

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 824 730**

51 Int. Cl.:

H01F 41/02 (2006.01)

A61M 1/10 (2006.01)

H01F 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.10.2017 PCT/EP2017/077334**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.05.2018 WO18082987**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2017 E 17787206 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020 EP 3535768**

54 Título: **Bomba de sangre intravascular que comprende un imán permanente resistente a la corrosión**

30 Prioridad:

02.11.2016 EP 16196804

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

13.05.2021

73 Titular/es:

**ABIOMED EUROPE GMBH (100.0%)
Neuenhofer Weg 3
52074 Aachen, DE**

72 Inventor/es:

**SIESS, THORSTEN y
MOURRAN, CLAUDIA**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 824 730 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

Bomba de sangre intravascular que comprende un imán permanente resistente a la corrosión

5 Esta invención se refiere a la protección contra corrosión de imanes permanentes. En particular, esta invención se refiere a imanes permanentes que tienen un revestimiento protector que hace a los imanes resistentes a la corrosión, y a procedimientos para producir imanes permanentes resistentes a la corrosión. Esta invención se refiere asimismo a bombas de sangre intravasculares que comprenden los imanes permanentes resistentes a la corrosión inventivos. Si bien la invención es aplicable a toda clase de imanes permanentes, son preferentes los imanes permanentes de tierras raras y son particularmente preferentes los imanes permanentes de neodimio, hierro y boro (NdFeB).

15 Las bombas de sangre intravasculares soportan flujo sanguíneo en un vaso sanguíneo de un paciente. Estas se introducen de manera percutánea, por ejemplo, en la arteria femoral y son guiadas a través del sistema vascular del cuerpo a su destino, por ejemplo, un ventrículo del corazón.

20 Una bomba de sangre comprende habitualmente una carcasa de la bomba, que tiene una entrada de flujo sanguíneo y una salida de flujo sanguíneo. Para provocar un flujo sanguíneo de la entrada de flujo sanguíneo a la salida de flujo sanguíneo, un impulsor o rotor está soportado de manera giratoria en el interior de la carcasa de la bomba en torno a un eje de rotación, estando dotado el impulsor de una o varias paletas para transportar la sangre.

25 Una bomba de sangre a modo de ejemplo se muestra en la figura 1. La figura 1 es una sección longitudinal esquemática de una bomba de sangre intravascular 10 a modo de ejemplo. La bomba de sangre tiene una sección 11 de motor y una sección 12 de bomba que están dispuestas coaxialmente una detrás de la otra con el resultado de una forma de construcción de tipo varilla. La sección de bomba está extendida mediante un manguito de aspiración flexible (no mostrado) que tiene, en su extremo y/o en su pared lateral, aberturas para la entrada de sangre a la bomba. El extremo de la bomba de sangre 10 orientada alejándose del manguito de aspiración está conectado a un catéter 14, opcionalmente en combinación con un cable de guía para dirigir la bomba de sangre a su destino.

30 La bomba de sangre intravascular a modo de ejemplo mostrada en la figura 1 tiene la sección 11 del motor y la sección 12 de bomba conectadas firmemente entre sí. La sección 11 de motor tiene un cuerpo envolvente alargado 20 en el que está alojado el motor eléctrico 21. Un motor eléctrico tiene un rotor y un estátor. El estátor es la parte estacionaria del circuito electromagnético del motor, mientras que el rotor es la parte móvil. Tanto el rotor como el estátor comprende bobinados conductores eléctricamente, mientras que el otro comprende imanes permanentes. Una corriente eléctrica que fluye en los bobinados crea un campo electromagnético que interactúa con el campo magnético de los imanes permanentes para generar las fuerzas que hacen girar el rotor. En la bomba de sangre a modo de ejemplo de la figura 1, el estátor 24 del motor eléctrico 21 tiene, de la manera usual, numerosos bobinados distribuidos circunferencialmente, así como una trayectoria de retorno magnético 28 en la dirección longitudinal. Este está conectado firmemente al cuerpo envolvente del motor. El estátor 24 rodea el rotor 1 conectado al eje 25 del motor y consiste en un imán permanente magnetizado en la dirección activa. El eje 25 del motor se extiende sobre la longitud total del cuerpo envolvente 20 del motor y sobresale distalmente fuera del último. Allí, soporta un impulsor 34 con paletas 36 que sobresalen del mismo, o paletas de bomba que rotan en el interior del cuerpo envolvente 32 de la bomba tubular que, a su vez, está conectado firmemente al cuerpo envolvente 20 del motor.

45 El extremo proximal del cuerpo envolvente 20 del motor tiene el catéter flexible 14 fijado de manera estanca al mismo. En la presente invención, "proximal" y "distal" indican la posición con respecto a un médico que introduce la bomba de sangre intravascular, es decir, el extremo distal está en el lado del impulsor. A través del catéter 14 se extienden cables eléctricos 23 para suministrar alimentación al motor eléctrico 21 y controlarlo. Se extiende, adicionalmente, a través del catéter 14 una línea de fluido de purga 29 que penetra la pared del extremo proximal 22 del cuerpo envolvente 20 del motor. El fluido de purga (mostrado esquemáticamente por flechas gruesas) es alimentado a través de la línea de fluido de purga 29 al interior del cuerpo envolvente 20 del motor, fluye a través de un tramo 26 entre el rotor 1 y el estátor 24, y sale a través de la cara extrema 30 en el extremo distal del cuerpo envolvente del motor. La presión de purga se elige para que sea mayor que la presión sanguínea actual, para impedir de ese modo que penetre sangre al cuerpo envolvente del motor. En función del caso de aplicación, la presión del fluido de purga está entre 300 y 1400 mmHg en el motor donde se acumula la presión.

50 Es adecuado como fluido de purga un fluido con una viscosidad mayor que la viscosidad del agua ($\eta=0,75$ mPa·s a 37 °C), en particular un fluido de purga con una viscosidad a 37 °C de 1,2 mPa·s o mayor. Por ejemplo, se puede utilizar una solución del 5 % al 40 % de glucosa en agua para la inyección, pero es adecuada asimismo una solución salina fisiológica.

60 Tras la rotación del impulsor 34, se aspira sangre (mostrada esquemáticamente en flechas sin relleno) a través de la abertura de aspiración 37 de la cara extrema del cuerpo envolvente 32 de la bomba y se transporta hacia atrás dentro del cuerpo envolvente 32 de la bomba, en la dirección axial. A través de aberturas de salida 38 del cuerpo envolvente 32 de la bomba la sangre fluye saliendo de la sección 12 de bomba y a continuación a lo largo del cuerpo

envolvente 20 del motor. Es posible asimismo hacer funcionar la sección de bomba en el sentido de transporte inverso, siendo la sangre aspirada a lo largo del cuerpo envolvente 20 del motor y saliendo de la abertura 37.

5 El eje 25 del motor está montado en cojinetes radiales 27 y 31 en el extremo proximal del cuerpo envolvente del motor, por una parte, y en el extremo distal del cuerpo envolvente del motor, por otra parte. Además, el eje 25 del motor está asimismo montado axialmente en el cojinete axial 40. Si la bomba de sangre se utilizara para transportar sangre asimismo en, o solamente en el sentido inverso, se dispone asimismo/solamente un correspondiente cojinete axial 40 en el extremo proximal del cuerpo envolvente 20 del motor, de manera correspondiente.

10 Se destaca que la bomba de sangre descrita anteriormente es tan sólo un ejemplo, siendo la presente invención aplicable asimismo a diferentes bombas de sangre que comprenden un motor eléctrico, es decir que requieren imanes permanentes.

15 Las bombas de sangre intravasculares deben satisfacer numerosos requisitos. Debido a su colocación dentro de un cuerpo vivo, deberían ser lo más pequeñas posibles. Las bombas más pequeñas actualmente en uso tienen un diámetro exterior de aproximadamente 4 mm. Sin embargo, las bombas tienen que transportar flujos de gran volumen en la circulación sanguínea humana. Por lo tanto, las bombas pequeñas tienen que ser motores de alto rendimiento.

20 Además, las bombas de sangre implantables no deben influir perjudicialmente en su entorno biológico, tal como la sangre a bombear y el tejido circundante. Por lo tanto, las bombas deberán ser biocompatibles en sentido amplio, es decir, no deberán contener o producir ningún material potencialmente nocivo ni un calor considerable que pueda dañar el cuerpo o componentes del mismo.

25 Además, la sustitución de una bomba es pesada para el paciente. Se sigue de esto, y por supuesto también de consideraciones económicas, que las bombas de sangre intravasculares deberían tener una larga vida útil, deseablemente de 180 días o mayor

30 Los materiales y el diseño de las bombas de sangre intravasculares deben ser seleccionados adecuadamente y adaptados específicamente para satisfacer estos diversos requisitos.

35 De manera importante, se tiene que seleccionar un imán permanente apropiado para el motor eléctrico. Considerando la eficiencia y longevidad de la bomba, el imán debería tener un campo magnético fuerte, es decir, alta remanencia, alta resistencia a la desmagnetización, es decir, alta coercitividad, y una alta magnetización de saturación. A este respecto, los imanes permanentes de tierras raras, en particular los que tienen neodimio como metal de tierras raras, y especialmente los imanes permanentes de neodimio, hierro y boro (NdFeB), son los imanes elegidos. Se pueden utilizar asimismo otros imanes permanentes de tierras raras, hierro y boro.

40 Cuanto más potente es el imán, menor puede ser el imán y seguir generando la suficiente fuerza de rotación. Por lo tanto, cuanto más potente es el imán, menor puede ser el motor eléctrico. Los imanes permanentes de NdFeB son los imanes permanentes más potentes disponibles actualmente. Estos parecen ser ideales para su utilización en bombas de sangre intravasculares.

45 Es bien conocido que las propiedades magnéticas de los imanes basados en metales de tierras raras, por ejemplo los imanes de NdFeB, dependen de la composición de aleaciones, la microestructura y las técnicas de fabricación particulares utilizadas. Los imanes de NdFeB están disponibles como imanes unidos con polímeros y como imanes sinterizados. Los imanes sinterizados son superiores en propiedades magnéticas. Estos se preparan mediante aleación de materiales en bruto, pulverizado, prensado y sinterizado. Durante o después de la preparación, se aplica un campo magnético externo para magnetizar el material. Un imán bien estudiado es un material sinterizado cristalino fino en el que cristales de $Nd_2Fe_{14}B$ están rodeados por una capa delgada particularmente rica en neodimio.

50 Aunque los imanes de neodimio, hierro y boro tienen propiedades magnéticas que los hacen particularmente adecuados para su utilización en motores eléctricos de bombas de sangre intravasculares, tienen asimismo una grave desventaja. En concreto, los imanes de NdFeB disponibles comercialmente, que consisten principalmente en neodimio, hierro y boro, y en particular los imanes de neodimio, hierro y boro sinterizados que tienen una fase rica en neodimio muy activa en los límites de los granos, son muy vulnerables a la corrosión. Los imanes pueden ser, por ejemplo, corroídos por el oxígeno y la humedad en el aire, en particular, pero no solamente, en los límites de los granos. La corrosión conduce a una profunda disminución en las propiedades magnéticas, y si la corrosión progresa mientras el imán está en uso, el rendimiento de la bomba de sangre que utiliza el imán se deteriora. El fenómeno se exacerba por la tendencia de los imanes de neodimio, hierro y boro a actuar como una esponja para productos de corrosión, que rompe la estructura y conduce a que se astillen piezas desde la superficie del imán y finalmente al desmoronamiento del imán.

65 Desafortunadamente, la tendencia a la corrosión es una propiedad común a todos los metales de tierras raras. Por lo tanto, todos los imanes permanentes basados en metales de tierras raras tienen una tendencia desfavorable a

corroerse, tal como se ha explicado para los imanes de NdFeB anteriormente. Para los imanes disponibles actualmente se puede decir, como regla general, que cuanto más potente es el imán, mayor es la tendencia a la corrosión.

5 En una bomba de sangre intravascular, los imanes tienen que funcionar en un entorno corrosivo, es decir, en el líquido de purga que fluye entre el rotor y el estátor (véase la figura 1). Tal como se ha descrito anteriormente, el fluido de purga es habitualmente un fluido acuoso, posiblemente un fluido que contiene cloruro. El cloruro es muy corrosivo para imanes basados en metales de tierras raras, pero también el agua y el oxígeno disuelto en el agua provocan corrosión en periodos muy cortos que abarcan solamente unas pocas horas.

10 Claramente, los imanes permanentes basados en metales de tierras raras, tales como los imanes de neodimio, hierro y boro, para las bombas de sangre intravasculares tienen que ser protegidos contra la corrosión.

15 Se conocen varias medidas para proteger imanes de neodimio, hierro y boro y otros imanes basados en metales de tierras raras, contra la corrosión. Por ejemplo, la resistencia a la corrosión se puede mejorar revistiendo los imanes con revestimientos protectores.

20 Los revestimientos usuales son revestimientos de níquel y revestimientos basados en resinas epoxídicas y, especialmente para bombas de sangre, se conocen los revestimientos de titanio y revestimientos de parileno. Sin embargo, estos revestimientos tienen también desventajas. Incluso si se seleccionan respectivamente metales biocompatibles y resinas orgánicas, tales como titanio y parileno, existe el problema de que los revestimientos metálicos tienen que ser relativamente gruesos para proporcionar una protección suficiente. Como resultado, el intersticio entre el imán y los bobinados en el motor eléctrico de la bomba de sangre tiene que ser relativamente grande. Un intersticio grande tiene un fuerte efecto negativo sobre el rendimiento del motor eléctrico. Un intersticio grande demanda una mayor corriente del motor, y las corrientes del motor elevadas producen calor no deseable que puede conducir a daños en la sangre y el tejido.

25 Además, los materiales orgánicos tales como el parileno tienen coeficientes de expansión térmica que son considerablemente diferentes del coeficiente de expansión térmica del imán. Por lo tanto, las variaciones de temperatura durante la utilización del imán conducen a menudo al agrietamiento y/o a la deslaminación del revestimiento.

30 Actualmente, no se conoce ningún revestimiento biocompatible para imanes permanentes, por ejemplo imanes de neodimio, hierro y boro, que cumpla todos los requisitos para su utilización en una bomba de sangre intravascular. Dicho revestimiento debe ser por sí mismo excelente en la resistencia a la corrosión, tiene que ser delgado, pero sin embargo denso, no debe desarrollar grietas u otros defectos durante su utilización, y se tiene que adherir de manera fiable y estrecha al imán. Por supuesto, el revestimiento debe ser biocompatible, y debe revestir con grosor uniforme todo el imán o, bien por lo menos aquellas partes del imán que están expuestas a un entorno corrosivo durante la utilización del imán. Esto es particularmente exigente debido a que muchos imanes tienen una superficie porosa y una forma que comprende bordes. Por lo tanto, los imanes permanentes, tales como los imanes basados en metales de tierras raras, por ejemplo los imanes de neodimio, hierro y boro, para su utilización en bombas de sangre intravasculares, constituyen elementos que no se pueden revestir fácilmente con un grosor uniforme.

35 La Patente US 2003/0041920 A1 da a conocer un imán R-T-B revestido (siendo R, por lo menos, uno de los elementos de tierras raras que incluyen Y, y siendo T Fe o Fe y Co) que comprende un revestimiento de conversión química que contiene un óxido de Mo y un óxido de R. Se puede disponer un revestimiento de resina, por ejemplo, un revestimiento de poliparaxilileno, en el revestimiento de conversión química, y se puede disponer un revestimiento de agente de acoplamiento entre el revestimiento de conversión química y el revestimiento de resina.

40 La presente invención da a conocer una solución a los problemas descritos anteriormente.

45 La presente invención da a conocer un revestimiento para imanes permanentes que protege de manera fiable los imanes frente a la corrosión durante su utilización en una bomba de sangre intravascular durante un periodo de tiempo extendido.

50 La materia de la presente invención involucra un imán permanente resistente a la corrosión, que tiene las características enunciadas en la reivindicación independiente 1, un procedimiento para producir un imán permanente resistente a la corrosión, comprendiendo el procedimiento las características enunciadas en la reivindicación independiente 21, y una bomba de sangre intravascular que tiene las características enunciadas en la reivindicación independiente 30. Se dan a conocer realizaciones de la invención en las respectivas reivindicaciones dependientes.

55 Un imán es resistente a la corrosión en el sentido de esta invención, si pasa la prueba descrita en la sección experimental.

60 De acuerdo con la presente invención, un imán permanente fuerte comprende un revestimiento que rodea completamente un cuerpo de imán o bien cubre, por lo menos, aquellas superficies del cuerpo de imán que están

expuestas al fluido cuando el imán está funcionando en una bomba de sangre intravascular. El revestimiento produce un imán resistente a la corrosión mientras se utiliza en una bomba de sangre intravascular. Los cuerpos de imán preferentes son imanes sinterizados que consisten principalmente en neodimio, hierro y boro, con cristales magnéticos tetragonales finos de $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ y una fase no magnética rica en neodimio que rodea los cristales, tal como se ha descrito anteriormente. Habitualmente, los cristales de $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{S}$ que forman la fase principal tienen un diámetro del cristal principal comprendido dentro en un intervalo de 1 a 80 μm . La fase rica en neodimio no magnético constituye entre el 1 % y el 50 % en volumen del cuerpo de imán. Estos imanes están fácilmente disponibles comercialmente. Son preferentes debido a que tienen buenas características magnéticas, y debido a que son particularmente potentes, es decir, tienen una alta densidad de flujo. Por las razones indicadas anteriormente, una aplicación de bombas de sangre intravasculares requiere imanes particularmente potentes. En principio, sin embargo, el revestimiento inventivo resistente a la corrosión se puede aplicar a cualquier material que requiera protección contra corrosión, por ejemplo diferentes materiales magnéticos de tierras raras, hierro y boro, o cualesquiera otros materiales magnéticos.

El revestimiento inventivo es un revestimiento compuesto dispuesto en superficies del cuerpo de imán, es decir, en el propio material magnético. El revestimiento compuesto comprende una capa metálica en superficies del cuerpo de imán, opcionalmente una capa de óxido metálico en la capa metálica en la superficies expuestas de la misma, una capa formada de poli(2-cloro-p-xilileno), y una capa de ligadura entre la capa metálica o la capa de óxido metálico y la capa de poli(2-cloro-p-xilileno).

Los imanes basados en metales de tierras raras que se compran a un proveedor están habitualmente protegidos por un revestimiento de fosfato. El revestimiento de fosfato se puede eliminar, por ejemplo, lavando con un ácido, antes de la aplicación de la capa metálica. Sin embargo, el revestimiento de fosfato no interfiere perjudicialmente con el revestimiento o con el proceso de revestimiento, según la presente invención y puede, por lo tanto, permanecer en el cuerpo de imán. Preferentemente, el revestimiento de fosfato no se elimina. No eliminar el revestimiento de fosfato ahorra una etapa del proceso y evita la introducción de impurezas durante dicha etapa de proceso. Sin embargo, es preferente limpiar el imán antes de la aplicación a la capa metálica. La limpieza se realiza preferentemente lavando el imán con un solvente orgánico, por ejemplo un alcohol. Son agentes de limpieza particularmente preferentes el isopropanol y una mezcla de isopropanol y etanol. Después de un lavado con solvente orgánico, el imán se seca, por ejemplo, en vacío o en un chorro de aire.

Después de una limpieza y secado, se aplica la capa metálica a la superficie del cuerpo de imán. El metal para formar la capa metálica no está particularmente limitado. Se debe entender que el término "metal", tal como se utiliza en la presente memoria, incluye aleaciones de metal. Son adecuados para formar la capa metálica cualesquiera metales (aleaciones de metal) que puedan formar una capa densa y sean biocompatibles. Análogamente, el procedimiento para aplicar la capa metálica no está particularmente limitado. Los procedimientos de aplicación a modo de ejemplo incluyen procedimientos en seco, tales como deposición física de vapor, en particular deposición de iones en vapor, revestimiento con plasma y deposición de capas atómicas, y procedimientos húmedos, tales como deposición galvánica (recubrimiento iónico). La deposición de plasma y la deposición de iones en vapor son procedimientos muy rápidos y económicos, pero parece que la deposición húmeda produce capas metálicas con mejor calidad, es decir, capas metálicas con mayor densidad. Sin embargo, las capas depositadas mediante deposición de iones en vapor u otros procedimientos en seco tienen una estabilidad superior a largo plazo.

El metal preferente para formar la capa metálica es aluminio. La deposición galvánica de aluminio se realiza a base de líquidos iónicos de la manera usual en la técnica, por ejemplo, utilizando una mezcla de cloruro de aluminio y cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio. El aluminio es preferentemente puro, por ejemplo, con una pureza de, por lo menos, el 99 %, y es particularmente preferente con una pureza de, por lo menos, el 99,9 %.

El aluminio forma una capa de óxido de pasivado cuando se expone al aire. Esta capa de óxido formada naturalmente (nativa) tiene solamente unos pocos nanómetros de grosor y se adhiere bien al metal subyacente. Son adecuados asimismo otros metales que formen una capa de óxido nativa. Los metales a modo de ejemplo incluyen titanio, tántalo, niobio, circonio y aleaciones de dos o más de estos metales, por ejemplo, aleación de aluminio y aleación de niobio titanio. En la presente invención se forman capas de óxido mediante la oxidación del metal revestido sobre el cuerpo de imán, automáticamente con la exposición al aire o artificialmente, por ejemplo, mediante oxidación anódica. En cualquier caso, la capa de óxido tiene solamente unos pocos nanómetros de grosor, por ejemplo de aproximadamente 2 a 5 nanómetros. No obstante, la invención funciona bien también sin una capa de óxido, y se pueden utilizar ventajosamente metales biocompatibles sin una capa de óxido. Dichos metales y aleaciones de metal son, por ejemplo, metales nobles, por ejemplo platino y oro.

El grosor de la capa metálica, y el del metal/capa de óxido metálico combinado, es preferentemente pequeño, es decir, de aproximadamente 20 μm o menos. Un grosor de 10 μm o menos es particularmente preferente.

Para mejorar la protección contra corrosión proporcionada por la capa metálica o el metal/capa de óxido metálico, la capa metálica o el metal/capa de óxido metálico se combina con una capa de polímero de poli(p-xilileno). Los polímeros de poli(p-xilileno) se conocen bajo el nombre comercial de parileno. Los parilenos pueden reaccionar con superficies que contienen grupos hidroxilo, y se sabe que forman revestimientos sin poros en grosores de capa

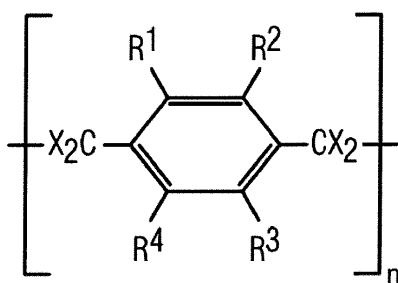
- reducidos. Además, tienen bajas constantes dieléctricas (de aproximadamente 3), lo cual es ventajoso en bombas de sangre implantables. Un revestimiento compuesto que comprende una capa metálica o un metal/capa de óxido metálico y una capa de parileno es biocompatible y proporciona asimismo protección contra corrosión. Sin embargo, la adhesión de la capa de parileno a la capa metálica o a la capa de óxido metálico no es lo suficientemente fuerte en las condiciones de trabajo en una bomba de sangre intravascular. La capa de parileno comienza a deslaminarse después de un tiempo inaceptablemente corto, exponiendo, por lo tanto, el metal o la capa de óxido metálico. La capa metálica o el metal/capa de óxido metálico no pueden proteger suficientemente el cuerpo de imán, y, por lo tanto, se genera corrosión del cuerpo de imán.
- De acuerdo con la presente invención, este escenario se impide mediante una combinación de dos medidas: disposición de una capa de interfaz que liga la capa metálica o la capa de óxido metálico y la capa de parileno, y utilización de un compuesto particular de parileno.
- El compuesto que forma la capa de interfaz, es decir, el compuesto de ligadura, tiene que ser bifuncional. Bifuncional significa que el compuesto de ligadura tiene que tener dos tipos de grupos funcionales o fracciones moleculares de funcionalidad (reactividad) diferente, un grupo funcional o fracción molecular que se une a la capa metálica o a la capa de óxido metálico, por ejemplo reaccionando con grupos hidroxilo superficiales del metal o de la capa de óxido metálico, y el otro grupo funcional o fracción molecular que se une al parileno, ligando de ese modo firmemente la capa metálica o la capa de óxido metálico inorgánica y la capa de parileno orgánica. La ligadura se puede proporcionar mediante enlaces covalentes u otros enlaces, por ejemplo mediante fuerzas de Van der Waals.
- Se conocen ligaduras que tienen grupos funcionales o fracciones que se unen a metales u óxidos metálicos, y grupos funcionales o fracciones que se unen a parileno. Como ligaduras a modo de ejemplo, se pueden mencionar compuestos de silano, mercaptanos, fosfinas, disulfuros y silanos que tienen un grupo tiol, fosfina o disulfuro. En función del metal, son preferentes diferentes compuestos de ligadura.
- En el caso de aluminio, titanio, tántalo, niobio, circonio y óxidos de estos metales, las ligaduras para las capas metálicas y para las capas de óxido metálico son preferentemente alcoxisilanos, tales como metoxisilanos y etoxisilanos, por ejemplo, silanos que tienen la fórmula $(H_3CO)_3Si-R$, siendo R, por ejemplo, metacrilato, alquilamina, fenilamina o epoxialquil. Para unión con parileno, las ligaduras tienen preferentemente un grupo funcional acrililoiloxi o metacrililoiloxi. La longitud de la cadena de carbono entre la parte de sililo y la parte de (met)acrililoiloxi de la ligadura tiene habitualmente de 1 a 16 átomos de carbono (metil, etil, propil, butil, pentil...). La cadena de hidrocarburos está habitualmente saturada, pero puede asimismo contener uno o varios enlaces no saturados. Una ligadura particularmente preferida es metacrilato de 3-(trimetoxisilil)propil (A-174) de la firma Silquest, pero son asimismo adecuados otros compuestos de silano, tales como G-170 de Silquest (un agente de acoplamiento de silano vinil-funcional). Además, se pueden utilizar ligaduras que tienen funcionalidades bis-trietoxisilil o bis-trietoxisilil, por ejemplo, bis(trimetoxisilil)benzeno.
- En particular para titanio, circonio y platino, funcionan bien las ligaduras que tienen grupos funcionales híbridos, tales como trihidrosilanos. Se pueden mencionar específicamente 10-undecenilsilano y n-octadecilsilano. Los silanos se aplican preferentemente a temperatura ambiente desde la fase de vapor o desde una solución aprótica. Además, son adecuados asimismo alcoxisilanos que tienen grupos (met)acrililoiloxi mencionados anteriormente, y los compuestos que tienen funcionalidades bis-trietoxisilil o bis-trietoxisilil.
- Las ligaduras adecuadas para ligar la capa de parileno a una capa de oro son habitualmente mercaptanos, fosfinas o disulfuros, preferentemente con cadenas más largas de hidrocarburos, tales como alquil-disulfuros o dialquil-disulfuros con grupos alquilo que tienen desde 10 hasta 16 átomos de carbono.
- Dichos grupos alquil forman capas densas y bien ordenadas en la superficie del metal o del óxido metálico. Sin embargo, se pueden utilizar asimismo grupos alquil que tienen solamente desde 1 hasta 9 átomos de carbono.
- Son igualmente apropiados para capas de oro compuestos de ligadura de silano que tienen grupos tiol, fosfina o disulfuro. Son particularmente preferentes los ejemplos 3-(2-piridiletil)tiopropil trimetoxisilano, 3-(4-piridiletil)tiopropil trimetoxisilano, 2-(difenilfosfino)etil trietoxisilano, bis(2-metacrililoil)oxietildisulfuro y dihexadecildisulfuro.
- Las ligaduras bifuncionales se aplican preferentemente a la superficie de metal o de óxido metálico mediante un proceso de revestimiento con plasma o mediante deposición física de vapor sin plasma, o aplicando una solución aprótica, o alcohólica o acuosa de compuesto de ligadura bifuncional a la superficie metálica o la superficie de óxido metálico. El revestimiento en seco de compuestos de silano en una cámara de plasma produce capas vidriosas que comprenden cadenas Si-O-Si-O- dispuestas sustancialmente en paralelo a la superficie del óxido metálico y unidas a la superficie por medio de átomos de oxígeno. Un residuo orgánico se orienta alejándose de la superficie y está disponible para la unión al parileno. La deposición física de vapor y la aplicación húmeda forman capas de interfaz que tienen una estructura similar, pero sin un aspecto vidrioso.
- La deposición de plasma produce una capa densa con adherencia aceptable a parileno. La deposición física de vapor sin plasma produce capas menos densas con mejor adherencia a parileno que las capas depositadas en

plasma. La aplicación húmeda produce monocapas muy densas que tienen una red irregular y un alto grado de reticulaciones y un elevado porcentaje de oxígeno unido con silicio. Estas capas se adhieren asimismo muy bien a las capas de parileno. Por lo tanto, es particularmente preferente la aplicación húmeda.

5 Alternativamente, se pueden combinar los procesos de aplicación de plasma y deposición física de vapor (sin plasma) o aplicación húmeda, es decir, se forma primero una capa de interfaz vidriosa mediante deposición de plasma, seguido por deposición física de vapor o aplicación húmeda de una segunda capa de ligadura, formando de ese modo una capa de ligadura compuesta. En dicha capa de ligadura, los átomos de silicio de la capa vidriosa se ligan covalentemente con átomos de oxígeno de la segunda capa, estando disponibles residuos orgánicos (tales como metacrilato, alquilamina o epoxialquil) de la segunda capa para unirse a los parilenos, ya sea covalentemente o de otro modo, por ejemplo, por fuerzas de Van der Waals.

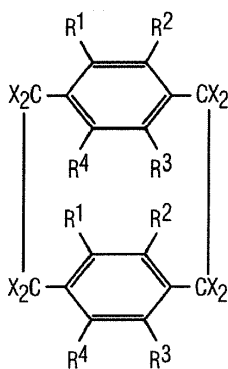
La capa de interfaz tiene habitualmente un grosor comprendido en el intervalo de 20 a 150 nm, preferentemente de 50 a 100 nm.

Finalmente, se forma una capa de parileno, es decir, una capa de polímero de poli(p-xilileno), en la capa de interfaz. Los polímeros de poli(p-xilileno) tienen la fórmula estructural



donde n es el grado de polimerización.

Los precursores de compuestos de poli(p-xilileno) son [2.2]paraciclofanos que tienen la forma estructural



Los compuestos diméricos están disponibles en el mercado, por ejemplo precursores de parileno N, parileno C, parileno D y parileno F. En parileno N, la totalidad de X y R1 a R4 son hidrógeno, en parileno C, uno de R1 a R4 es cloro mientras que los otros residuos R así como X son hidrógeno, en parileno D, dos de los residuos R1 a R4 son cloro mientras que todos los otros residuos son hidrógeno, y en parileno F, los residuos X son flúor mientras que los residuos R1 a R4 son hidrógeno. Se utilizan habitualmente capas de parileno como barreras contra la humedad y barreras dieléctricas.

A altas temperaturas (por encima de aproximadamente 500 °C, dependiendo del parileno en particular) en vacío, los dímeros se rompen para formar los correspondientes radicales p-xilileno. Los monómeros polimerizan para formar polímeros de poli(p-xilileno), por una parte, y unirse a la capa de interfaz por medio de grupos funcionales de la misma, por ejemplo, grupos metacrilato, por otra parte. Alternativamente, se pueden simplemente adherir a partes hidrófobas de la capa de interfaz.

De acuerdo con esta invención, se ha descubierto que parileno C, en el que uno de R1 a R4 es cloro, forma un revestimiento que produce materiales magnéticos resistentes a la corrosión en condiciones descubiertas en bombas de sangre intravasculares, cuando se aplica como la capa de cubierta de la capa compuesta descrita anteriormente. La capa de parileno C se aplica preferentemente mediante deposición de plasma, y el grosor de la capa está preferentemente comprendido en el intervalo desde 5 hasta 20 µm, más preferentemente desde 10 hasta 16 µm.

5 Cuando se aplica parileno C directamente sobre la superficie del material magnético, se observa en unos pocos días la formación de grietas y la deslaminación de la capa protectora de parileno C y la corrosión del material magnético. Análogamente, si se aplica parileno C a una capa metálica o a un metal/capa de óxido metálico, se observa la corrosión del material magnético en las condiciones de una bomba de sangre intravascular en un periodo de tiempo inaceptablemente corto, debido a la deslaminación. Además, los compuestos de parileno diferentes de parileno C no proporcionan la suficiente protección contra la corrosión, incluso si se utiliza un promotor de la adhesión, por ejemplo, si se aplica en una capa de interfaz basada en silano.

10 El revestimiento compuesto de la presente invención se adhiere bien al cuerpo de imán, y dado que tiene una estructura compuesta de constituyentes tanto inorgánicos como orgánicos, proporciona una barrera efectiva contra la materia tanto inorgánica como orgánica. Además, las capas de interfaz vidriosas tienen también propiedades de barrera.

15 En una realización particularmente preferida de la presente invención, la protección contra corrosión del material magnético está realizada, además, porque la forma del cuerpo de imán está adaptada particularmente para permitir la formación de un revestimiento que cubre el cuerpo de imán con un grosor uniforme. Para ello, el cuerpo de imán no tiene bordes afilados, sino en su lugar formas redondeadas tales como bordes suaves. Preferentemente, el cuerpo de imán tiene forma de varilla con un canal que se extiende a través del mismo en una dirección longitudinal para recibir el eje del motor de una bomba de sangre intravascular, estando biseladas hacia el canal las caras frontales enfrentadas del cuerpo de imán. El canal no tiene que estar revestido con el revestimiento compuesto debido a que, en una bomba de sangre intravascular, el canal recibe el eje del motor y está unido al mismo. Por supuesto, el canal puede no obstante estar revestido, para mayor seguridad.

25 El cuerpo de imán puede ser una única pieza, o puede estar compuesto de varios segmentos. En el último caso, cada segmento está dotado del revestimiento inventivo ya sea rodeándolo completamente o, rodeándolo por lo menos, las superficies expuestas del mismo con un grosor uniforme. Preferentemente, cada segmento tiene bordes suaves.

30 La presente invención se explicará en mayor detalle haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que la figura 1 es una sección longitudinal esquemática de una realización a modo de ejemplo de una bomba de sangre intravascular,

35 la figura 2a es una representación esquemática de un imán de una sola pieza a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención,

la figura 2b es una en vista sección parcial que muestra un detalle del imán ilustrado en la figura 2a, y

40 la figura 3 es una vista superior esquemática de un imán segmentado a modo de ejemplo, de acuerdo con la presente invención.

Los dibujos no están a escala. No se debe considerar que estos limitan la invención en modo alguno.

45 La bomba de sangre intravascular 10 mostrada en la figura 1 se ha descrito anteriormente. La bomba es de construcción convencional, pero comprende un imán permanente resistente a la corrosión 1, de acuerdo con la presente invención. En la bomba de la figura 1, el imán 1 tiene forma de varilla, las caras frontales opuestas siendo planas y paralelas entre sí. Aunque el revestimiento compuesto, según la presente invención puede proteger de manera efectiva un cuerpo de imán que tiene bordes afilados, tal como se muestra en la figura 1, contra la corrosión durante un periodo de tiempo prolongado, es preferente en la presente invención utilizar un cuerpo de imán que tenga una forma como la mostrada en las figuras 2 y 3. Las capas individuales del revestimiento compuesto se extienden completamente sobre cada capa de revestimiento compuesto aplicada anteriormente.

55 La figura 2a muestra un imán de una sola pieza 1 que tienen forma de varilla y un orificio o canal que se extiende a su través en dirección longitudinal. Durante la utilización del imán en una bomba de sangre intravascular 10 como la mostrada en la figura 1, el canal recibe el eje 25 del motor. Las caras frontales opuestas 4 del imán se estrechan hacia el canal. El imán 1 está dotado de un revestimiento compuesto, según la invención, en las superficies exteriores 2 expuestas al fluido que fluye en el intersticio 26 y las caras frontales cónicas 4. Las superficies interiores 3 adyacentes al eje 25 del motor pueden o no estar revestidas. El borde 5 en la transición entre la superficie exterior 2 y la superficie frontal 4, así como el borde 6 en la transición entre la superficie frontal 4 y la superficie interior 3, están revestidos. Los bordes son suaves, facilitando de ese modo la formación de un revestimiento uniforme con buena adhesión. "N" y "S" indican el polo norte y el polo sur del imán.

60 La figura 2b es una vista en sección parcial a lo largo de la línea de trazos de la figura 2a. La figura 2b muestra la zona del imán dentro del lazo de la figura 2a. La figura 2b muestra claramente los bordes suaves 5, 6.

65

La figura 3 muestra un imán segmentado 7. El imán mostrado en la figura 3 tiene cuatro segmentos 8, 8'. Los segmentos 8, que están enfrentados entre sí, tienen la misma polaridad magnética, tal como se indica mediante "N" en la vista superior de la figura 3, y los segmentos 8', que están asimismo enfrentados entre sí, tienen la misma polaridad magnética, tal como se indica mediante "S" en la vista superior de la figura 3. Como resultado, los segmentos adyacentes 8, 8' tienen polaridad magnética opuesta.

Los segmentos 8, 8' tienen, análogamente al imán de una sola pieza mostrado en la figura 2, superficies interiores, superficies exteriores, superficies frontales opuestas, bordes en la transición entre las superficies exteriores y las superficies frontales, y bordes en la transición entre las superficies frontales y las superficies interiores. Las caras frontales se designan como 4', y los bordes se designan como 5' y 6', respectivamente, en correspondencia con las designaciones de la figura 2. Además, los segmentos 8, 8' tienen superficies laterales 9, 9', separadas por intersticios en el dibujo. Por supuesto, cuando el imán está en uso, las superficies laterales 9, 9' contactan entre sí. Todas las superficies de cada segmento del imán pueden estar cubiertas completamente por el revestimiento compuesto inventivo, pero las superficies laterales 9, 9' que no están expuestas debido a que están en contacto entre sí, y las superficies interiores que no están expuestas debido a que entran en contacto con el eje del motor, no tienen por qué estar revestidas. Preferentemente, todos los bordes de todos los segmentos son bordes suaves.

La tabla 1 muestra los resultados de pruebas de corrosión de imanes de neodimio, hierro y boro revestidos con diferentes revestimientos. Se revistieron doce cuerpos de imán sinterizados de $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ no magnetizados cilíndricos idénticos, con una longitud de 12 milímetros y un diámetro de 2,8 milímetros, tal como se describe a continuación, y se sometieron a pruebas de corrosión en una solución acuosa que contenía un 0,9 % en peso de cloruro de sodio a 60 °C. Los especímenes de prueba se inspeccionaron diariamente hasta el día 60, y a continuación se inspeccionaron una vez a la semana. La corrosión del material magnético tiene como resultado el levantamiento o deformación del revestimiento. Por lo tanto, el levantamiento del revestimiento o la formación de una protuberancia en una superficie de un espécimen de prueba indica corrosión del material magnético. La formación de una protuberancia con una altura de 0,1 mm así como el levantamiento del revestimiento se definieron como indicativos de un fallo del imán.

Se prepararon especímenes de prueba del siguiente modo:

Todos los especímenes: cuerpos de imán de neodimio, hierro y boro no magnetizados (con pasivación de fosfato, en el producto comprado) se limpiaron con isopropanol y se secaron a continuación en una corriente de aire. A continuación, se aplicaron los revestimientos, y después de la aplicación de los revestimientos, los imanes revestidos se sometieron a magnetización en un campo magnético. La magnetización de los cuerpos de imán antes de aplicar el revestimiento compuesto inventivo no es apropiada. Los grosores de los revestimientos fueron de aproximadamente 7 μm para la capa de aluminio, de aproximadamente 100 nm para la capa de silano y de aproximadamente 10 μm para la capa de parileno, donde aplicaba.

Especímenes 1 y 2: los cuerpos de imán secos se revistieron con aluminio mediante deposición de iones en vapor. Tras una exposición al aire, se formó una capa de óxido de aluminio (capa de óxido aluminio nativo). A continuación, se revistió sobre la misma parileno C con plasma.

Especímenes 3 y 4: los cuerpos de imán secos fueron revestidos con aluminio mediante deposición de iones en vapor. Tras la exposición al aire, una capa de óxido de aluminio nativo se formó en la superficie expuesta de la capa de aluminio. No se aplicó ningún otro revestimiento.

Especímen 5: el cuerpo de imán seco fue revestido con aluminio mediante deposición de iones en vapor. Tras la exposición al aire, se formó una capa de óxido de aluminio nativo. A continuación, se aplicó metacrilato de 3-(trimetoxisilil)propil (silano A-174) mediante revestimiento con plasma, seguido por la aplicación de parileno F mediante revestimiento con plasma.

Especímenes 6 y 7: los cuerpos de imán secos fueron revestidos con aluminio mediante deposición de iones en vapor. Tras la exposición al aire, se formó una capa de óxido de aluminio nativo. A continuación, se aplicó una solución alcohólica (agua/etanol; ácido acético para conseguir un pH de aproximadamente 5 a 6; concentración de silano de aproximadamente el 1 %; tiempo de reacción de aproximadamente 5 minutos) que contenía silano A-174, y se evaporó el alcohol. Finalmente, se aplicó parileno C mediante revestimiento con plasma.

Especímen 8: el cuerpo de imán seco fue revestido con aluminio mediante deposición de iones en vapor. Tras la exposición al aire, se formó una capa de óxido de aluminio nativo. A continuación, se aplicó silano A-174 mediante revestimiento con plasma, seguido por la aplicación de parileno C mediante revestimiento con plasma.

Se llevó a cabo deposición de iones en vapor para los especímenes 1 a 8 en gas argón aproximadamente a 10^{-3} mbar a un potencial a aproximadamente 1000 voltios y 1500 amperios de CC. Generalmente, son adecuados desde aproximadamente 400 hasta 1000 voltios y desde aproximadamente 500 hasta 1500 amperios de CC.

Especímenes 9 y 10: los cuerpos de imán secos fueron revestidos con un copolímero de etileno y clorotrifluoroetileno mediante revestimiento con aerosol. Los imanes revestidos fueron sometidos a cocción, y a continuación enfriados.

- 5 Especímenes 11 y 12, los cuerpos de imán secos fueron revestidos con aerosol con resina de sulfuro de polifenileno y cocidos a 135 °C durante treinta minutos.

Tabla 1

Especímen #		Tiempo t hasta fallo		
invención	comparativo	t < 3 días	3 días ≤ t < 1 mes	t ≥ 6 días
	1		x	
	2		x	
	3		x	
	4		x	
	5		x	
6				x
7				x
8				x
	9	x		
	10	x		
	11	x		
	12	x		

Resultados de la prueba de imanes de Nd₂Fe₁₄B revestido en solución de 0,9 % NaCl a 60 °C.
 El imán falla cuando el revestimiento se levanta o la deformación alcanza 0,1 mm.
 Los imanes pasan la prueba cuando el tiempo hasta fallo es, de por lo menos, 6 meses (1 mes = 30 días)
 Un imán es resistente a la corrosión en términos de esta invención cuando pasa la prueba, es decir, el tiempo hasta fallo es, de por lo menos, 180 días.

- 10 Las muestras 9, 10, 11 y 12 de especímenes, que tienen cada una un revestimiento de resina, según el estado de la técnica, aplicado directamente al cuerpo de imán de neodimio, hierro y boro, fallaron en menos de 3 días en solución de cloruro de sodio a 60 °C. Las muestras 1 a 5 de especímenes que comprenden capas protectoras de óxido de aluminio/aluminio sobrevivieron un tiempo mayor. Las muestras 3 y 4 de especímenes que fueron protegidas de la
- 15 corrosión mediante capas de aluminio/óxido de aluminio sin capas protectoras adicionales, fallaron en menos de 1 mes. Se consiguió el mismo resultado cuando se aplicó directamente un revestimiento consistente en parileno C sobre la capa de óxido de aluminio, es decir, sin una capa de interfaz basada en silano (muestras 1 y 2 de especímenes). Adicionalmente, se consiguió el mismo resultado cuando estaba presente una capa de interfaz basada en silano entre la capa de óxido de aluminio y la capa de parileno, pero la capa de parileno no consistía en parileno C (muestra 5 de espécimen).
- 20 La muestra 8 de espécimen tuvo esencialmente la misma composición de revestimiento que la muestra 5 de espécimen, y las capas individuales del revestimiento compuesto se aplicaron del mismo modo. Sin embargo, en la muestra 8 de espécimen se utilizó parileno C en lugar del parileno F de la muestra 5 de espécimen. Sorprendentemente, esta ligera modificación tuvo la consecuencia de que la muestra 8 de espécimen no falló
- 25 incluso después de 6 meses, mientras que la muestra 5 de espécimen fallaba ya en menos de 1 mes.
- Las composiciones de revestimiento de las muestras 6 y 7 de especímenes fueron idénticas a la composición del revestimiento de la muestra 8 de espécimen. Sin embargo, en la muestra 8 de espécimen la capa de interfaz se
- 30 aplicó mediante revestimiento con plasma, mientras que en las muestras 6 y 7 de especímenes se utilizó un proceso húmedo para aplicar la capa de interfaz. Como resultado, las muestras 6 y 7 de especímenes siguieron sin ningún signo de corrosión cuando la prueba se interrumpió después de un año, mientras que la muestra 8 de espécimen no sobrevivió doce meses en un entorno corrosivo.
- Los resultados de las pruebas anteriores proporcionan una indicación clara de que un imán permanente de
- 35 neodimio, hierro y boro que tiene un revestimiento compuesto que comprende una capa metálica, una capa de ligadura y una capa exterior formada de poli(2-cloro-p-xilileno) tiene una excelente resistencia a la corrosión incluso en condiciones agresivas, y se puede utilizar ventajosamente en una bomba de sangre intravascular.
- Los resultados de las pruebas indican asimismo que el procedimiento de aplicación de la capa de ligadura influye en
- 40 la resistencia a la corrosión. Se consiguió una resistencia a la corrosión particularmente excelente cuando la capa de ligadura se aplicó mediante un proceso húmedo.
- Para conseguir una protección óptima contra la corrosión es conveniente aplicar el revestimiento compuesto
- 45 inventivo a los cuerpos de imán no magnetizados, y magnetizar los cuerpos de imán solamente después de que se aplique el revestimiento.

5 Las muestras 6, 7 y 8 de especímenes cumplieron ambas condiciones anteriores. Los cuerpos de imán no magnetizados fueron revestidos con el revestimiento compuesto inventivo, y magnetizados después de la aplicación del revestimiento compuesto completo. Como resultado, las muestras 6, 7 y 8 de especímenes no mostraron ningún levantamiento del revestimiento, y la deformación fue menor de 0,1 mm en una solución de 0,9 % en peso de NaCl a 60 °C durante, por lo menos, 180 días. Por lo tanto, las muestras 6, 7 y 8 de especímenes son imanes resistentes a la corrosión.

REIVINDICACIONES

1. Imán permanente resistente a la corrosión, que comprende
 - 5 - un cuerpo de imán, y
 - un revestimiento compuesto dispuesto en, y cubriendo superficies del cuerpo de imán, comprendiendo el revestimiento compuesto
 - 10 (a) una capa metálica del cuerpo de imán,
 - (b) opcionalmente, una capa de óxido metálico sobre la capa metálica en la superficie orientada alejándose del cuerpo de imán,
 - 15 (c) una capa de ligadura en la capa metálica o la capa de óxido metálico, y
 - (d) una capa formada de poli(2-cloro-p-xilileno) en la capa de ligadura.
2. Imán, según la reivindicación 1, en el que el cuerpo de imán es un cuerpo de imán sinterizado.
- 20 3. Imán, según la reivindicación 1 o 2, en el que el cuerpo de imán está basado en metales de tierras raras.
4. Imán, según la reivindicación 3, en el que el metal de tierras raras es neodimio.
- 25 5. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el cuerpo de imán es un imán permanente de metales de tierras raras, hierro y boro.
6. Imán, según la reivindicación 4 o 5, en el que el cuerpo de imán es un cuerpo de imán sinterizado que tiene cristales de $Nd_2Fe_{14}B$ y un material de neodimio, hierro y boro que rodea los cristales de $Nd_2Fe_{14}B$, siendo dicho material de neodimio, hierro y boro más rico en neodimio que los cristales de $Nd_2Fe_{14}B$.
- 30 7. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el cuerpo de imán tiene forma de varilla siendo redondeados todos los bordes.
- 35 8. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la ligadura que forma la capa de ligadura se selecciona entre silanos, mercaptanos, fosfinas, disulfuros y silanos que tienen un grupo tiol, fosfina o disulfuro.
9. Imán, según la reivindicación 8, en el que los silanos se seleccionan entre trimetoxi- y trietoxisilanos que tienen un grupo funcional acrililoiloxi o metacrililoiloxi, o ligaduras que tienen grupos funcionales bis-trimetoxisilil.
- 40 10. Imán, según la reivindicación 8, en el que los silanos tienen un grupo funcional hidruro.
11. Imán, según la reivindicación 8, en el que la ligadura se selecciona entre 3-(2-piridiletil)tiopropil trimetoxisilano, 3-(4-piridiletil)tiopropil trimetoxisilano, 2-(difenilfosfino)etil trietoxisilano, bis(2-metacriloil)oxietildisulfuro y dihexadecildisulfuro.
- 45 12. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que el metal de la capa metálica se selecciona entre aluminio, titanio, tántalo, niobio, circonio, platino, oro y aleaciones de aluminio, titanio, tántalo, niobio y circonio.
- 50 13. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el metal de la capa metálica se selecciona entre aluminio, titanio, tántalo, niobio, circonio y aleaciones de los mismos, y la superficie de la capa metálica orientada alejándose del cuerpo de imán está cubierta por una capa de óxido formada por oxidación del metal o de la aleación metálica.
- 55 14. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el metal de la capa metálica se selecciona entre platino, titanio y circonio.
15. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 u 11, en el que el metal de la capa metálica es oro.
- 60 16. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en el que todas las capas del revestimiento compuesto se extienden completamente sobre todas las superficies del cuerpo de imán.
17. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, en el que el grosor de la capa metálica o los grosores combinados de la capa metálica y la capa de óxido metálico está en un intervalo desde 5 μm hasta 20 μm .

18. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, en el que el grosor de la capa de ligadura está en el intervalo desde 20 nm hasta 150 nm.
- 5 19. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 18, en el que el grosor de la capa formada de poli(2-cloro-p-xilileno) está en el intervalo desde 5 μm hasta 20 μm .
20. Imán, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 19, en el que el grosor del revestimiento compuesto no es mayor que 200 μm , preferentemente no mayor que 50 μm .
- 10 21. Procedimiento para producir un imán permanente resistente a la corrosión, comprendiendo el procedimiento:
- disponer un cuerpo de imán no magnetizado,
 - formar una capa metálica sobre superficies del cuerpo de imán,
 - 15 - formar una capa de ligadura sobre la capa metálica o sobre una capa de óxido metálico formada sobre la capa metálica,
 - formar una capa de poli(2-cloro-p-xilileno) sobre la capa de ligadura, y
 - 20 - magnetizar el cuerpo de imán.
22. Procedimiento, según la reivindicación 21, en el que el cuerpo de imán es un cuerpo de imán, según se define en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
- 25 23. Procedimiento, según la reivindicación 21 o 22, en el que la capa metálica se forma aplicando un metal mediante deposición de iones en vapor o deposición de plasma o deposición de capas atómicas.
- 30 24. Procedimiento, según la reivindicación 21 o 22, en el que la capa metálica se forma aplicando un metal mediante deposición galvánica a partir de un líquido iónico.
25. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 24, en el que el metal es un metal, según se define en cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15.
- 35 26. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25, en el que la capa de ligadura se forma aplicando una ligadura mediante deposición física de vapor utilizando plasma, o mediante deposición física de vapor sin utilizar plasma, o mediante un proceso húmedo o mediante una combinación de los mismos.
- 40 27. Procedimiento, según la reivindicación 26, en el que la ligadura es una ligadura, según se define en cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11.
28. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 27, en el que la capa de poli(2-cloro-p-xilileno) se forma mediante deposición de plasma de dicloro[2.2]paraciclofano.
- 45 29. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 21 a 28, en el que las capas tienen grosores, según se define en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20.
- 50 30. Bomba de sangre intravascular que comprende un motor eléctrico, en la que el motor eléctrico comprende un imán permanente, según se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 20.

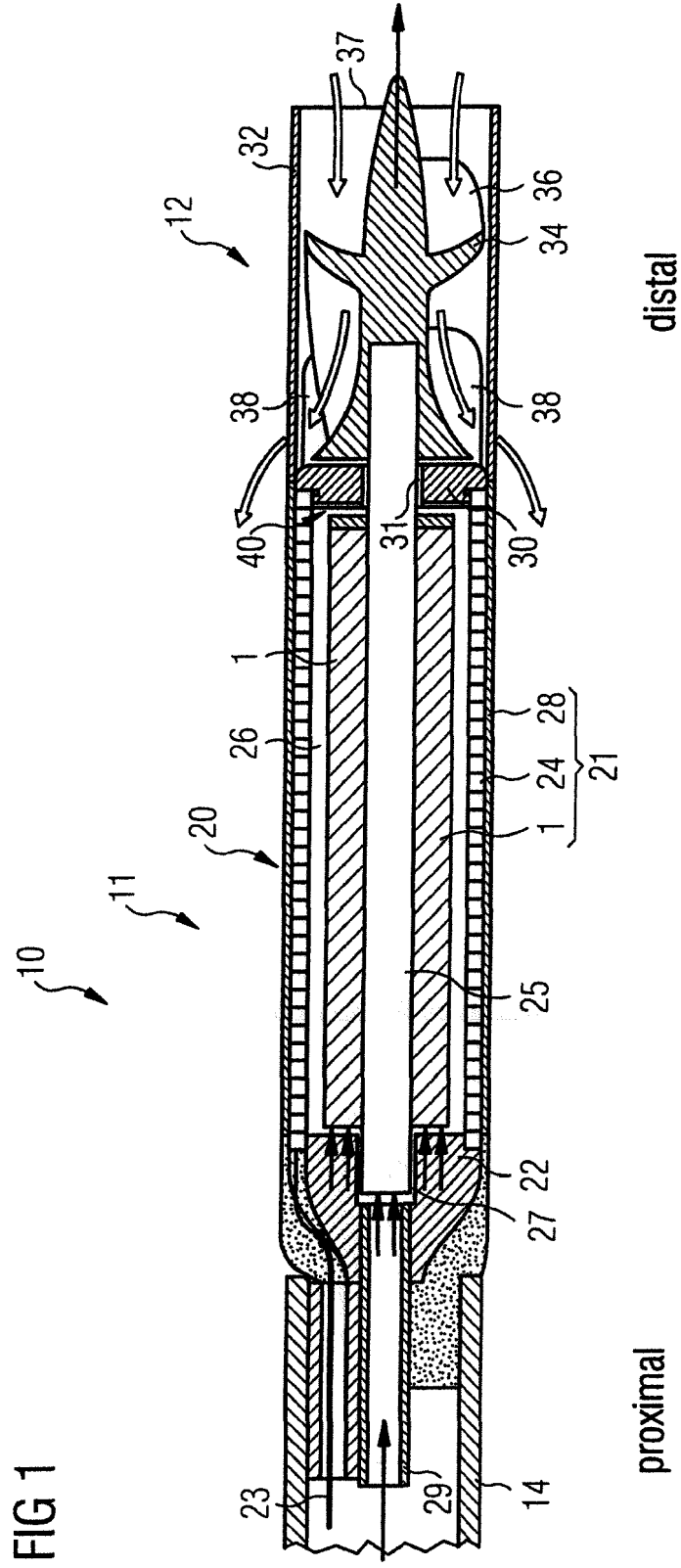


FIG 2

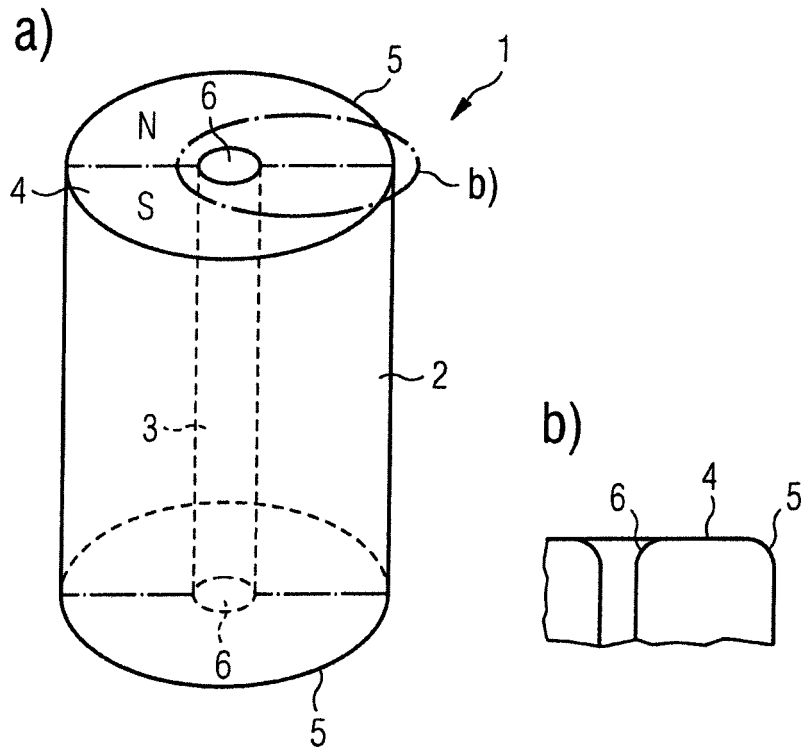
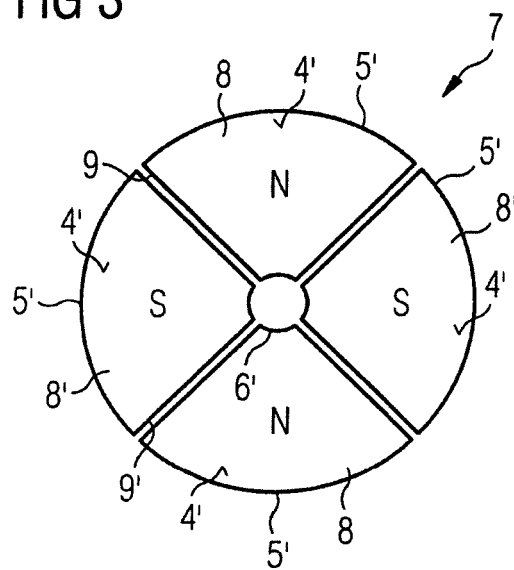


FIG 3



REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

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

Documentos de patentes citados en la descripción

- US 20030041920 A1