal del alambre) y están separados entre sí mediante secciones que contienen NbTi, es decir, los bloques de Al y las secciones que contienen NbTi alternan en la dirección circunferencial. Los bloques de Al son claramente más ligeros y también más económicos en comparación con material de cobre con el mismo volumen. En particular, el peso por metro (esto es, la masa del alambre superconductor por la longitud en la dirección de extensión) con respecto al uso exclusivo de cobre para la estabilización del material superconductor se puede reducir claramente.

- 20 Mediante un contacto por una superficie grande según la invención entre las secciones que contienen NbTi y los bloques de Al se garantiza una transición buena directa de calor y corriente eléctrica; típicamente, el contacto superficial existe con respecto a la sección transversal por al menos un 20 % del diámetro de alambre en superficies límite de secciones que contienen NbTi y bloques de Al que discurren aproximadamente en la dirección radial. De este modo, por un lado, se garantiza una función de estabilización muy buena, sin embargo, por otro lado, también se mantiene sencilla la estructura global del alambre superconductor.

- 25 El tubo de envoltura también puede mejorar la estabilización, en particular cuando éste está configurado como tubo de envoltura de Cu. Además, el tubo de envoltura puede mantener bien unidos los bloques de Al y las secciones que contienen NbTi.

- 30 El alambre superconductor según la invención se puede configurar sin soldadura (en particular sin una soldadura de PbSn). En particular no es necesaria una soldadura para producir un contacto de conducción de corriente eléctrica o de calor suficiente entre los bloques de Al y el material superconductor de NbTi en las secciones que contienen NbTi; tampoco es necesaria una soldadura para mantener unida la estructura global del alambre superconductor. Contaminaciones del alambre superconductor con partículas extrañas se pueden mantener muy reducidas en el marco de la invención.

- 35 Los bloques de Al están compuestos por material macizo de aluminio, típicamente con una pureza de un 99 % atómico o superior. La superficie de sección transversal de un alambre superconductor según la invención tiene típicamente una parte de al menos un 10 % de aluminio, preferiblemente de al menos un 20 % de aluminio. Las secciones que contienen NbTi están configuradas preferiblemente sólo a partir de Nb, Ti y Cu (con excepción de dotaciones y contaminaciones inferiores a 1 % atómico). Cada sección que contiene NbTi contiene al menos uno, aunque típicamente una pluralidad de filamentos de NbTi que discurren en la dirección longitudinal del alambre superconductor. Estructuras de cobre (Cu) en el alambre superconductor tienen típicamente también una alta pureza (preferiblemente > 99 % atómico de Cu); sin embargo, también pueden estar configuradas con una aleación que contiene cobre (preferiblemente $\geq$ 80 % atómico de Cu, de manera especialmente preferible $\geq$ 90 % atómico de Cu en la aleación de Cu); esto es válido en particular para un tubo de envoltura de Cu, un tubo de perfil de Cu, placas de relleno de Cu y bloques de Cu (véase a continuación).

- 40 Las superficies de contacto entre los materiales que son deformables de diferente manera, por un lado, aluminio, y, por otro lado, cobre y titanio de niobio, están repartidas según la invención por al menos tres bloques de Al repartidos de manera azimutal (en la dirección circunferencial). De este modo, un establecimiento de tensión mecánico está interrumpido con una frecuencia correspondiente en la deformación (por ejemplo, en el estiramiento de alambre) en la dirección circunferencial con respecto a todo el alambre superconductor, lo que contrarresta una formación de grietas. Por otro lado, la formación de los bloques de Al de material macizo reduce la superficie de contacto con respecto a aluminio; material en el interior de los bloques de Al apenas está implicado en un establecimiento de tensión. La estructura según la invención ha demostrado ser altamente resistente frente a formaciones de grietas en la práctica. En particular, con un número pequeño de bloques de Al repartidos de manera azimutal (como máximo seis bloques de Al, preferiblemente tres o cuatro bloques de Al), como máximo un bloque de Al central adicional (con un diámetro inferior o igual a un 30 % del diámetro del alambre superconductor, preferiblemente inferior o igual a un 25 % del diámetro del alambre superconductor) y típicamente sin estructuras de Al adicionales por lo demás en el alambre superconductor se podían conseguir unos resultados muy buenos.

El alambre superconductor según la invención tiene en total típicamente una sección transversal aproximadamente circular, aunque también puede tener un contorno (exterior) diferente, por ejemplo, un contorno hexagonal.

En total se puede proporcionar con la invención un alambre superconductor basado en NbTi con un peso reducido que con costes de fabricación bajos sólo provoca una superficie límite pequeña entre Al, por un lado, y Cu y NbTi, por otro lado, de modo que se obtiene un comportamiento de conformación favorable con pocas grietas (en particular en la extrusión y en la conformación por estiramiento). Además, en el marco del proceso de fabricación, el riesgo de una introducción de partículas extrañas es pequeño, lo que, por un lado, reduce el riesgo de quenching y, por otro lado, posibilita una alta conductividad de calor y corriente eléctrica de las estructuras de protección de Al y Cu.

Formas de realización preferidas de la invención

En una forma de realización preferida del alambre superconductor según la invención, las secciones que contienen NbTi están formadas mediante uno o varios bloques de Cu con orificios profundos taladrados, estando introducidas estructuras de NbTi, que respectivamente tienen uno o varios filamentos de NbTi, en taladros de uno o varios bloques de Cu. De este modo se pueden configurar de manera muy sencilla y económica secciones que contienen NbTi; el o los bloques de Cu son fáciles de manejar en el proceso de fabricación. Los taladros y las estructuras de NbTi asociadas tienen típicamente una sección transversal redonda. El o los bloques de Cu están también implicados en la estabilización de los filamentos de NbTi (refrigeración/trayectos de corriente eléctrica de sustitución).

Es preferible un perfeccionamiento de esta forma de realización en el que las secciones que contienen NbTi estén formadas mediante sólo un bloque de Cu con orificios profundos taladrados, teniendo el bloque de Cu al menos tres ranuras formadas radialmente hacia dentro que contienen respectivamente un bloque de Al. Este perfeccionamiento se puede manejar de manera especialmente sencilla en el proceso de fabricación; en las ranuras del bloque de Cu sólo se tienen que introducir o insertar los bloques de Al. Los bloques de Al se sujetan entonces de manera segura mediante el bloque de Cu y el tubo de envoltura.

En un perfeccionamiento alternativo de la forma de realización anterior está previsto que las secciones que contienen NbTi estén formadas respectivamente por un bloque de Cu con orificios profundos taladrados, y que esté previsto un tubo de perfil de Cu central al que son adyacentes los bloques de Al y los bloques de Cu, conteniendo el tubo de perfil un bloque de Al adicional. A través del tubo de perfil y el bloque de Al adicional se puede aumentar adicionalmente la parte de aluminio en su sección transversal y así se puede reducir aún más el peso del alambre superconductor.

También es preferible una forma de realización en la que las secciones que contienen NbTi estén formadas respectivamente como una agrupación de elementos hexagonales de NbTi adyacentes unos a otros que contienen respectivamente uno o varios filamentos de NbTi. De este modo se pueden utilizar en un espacio pequeño muchos filamentos de NbTi; la fabricación de las secciones que contienen NbTi se puede adaptar de manera sencilla (mediante el número y la disposición de los elementos hexagonales de NbTi atados) a diferentes geometrías de alambre.

Es ventajoso un perfeccionamiento de esta forma de realización en el que está previsto un tubo de perfil de Cu central al que son adyacentes los bloques de Al y las agrupaciones, conteniendo el tubo de perfil un bloque de Al adicional, y teniendo el tubo de perfil de Cu un perfilado exterior que es adecuado para el apoyo de los elementos hexagonales de NbTi, en particular en el que el tubo de perfil de Cu tiene un perfilado exterior por todos los lados. Mediante el tubo de perfil y el bloque de Al adicional se puede aumentar adicionalmente la parte de aluminio en la sección transversal y así se puede reducir aún más el peso del alambre superconductor. Los perfilados permiten una empaquetadura estanca (con poca holgura o incluso sin holgura) de las estructuras del alambre superconductor, en particular en su zona central.

Es preferible también un perfeccionamiento en el que el tubo de envoltura contiene varias placas de relleno de Cu, teniendo las placas de relleno de Cu un perfilado que es adecuado para un apoyo de los elementos hexagonales de NbTi de las agrupaciones. Las placas de relleno, a su vez, permiten una empaquetadura estanca (con poca holgura o incluso sin holgura) de las estructuras del alambre superconductor, en particular en la zona del contorno interior (típicamente redondo) del tubo de envoltura.

También es preferible un perfeccionamiento en el que los bloques de Al tienen un perfilado que es adecuado para el apoyo de los elementos hexagonales de NbTi de las agrupaciones, en particular en el que los bloques de Al tienen un perfilado por todos los lados. El perfilado, a su vez, permite una empaquetadura estanca (con poca holgura o incluso sin holgura) de las estructuras de las superficies de apoyo entre los bloques de Al y las agrupaciones.

Es especialmente preferible una forma de realización del alambre superconductor según la invención que prevé que estén previstos exactamente N bloques de Al que están dispuestos repartidos en la dirección circunferencial en el tubo de envoltura, y que están previstas exactamente N secciones que contienen NbTi que también están

dispuestas repartidas en la dirección circunferencial en el tubo de envoltura y que separan los bloques de Al entre sí en la dirección circunferencial, siendo $N = 3, 4, 5$ o 6 . Este intervalo de números ha demostrado ser especialmente útil en la práctica; toda la superficie límite entre el Al, por un lado, y el Cu y el NbTi, por otro lado, queda limitada, ya que el Al está repartido por pocos bloques de Al en comparación.

En una forma de realización preferida está previsto finalmente que el alambre superconductor tenga una sección transversal circular. De este modo se pueden minimizar picos de fuerza sobre el alambre superconductor, ya sea en el funcionamiento o también en procesos de estiramiento. Sin embargo, cabe observar que también son posibles según la invención secciones transversales de alambre diferentes, en particular una sección transversal de alambre hexagonal, en las que, dado el caso, se realiza en primer lugar una fabricación del alambre superconductor con una sección transversal redonda y se ajusta la otra sección transversal de alambre en un proceso de estiramiento subsiguiente.

Ventajas adicionales de la invención resultan de la descripción y del dibujo. Asimismo, las características mencionadas anteriormente y las características que aún se explican adicionalmente se pueden utilizar según la invención en cada caso individualmente por sí o juntas en combinaciones cualesquiera. Las formas de realización mostradas y descritas no se deben entender como enumeración definitiva sino más bien tienen un carácter ejemplar para la descripción de la invención.

Descripción detallada de la invención y dibujo

La invención se representa en el dibujo y se explica en más detalle mediante ejemplos de realización. Muestran:

La figura 1 una vista esquemática en sección transversal de una primera forma de realización de un alambre superconductor según la invención con tres bloques de Al y tres secciones que contienen NbTi que se forman mediante un bloque de Cu con orificios profundos taladrados;

La figura 2 una vista esquemática en sección transversal de una segunda forma de realización de un alambre superconductor según la invención con tres bloques de Al y tres secciones que contienen NbTi que se forman mediante tres bloques de Cu con orificios profundos taladrados, y con un bloque de Al central adicional;

La figura 3 una vista esquemática en sección transversal de una tercera forma de realización de un alambre superconductor según la invención con tres bloques de Al y tres secciones que contienen NbTi que se forman en cada caso mediante agrupaciones de elementos hexagonales de NbTi, y con un bloque de Al central adicional.

La figura 1 ilustra una primera forma de realización de un alambre superconductor 1 según la invención en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del alambre superconductor 1. El alambre superconductor 1 tiene en este caso una sección transversal circular.

En un tubo de envoltura 2, en este caso un tubo de envoltura de Cu (con al menos un 80 % atómico de Cu, preferiblemente al menos un 99 % atómico de Cu), están dispuestos varios (en este caso tres) bloques de Al 3a-3c de aluminio altamente puro (con al menos un 99 % atómico de Al) repartidos uniformemente de manera azimutal (en la dirección circunferencial), siendo en este caso los bloques de Al 3a-3c directamente adyacentes al tubo de envoltura 2. Los bloques de Al 3a-3c se separan entre sí de manera azimutal de (en este caso también tres) secciones 4a-4c que contienen NbTi que también están dispuestas en el tubo de envoltura 2 y que en este caso también son directamente adyacentes al tubo de envoltura 2.

Las secciones 4a-4c que contienen NbTi son adyacentes de manera directa y por una superficie grande a los bloques de Al 3a-3c, véanse las superficies límite 5. En particular no existe una unión en forma de soldadura entre los bloques de Al 3a-3c y las secciones 4a-4c que contienen NbTi. El contacto directo por una superficie grande entre los bloques de Al 3a-3c y las secciones 4a-4c que contienen NbTi asegura una buena transición de calor y una baja resistencia eléctrica, de modo que los bloques de Al 3a-3c pueden contribuir de manera muy eficaz a la estabilización del material superconductor en las secciones 4a-4c que contienen NbTi.

Las secciones 4a-4c que contienen NbTi se forman en este caso mediante un único bloque de Cu 6 (con al menos un 80 % atómico de Cu, preferiblemente al menos un 99 % atómico de Cu) en el que están formados una pluralidad de taladros pasantes 7 (bloque de Cu con orificios profundos taladrados). Los taladros 7 están rellenos respectivamente con una estructura de NbTi 8. Cada estructura de NbTi 8 contiene uno o varios filamentos de NbTi que se extienden en la dirección longitudinal del alambre superconductor 1 (esto es, de manera perpendicular al plano de dibujo de la figura 1) (estos últimos no están dibujados). Los taladros 7 están repartidos uniformemente de manera azimutal en las secciones 4a-4c que contienen NbTi, en este caso por tres radios R_1, R_2, R_3 (respectivamente con respecto a los puntos centrales de taladro).

Las superficies límite 5 que discurren aproximadamente en la dirección radial entre los bloques Al 3a-3c y las secciones 4a-4c que contienen NbTi se extienden por aproximadamente un 55 % del radio R_{ges} del alambre superconductor 1, véase la parte A_{Al} . Aproximadamente un 15 % del radio R_{ges} corresponde al grosor de pared del tubo de envoltura 2, y aproximadamente un 30 % del radio R_{ges} corresponde a una zona central del bloque de Cu 6.

5 En general es preferible cuando las superficies límite 5 se extiendan en la dirección radial al menos por un 40 % del radio R_{ges} (cabe observar que la superficie límite 5 no tiene que discurrir de manera exactamente paralela a un vector de radio; dado el caso, la superficie límite se puede proyectar sobre un vector de radio).

10 En la forma de realización de la figura 1, material de Cu del bloque de Cu 6 ocupa fundamentalmente el centro del alambre superconductor 1; los bloques de Al 3a-3c forman en este caso respectivamente hacia el centro una superficie límite 9 adicional que discurre de manera aproximadamente perpendicular a la dirección un vector de radio.

15 Las superficies límite 5 y las superficies límite 9 adicionales delimitan respectivamente tres ranuras 10 fresadas radialmente hacia dentro en el bloque de Cu 6 que están introducidas en los bloques de Al 3a-3c.

La figura 2 ilustra una segunda forma de realización de un alambre superconductor 1 según la invención en una sección transversal perpendicular a la dirección longitudinal del alambre superconductor 1. A continuación se presentan las diferencias fundamentales con respecto a la forma de realización de la figura 1.

20 En esta forma de realización, las secciones 4a, 4b, 4c que contienen NbTi están formadas respectivamente por un bloque de Cu 6a, 6b, 6c propio con orificios profundos taladrados, es decir, en este caso existen tres bloques de Cu 6a-6c de manera correspondiente al número de las secciones 4a-4c que contienen NbTi. En los taladros 7 de los bloques de Cu 6a-6c está contenida en cada caso una estructura de NbTi 8. Los taladros 7 están dispuestos en este caso repartidos uniformemente de manera azimutal por dos radios R_2 y R_3 . Las secciones 4a-4c que contienen NbTi o los bloques de Cu 6a-6c separan los bloques de Al 3a-3c en la dirección azimutal, siendo las secciones 4a-4c que contienen NbTi y los bloques de Al 3a-3c, a su vez, directamente adyacentes por una superficie grande a superficies límite 5. De este modo se garantiza una buena aportación de estabilización de los bloques de Al 3a-3c.

30 En el centro del alambre superconductor 1 está dispuesto un tubo de perfil de Cu 11. En el tubo de perfil de Cu 11 está introducido un bloque de Al 12 adicional, en este caso redondo; el radio R_{Al} del bloque de Al 12 adicional asciende en este caso aproximadamente a un 25 % del radio R_{ges} del alambre superconductor 1. El tubo de perfil de Cu 11 se apoya por fuera por una superficie grande en los bloques de Cu 6a-6c y en los bloques de Al 3a-3c, véanse las superficies límite 13 y 9. Los contornos interior y exterior del tubo de perfil de Cu 11 están adaptados a este respecto a los bloques de Al 3a-3c, a los bloques de Cu 6a-6c y al bloque de Al 12 adicional de modo que no quedan espacios huecos entre las estructuras mencionadas del alambre superconductor 1. En el ejemplo de realización mostrado, el tubo de perfil de Cu 11 tiene para ello un contorno exterior hexagonal. Los bloques de Al 3a-3c y los bloques de Cu 6a-6c se apoyan además con contornos exteriores redondos en contacto íntimo en el tubo de envoltura 2 de modo que tampoco en este caso quedan espacios huecos.

40 La figura 3 muestra una tercera forma de realización de un alambre superconductor 31 según la invención, de nuevo en una sección transversal perpendicular a su extensión longitudinal.

45 El alambre superconductor 31 tiene en un tubo de envoltura 2 (de manera similar a la forma de realización de la figura 2), concretamente en un tubo de envoltura de Cu, tres bloques de Al 3a-3c que están dispuestos de manera alternante en la dirección circunferencial con tres secciones 4a-4c que contienen NbTi. Las secciones 4a-4c que contienen NbTi se forman respectivamente mediante una agrupación 34a-34c de elementos hexagonales de NbTi 35 adyacentes entre sí (en la sección transversal). Cada elemento hexagonal de NbTi 35 tiene una sección transversal hexagonal y contiene uno o varios filamentos de NbTi (estos últimos no se representan) que discurren en la dirección longitudinal del alambre superconductor 31 (de manera perpendicular al plano de dibujo); cada agrupación 34a-34c contiene en este caso treinta y seis elementos hexagonales de NbTi 35.

50 En el centro del alambre superconductor 31 está dispuesto un tubo de perfil de Cu 32 que está perfilado de manera dentada hacia fuera según un esquema hexagonal, véase el perfilado 32a exterior por todos los lados. En el interior del tubo de perfil 32 está dispuesto un bloque de Al 33 adicional.

55 En el lado interior del tubo de envoltura 2 están dispuestas placas de relleno de Cu 36 que están perfiladas de manera redonda hacia fuera y de manera dentada en un esquema hexagonal hacia dentro. Además, los bloques de Al 3a-3c están perfilados en un esquema hexagonal por todos los lados (en la sección transversal). Los perfilados de las placas de relleno de Cu 36, del tubo de perfil de Cu 32 central y de los bloques de Al 3a-3c posibilitan junto con las agrupaciones 34a-34c una estructura global mecánicamente estable y compacta en total (en particular sin espacios huecos) del alambre superconductor 1.

65 En la zona de las superficies límite 5 dentadas, los bloques de Al 3a-3c se apoyan por una superficie grande en las secciones 4a-4c que contienen NbTi o en agrupaciones 34a-34c, por lo que, a su vez, se garantiza una buena transición de calor y corriente eléctrica; de este modo se asegura una buena aportación de estabilización de los

bloques de Al 3a-3c, aportando los bloques de Al 3a-3c menos peso al alambre superconductor 1 que estructuras de Cu comparables con el mismo volumen. Las superficies límite 5 se extienden en este caso en la dirección del radio por aproximadamente un 40 % del radio R_{ges} del alambre superconductor 1, véase la parte A_{Al} (que en este caso se determina en una proyección sobre un vector de radio). El bloque de Al 33 adicional central contribuye también a la reducción de peso y a la función de estabilización.

5

Cabe observar que en general, tras el ensamblaje de la estructura de alambre superconductor según la invención con bloques de Al y secciones que contienen NbTi, preferiblemente ya no se realizan tratamientos térmicos superiores a 200 °C para evitar la formación de fases intermetálicas frágiles de Cu y Al. Típicamente se realizan entonces ya sólo deformaciones en frío (si se desea). El material superconductor de NbTi en el alambre superconductor es preferiblemente del tipo "pinning artificial".

10

REIVINDICACIONES

1. Alambre superconductor (1; 31) que contiene material superconductor de NbTi y Cu, con

- al menos tres bloques de Al (3a-3c) que están dispuestos repartidos en la dirección circunferencial,
- y al menos tres secciones (4a-4c) que contienen NbTi que también están dispuestas repartidas en la dirección circunferencial y que separan los bloques de Al (3a-3c) entre sí en la dirección circunferencial,

caracterizado por que el alambre superconductor (1; 31) tiene además

- un tubo de envoltura (2), en particular un tubo de envoltura de Cu,

estando las al menos tres secciones (4a-4c) que contienen NbTi dispuestas repartidas en la dirección circunferencial en el tubo de envoltura (2),

por que los bloques de Al (3a-3c) se apoyan respectivamente por una superficie grande en sus secciones (4a-4c) adyacentes que contienen NbTi, existiendo un contacto por una superficie grande entre las secciones (4a-4c) que contienen NbTi y los bloques de Al (3a-3c) en la sección transversal por al menos un 20 % del diámetro de alambre en superficies límite que discurren aproximadamente en la dirección radial de secciones (4a-4c) que contienen NbTi y bloques de Al (3a-3c),

y por que el alambre superconductor (1; 31) está configurado sin soldadura.

2. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 1, caracterizado por que las secciones (4a-4c) que contienen NbTi están formadas por uno o varios bloques de Cu (6; 6a-6c) con orificios profundos taladrados, estando estructuras de NbTi (8), que contienen respectivamente uno o varios filamentos de NbTi, introducidas en taladros (7) de uno o de varios bloques de Cu (6; 6a-6c).

3. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 2, caracterizado por que las secciones (4a-4c) que contienen NbTi están formadas mediante sólo un bloque de Cu (6; 6a-6c) con orificios profundos taladrados, teniendo el bloque de Cu (6) al menos tres ranuras (10) formadas radialmente hacia dentro que contienen respectivamente un bloque de Al (3a-3c).

4. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 2, caracterizado por que las secciones (4a-4c) que contienen NbTi están formadas respectivamente mediante un bloque de Cu (6a-6c) con orificios profundos taladrados, y por que está previsto un tubo de perfil de Cu (11) central al que son adyacentes los bloques de Al (3a-3c) y los bloques de Cu (6a-6c), conteniendo el tubo de perfil (11) un bloque de Al (12) adicional.

5. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 1, caracterizado por que las secciones (4a-4c) que contienen NbTi están formadas respectivamente como una agrupación (34a-34c) de elementos hexagonales de NbTi (35) adyacentes unos a otros que contienen respectivamente uno o varios filamentos de NbTi.

6. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 5, caracterizado por que está previsto un tubo de perfil de Cu (32) al que son adyacentes los bloques de Al (3a-3c) y las agrupaciones (34a-34c), conteniendo el tubo de perfil (32) un bloque de Al (33) adicional, y teniendo el tubo de perfil de Cu (32) un perfilado (32a) exterior que es adecuado para el apoyo de los elementos hexagonales de NbTi (35), en particular en el que el tubo de perfil de Cu (32) tiene un perfilado (32a) exterior por todos los lados.

7. Alambre superconductor (1; 31) según la reivindicación 5 o 6, caracterizado por que el tubo de envoltura (2) contiene varias placas de relleno de Cu (36), teniendo las placas de relleno de Cu (36) un perfilado que es adecuado para un apoyo de los elementos hexagonales de NbTi (35) de las agrupaciones (34a-34c).

8. Alambre superconductor (1; 31) según una de las reivindicaciones 5 a 7, caracterizado por que los bloques de Al (3a-3c) tienen un perfilado que es adecuado para el apoyo de los elementos hexagonales de NbTi (35) de las agrupaciones (34a-34c), en particular en el que los bloques de Al (3a-3c) tienen un perfilado por todos los lados.

9. Alambre superconductor (1; 31) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que están previstos exactamente N bloques de Al (3a-3c) que están dispuestos repartidos en la dirección circunferencial en el tubo de envoltura (2), y por que están previstas exactamente N secciones (4a-4c) que contienen NbTi que también están previstas repartidas en la dirección circunferencial en el tubo de envoltura (2) y que separan los bloques de Al (3a-3c) entre sí en la dirección circunferencial, siendo N = 3, 4, 5 o 6.

10. Alambre superconductor (1; 31) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el alambre superconductor (1; 31) tiene una sección transversal circular.

11. Alambre superconductor (1; 31) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el alambre superconductor (1; 31) está configurado sin espacios huecos en la sección transversal.

12. Alambre superconductor (1; 31) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los bloques de Al (3a-3c) son directamente adyacentes al tubo de envoltura (2).

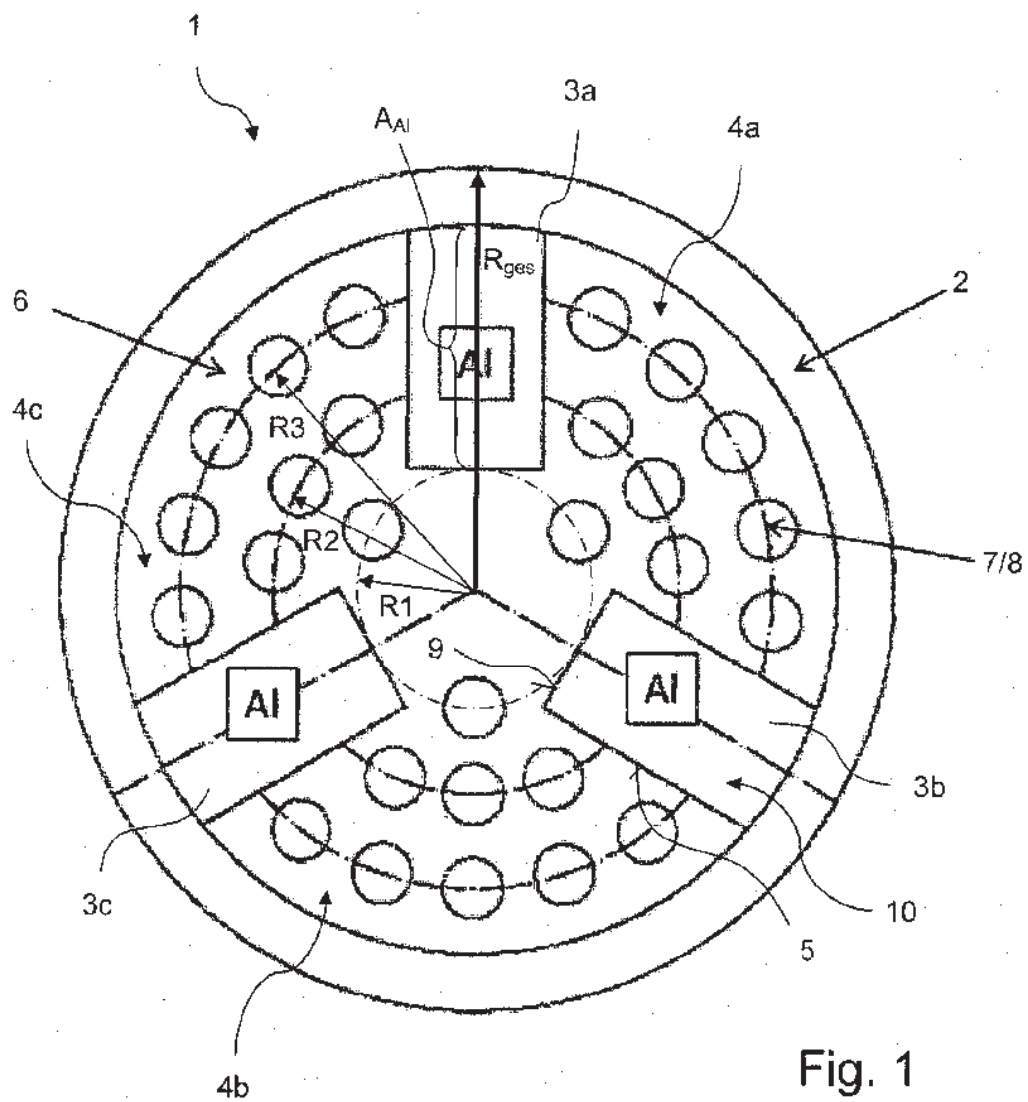


Fig. 1

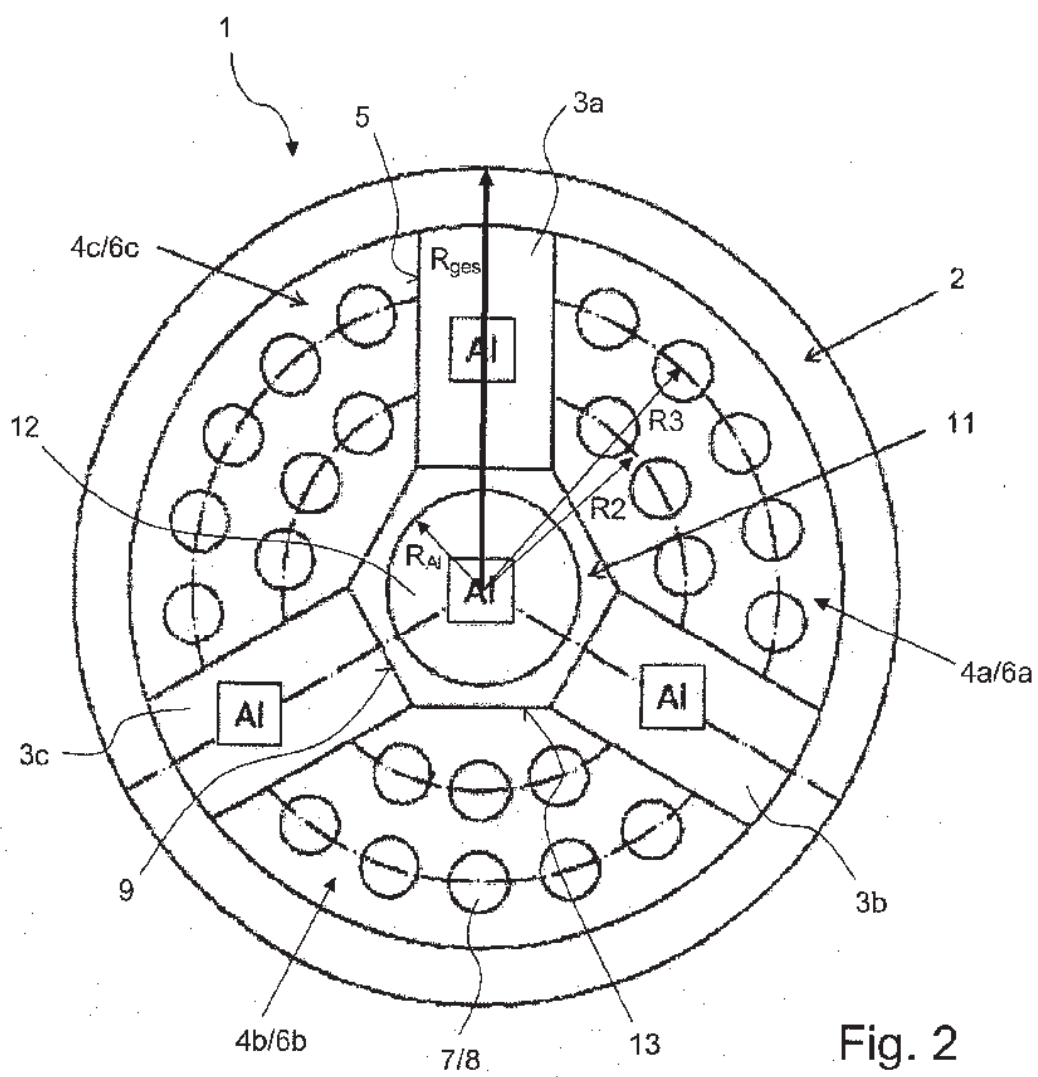


Fig. 2

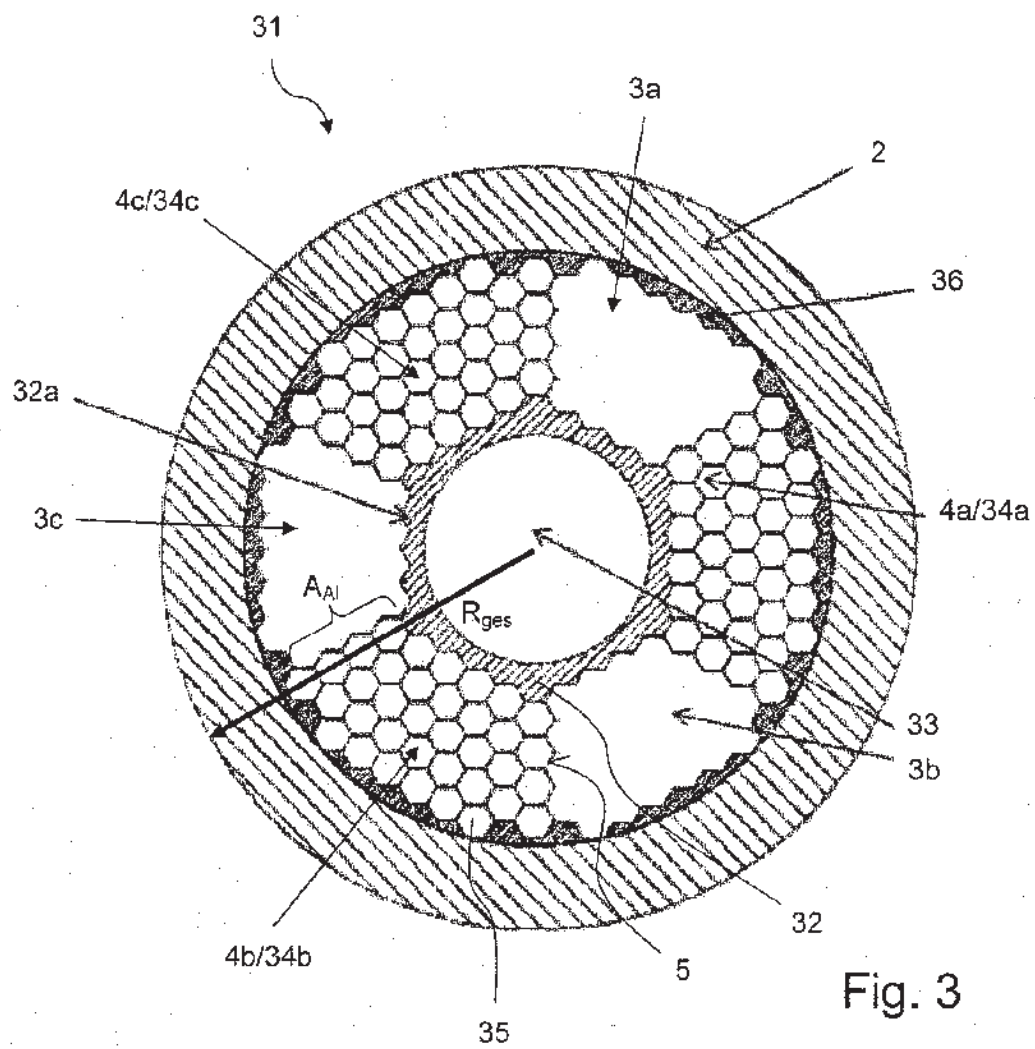


Fig. 3