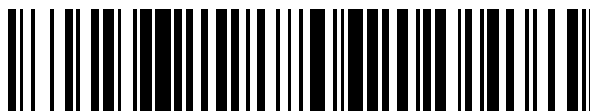


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 711 852**

51 Int. Cl.:

**B22F 3/105** (2006.01)  
**B22F 7/06** (2006.01)  
**B28B 1/00** (2006.01)  
**H01F 1/08** (2006.01)  
**H01F 1/22** (2006.01)  
**H01F 7/02** (2006.01)  
**H01F 41/02** (2006.01)  
**C22C 38/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2015 PCT/EP2015/068599**  
 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.02.2016 WO16023961**  
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2015 E 15748265 (4)**  
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.12.2018 EP 3180141**

54 Título: **Imán que presenta regiones de diferentes propiedades magnéticas y procedimiento para formar dicho imán**

30 Prioridad:

**12.08.2014 US 201462036449 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**07.05.2019**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
 Brown Boveri Strasse 6  
 5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**SIMON, REINHARD;  
 JACIMOVIC, JACIM;  
 TREMELLING, DARREN;  
 GREUTER, FELIX;  
 JOHANSSON, ERIK y  
 TOMSE, TOMAZ**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

ES 2 711 852 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

Imán que presenta regiones de diferentes propiedades magnéticas y procedimiento para formar dicho imán.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere principalmente a un imán y a un procedimiento para formar dicho imán. De aquí en adelante, el término 'imán' se entiende como un objeto que puede producir un campo magnético.

10 Estado de la técnica

Los materiales magnéticos para aplicaciones de energía generalmente se dividen en dos grupos principales: imanes duros (a menudo denominados imanes permanentes) e imanes blandos.

15 Los imanes duros generalmente presentan unos valores de coercitividad  $H_c > 10-100 \text{ kA/m}$ , mientras que, para los imanes blandos, típicamente, la coercitividad es  $H_c < 1 \text{ kA/m}$ . Entre estos grupos, los materiales magnéticos semiduros incluyen todas las aleaciones cuya coercitividad ( $H_c$ ) se encuentra entre la de los materiales magnéticos blandos y los materiales magnéticos duros.

20 Los imanes permanentes (en adelante, abreviados como "PM") se utilizan normalmente en máquinas eléctricas (motores, generadores). Los imanes permanentes más avanzados en la actualidad son a base de metales de tierras raras (RE). El término "tierras raras" se abrevia comúnmente como "RE". RE es uno de los elementos de la serie de lantánidos de la tabla periódica de elementos. Dicha serie de lantánidos comprende los elementos químicos Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Prometio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd),  
25 Terbio (Tb), Disprosio (Dy), Holmio (Ho), Erblio (Er), Tulio (Tm), Iterbio (Yb), Lutecio (Lu).

Los imanes basados en RE son especialmente importantes, ya que permiten diseños de máquinas con un alto rendimiento, una elevada eficiencia energética, y una compacidad de dimensiones global. Los materiales típicos de los imanes permanentes a base de tierras raras son aleaciones intermetálicas a base de Nd-Fe-B, (Nd-Dy)-Fe-B y Sm-Co. Puede haber una gama de elementos químicos adicionales en los cuerpos magnéticos para optimizar propiedades específicas y también las relaciones de los elementos base pueden variar dentro de un tipo de imanes.

35 Los materiales de imanes permanentes sinterizados y densos a base de tierras raras presentan mayor rendimiento magnético, es decir, la coercitividad  $H_c$  más elevada y la remanencia  $B_r$  más elevada. Un inconveniente de los materiales de imanes permanentes a base de tierras raras reside en que los elementos de tierras raras utilizados son tan costosos que su cuota forma una parte esencial del coste total para fabricar el cuerpo magnético. Este inconveniente es particularmente cierto para aquellos cuerpos magnéticos que contienen elementos de tierras raras pesadas (en lo sucesivo, elementos HRE). Los elementos HRE son Terbio (Tb), Disprosio (Dy), Holmio (Ho), Erblio (Er), Tulio (Tm), Iterbio (Yb) y Lutecio (Lu).

40 El elevado coste total depende no sólo de los elevados costes de materia prima de los metales de tierras raras, sino también de la muy compleja ruta de procesamiento. Debido a la alta reactividad de los metales de RE con el oxígeno, todas las etapas de procesamiento deben realizarse bajo atmósferas protectoras para evitar un impacto perjudicial en las propiedades magnéticas. Para lograr un rendimiento magnético máximo, las partículas pueden orientarse aplicando un campo magnético elevado antes y durante la etapa de prensado. Dichos imanes fabricados presentan generalmente un mayor rendimiento en comparación con los de tipo no orientados. Todas las rutas de procesamiento de metalurgia en polvo conocidas para imanes permanentes a base de RE se limitan a la fabricación de geometrías muy simples, ya que la conformación se basa en un simple prensado uniaxial, prensado isostático, o deformación en caliente en una etapa de prensado uniaxial. Unas características geométricas muy simples, tales como una superficie ligeramente curva en lugar de una superficie plana, suponen un coste significativamente más elevado del imán, debido a que deben emplearse costosas etapas de mecanizado adicionales (pulido de los materiales duros). Esta limitación a geometrías simples es una gran limitación y un inconveniente para el diseño de máquinas avanzadas y de mayor eficiencia energética, que se beneficiarían de imanes con formas más complejas.

55 Todavía otra propiedad importante de los materiales de PM para aplicaciones de máquinas eléctricas es la temperatura máxima de funcionamiento. Los materiales de PM a base de RE experimentan una desmagnetización a temperaturas elevadas. En el sistema Nd-Fe-B, una sustitución parcial de Nd por elementos de tierras raras pesadas (típ. 4 a 6 át. % Dy) puede extender la temperatura de operación de típicamente  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  (para Nd-Fe-B normal) a aproximadamente  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  (para Nd-Fe-B dopado con Dy). En diseños avanzados de máquinas con mayores densidades de potencia, esta temperatura de funcionamiento extendida es comúnmente deseada. Sin embargo, una mejor estabilidad de la temperatura implica un coste elevado. Debido al coste excepcionalmente elevado de los metales de RE pesadas, el coste de dichos imanes dopados con Dy u otros imanes dopados con RE pesadas es significativamente mayor en comparación con PM a base de RE convencionales.

Un problema adicional de los materiales de PM a base de RE es su alta susceptibilidad intrínseca a la corrosión. Para permitir una aplicación a largo plazo, deben aplicarse elementos de aleación para mejorar el comportamiento de la corrosión o recubrimientos protectores.

Una forma de superar este inconveniente reside en organizar los costosos elementos de HRE de manera selectiva en aquellas zonas del cuerpo magnético donde se requieren características magnéticas mejoradas e indispensables una vez que se incorporan en un dispositivo eléctrico, mientras que se mantiene el resto del imán esencialmente libre de HRE.

Un enfoque para reducir los costes generales de un imán mediante la disposición selectiva de elementos de RE reside en la difusión de Disprosio (Dy) a lo largo de los límites de grano del cuerpo magnético. El cuerpo magnético que consiste en una aleación de neodimio, hierro y boro (NdFeB) se sinteriza primero mediante procedimientos comunes conocidos en la técnica. Después de formar el cuerpo magnético en una primera etapa, el cuerpo magnético se cubre con una capa protectora en su superficie exterior donde no se desean propiedades de RE pesadas, mientras que las zonas con propiedades de RE pesadas no se cubren con la capa protectora en la periferia, es decir, la superficie exterior del cuerpo magnético en una segunda etapa. En una tercera etapa, los materiales de RE pesadas se depositan sobre la superficie del cuerpo magnético que no está cubierta por la capa protectora, por ejemplo, a través de vapor que contiene Disprosio. Después, el imán se recuece a temperaturas más elevadas para permitir la difusión de RE pesadas a lo largo de los límites de grano dentro del cuerpo magnético. El Dy difuso reemplaza el Nd en los granos de NdFeB y los átomos de Nd expulsados forman una capa continua alrededor de los granos de (Nd, Dy)FeB recién formados. Dichas capas también aíslan magnéticamente el grano de los granos contiguos. Mediante este procedimiento se forma dentro del cuerpo magnético una primera región que tiene diferentes propiedades magnéticas en comparación con la segunda región, es decir, la región próxima a la superficie/periferia exterior del cuerpo magnético. En última instancia, este proceso da lugar a la mejora de la coercitividad en más de un 50% sin variar remanencia en comparación con un cuerpo magnético producido de acuerdo con la primera etapa solamente.

Un primer problema de ese procedimiento reside en que la segunda región sólo puede estar en la superficie del cuerpo. Un segundo problema de ese procedimiento reside en que sólo pueden realizarse segundas regiones que tienen un grosor total pequeño. Como resultado, la libertad de diseño de la segunda región del imán es muy limitada.

Otro enfoque reside en emplear un procedimiento de fabricación aditivo. La fabricación aditiva es una tecnología emergente, que permite la fabricación de piezas con formas complejas en un proceso de construcción por capas directamente a partir de datos de diseño CAD. Esto lo convierte en un procedimiento de fabricación atractivo, especialmente para formas complejas en un período de tiempo muy corto, desde el diseño hasta el componente final. Para los metales, la construcción de componentes puede lograrse en un lecho de polvo empleando un rayo láser (SLM: Fusión Selectiva por Láser) o un rayo de electrones (EBM: Fusión por Haz de Electrones). El procedimiento recientemente recibió mucha atención. Sin embargo, en este momento sólo hay un número limitado de materiales (en total, aproximadamente 20 materiales diferentes) disponibles y conocidos, que pueden producirse mediante este procedimiento.

Una limitación sustancial de los procedimientos actuales de SLM y EBM para metales reside en que la composición de aleación química y la microestructura del material no pueden variarse y controlarse localmente (en elementos de pequeño volumen a nivel microestructural). Por lo tanto, no es posible construir microestructuras de múltiples componentes diseñadas en 3D durante el proceso de construcción del componente 3D.

Otro enfoque para producir un imán permanente se describe en WO2013/185967A1. El procedimiento de acuerdo con este enfoque utiliza un haz de energía enfocado (rayo láser o haz de electrones) para la sinterización selectiva de polvos. El objetivo principal del proceso es conservar tanto la microestructura original como la morfología (forma) de las partículas de polvo de la materia prima. Esto se consigue seleccionando en el proceso de sinterización una combinación temperatura-tiempo que sólo da lugar a la formación de cuellos de sinterización entre partículas de polvo, evitando de este modo cambios microestructurales (por ejemplo, crecimiento del grano, recristalización) dentro de las partículas, y evitando un cambio en la morfología de las partículas. Esto significa que el procedimiento está limitado naturalmente a una etapa temprana de sinterización, donde sólo se forman cuellos de sinterización. En esta etapa temprana de sinterización no se produce una densificación sustancial del polvo por contracción de volumen y llenado de poros. Por lo tanto, el procedimiento descrito siempre da lugar a una elevada cantidad de porosidad residual en la microestructura final. Los valores típicos están por encima de entre un 30 y un 40% en volumen de porosidad.

Un inconveniente importante de este procedimiento reside en que sólo pueden obtenerse cambios no deseados en la microestructura del cristal y la morfología de las partículas mediante el coste de una alta porosidad residual, por ejemplo, una porosidad magnética de un 30% en volumen. En una realización de WO2013/185967A1, se añade un

material no metálico adicional, tal como vidrio o un polímero, a una fracción por debajo de un 10% en peso (porcentaje en peso), de modo que la morfología esférica y la microestructura de las partículas magnéticas permanecen conservadas. Ese procedimiento da lugar a microestructuras y propiedades que son similares y comparables a los imanes unidos poliméricos. Además, el procedimiento tiene el inconveniente de generar un material con muy baja resistencia mecánica y tenacidad, debido a la alta porosidad. Además, dado que las partículas están conectadas por cuellos de sinterización en una red tridimensional, las corrientes de Foucault no pueden reducirse eficientemente, debido a las elevadas conductividades en los cuellos de sinterización. Por lo tanto, la porosidad no mejora significativamente las pérdidas por corrientes de Foucault. En comparación con imanes densos sinterizados convencionalmente, la densidad de energía (BH)<sub>máx</sub> y el rendimiento mecánico de los imanes obtenidos mediante WO2013/185967A1 es bajo. Así, los imanes de WO2013/185967A1 requieren más volumen para el mismo rendimiento en comparación con imanes densos convencionalmente sinterizados. Este es un inconveniente importante para todo tipo de aplicaciones (especialmente para máquinas eléctricas), donde se prefieren diseños compactos con altas densidades de energía. US 2013/0309121 A1 describió la impresión 3D de vidrio magnético en bruto. Los imanes de RE unidos de polímeros consisten en partículas magnéticas (a base de imanes permanentes de RE) en una matriz de polímero. Con los imanes de RE unidos de polímero, la limitación de geometrías de imanes muy simples puede superarse en parte, ya que pueden aplicarse, por ejemplo, moldes de inyección u otros procedimientos de conformación de polímeros. Sin embargo, estos imanes tienen el inconveniente de un rendimiento magnético sustancialmente menor (menor densidad de energía, menor polarización, menor coercitividad), ya que esos imanes contienen una gran cantidad de polímero (generalmente muy por encima de un 30% en volumen). Además, las propiedades mecánicas (resistencia, fluencia) y la temperatura máxima de funcionamiento son sustancialmente más bajas en comparación con los imanes permanentes de RE sinterizados.

Los materiales magnéticos blandos desempeñan un papel clave para las aplicaciones eléctricas en transformadores, motores y generadores. Hay disponibles varias clases de materiales en diferentes composiciones de aleaciones, tales como materiales policristalinos (por ejemplo, base de Fe, Fe-Si, Ni-Fe, Co-Fe), amorfo (por ejemplo, Fe-B-Si, Fe-Ni-B-Si, Fe-Si-B-P-Nb), y nanocristalinos (por ejemplo, Fe-Cu-Nb-Si-B). Debido a su moderado coste, se utilizan ampliamente láminas eléctricas a base de Fe-Si cristalino (con un 3% de Si) tanto en tipos no orientados como orientados en granos. Con el fin de reducir las pérdidas por corrientes de Foucault, los núcleos magnéticos generalmente están formados por una pila laminada de muchas láminas delgadas (grosor de lámina típico de 0,3 - 0,5 mm). Las láminas se fabrican mediante una elaborada tecnología de laminado en caliente y en frío combinado con etapas de tratamiento térmico. Las láminas se estampan a la dimensión deseada y se aíslan eléctricamente aplicando una capa de cerámica o polímero entre las láminas. La pila laminada tiene que sujetarse o unirse mecánicamente mediante un adhesivo de una manera conveniente. Todo el proceso de construcción de un núcleo laminado a partir de láminas delgadas es complicado, requiere mucho tiempo y es costoso. Además, el proceso de estampado o cualquier deformación de las láminas eléctricas degrada las propiedades magnéticas. Por lo tanto, deben realizarse tratamientos de recocido adicionales para recuperar parcialmente las propiedades iniciales mediante una liberación de las tensiones internas generadas. Se sabe que las pérdidas del núcleo pueden reducirse en general reduciendo el grosor de las láminas a un mínimo de típ. 0,1 mm. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de un coste y una complejidad adicionales en la fabricación de un núcleo magnético laminado. Los materiales SM amorfos de solidificación rápida y nanocristalinos ofrecen las pérdidas de núcleo más bajas y la eficiencia energética más alta. Un inconveniente principal de estos materiales es su alto coste de material y producción. Con el fin de lograr un estado amorfo o nanocristalino, el material fundido se solidifica rápidamente a partir del estado líquido a unas velocidades de enfriamiento muy elevadas (típicamente 104 - 106 K/s). Esto puede conseguirse sólo mediante el moldeo de cintas muy delgadas (típ. 20 - 50  $\mu$ m) en una rueda de cobre giratoria. Como inconveniente, es elaborado y costoso producir núcleos magnéticos a base de estas cintas muy finas. Otro inconveniente de los materiales de imanes blandos amorfos y nanocristalinos reside en su elevada susceptibilidad a la corrosión. Para proteger las cintas contra la corrosión y para reducir las pérdidas por corrientes de Foucault deben aplicarse unos recubrimientos cerámicos o poliméricos de las cintas individuales.

En resumen, un inconveniente fundamental de la tecnología de núcleos de imanes blandos de hoy en día es el elaborado y costoso proceso de fabricación, que es una consecuencia del concepto de material de lámina en capas. Además, sólo pueden fabricarse geometrías de núcleos comparativamente simples/básicas, lo que limita drásticamente el grado de libertad en el diseño de dispositivos eléctricos avanzados con mayor eficiencia energética.

#### Descripción general de la invención

Un objetivo de la presente invención reside en proporcionar un imán que permita una mayor libertad de diseño de la primera región y la segunda región y realizar geometrías del cuerpo magnético más complejas que para los imanes convencionales. Este objetivo se consigue mediante un imán de acuerdo con la siguiente realización básica que tiene un cuerpo magnético que comprende una primera región con primeras propiedades magnéticas. Una segunda región con segundas propiedades magnéticas que son diferentes a las primeras propiedades. La posición de la primera región y la segunda región dentro del cuerpo magnético es libremente predeterminable. Tal como se especifica en la reivindicación 1, las regiones tienen diferentes tamaños de grano promedio.

Debido al nuevo procedimiento de producción del imán, la libertad de diseño del cuerpo magnético aumenta enormemente. En comparación con los procedimientos de fabricación de imanes conocidos, es posible asignar la segunda región justo allí donde realmente se necesita una vez que se construye un dispositivo eléctrico, tal como un motor, por ejemplo. Dependiendo del tamaño y la forma de la segunda región en comparación con la primera región, es posible reducir drásticamente el contenido de RE de elementos de tierras raras en el cuerpo magnético, de manera que el coste total del cuerpo magnético puede reducirse drásticamente. También pueden realizarse segundas regiones espacialmente más extensas que para los cuerpos magnéticos conocidos, sin esencialmente ningún esfuerzo adicional. La reivindicación 22 especifica las características del procedimiento.

Una segunda ventaja reside en que el rendimiento magnético general (eficiencia) de un cuerpo magnético de acuerdo con la presente solicitud puede ser mucho más elevado que un cuerpo magnético producido convencionalmente que presente las mismas dimensiones externas tal como explicará a modo de ejemplo. Durante condiciones transitorias, los pulsos de campo tienden a reducir el flujo en el imán a valores negativos en relación con la dirección de magnetización. Las corrientes de Foucault que pasan en los extremos distales, es decir, las regiones extremas de un cuerpo magnético que tiene una forma alargada, protegen una región central entre las partes extremas de ese pulso. El inconveniente de tal protección reside en que los extremos distales del cuerpo magnético se ven sacrificados ya que se desmagnetizarán después de un cierto período de tiempo en el uso del dispositivo eléctrico, de modo que ya no puedan contribuir al rendimiento magnético general. En los dispositivos eléctricos convencionales, esto llevó inevitablemente a la consecuencia de que el cuerpo magnético tenía que diseñarse más grande de lo que realmente se requiere para garantizar un uso satisfactorio y duradero del dispositivo eléctrico. Totalmente diferente a esto, se permite al nuevo imán asignar la segunda región en la zona de los extremos distales y la primera región en la zona central. Si la segunda región tiene una coercitividad más elevada que la primera región en este ejemplo, no es necesario sacrificar la zona distal en un grado tan grande para garantizar el rendimiento magnético mínimo requerido también después de una larga vida útil del dispositivo eléctrico. Como consecuencia, es posible reducir las dimensiones generales del cuerpo magnético en comparación con el cuerpo magnético convencional mencionado anteriormente o mejorar el rendimiento magnético general si en el dispositivo eléctrico hay disponibles las mismas dimensiones externas del cuerpo magnético convencional mencionado anteriormente. Tal como puede apreciarse, el presente cuerpo magnético puede contribuir esencialmente a la miniaturización de dispositivos eléctricos.

Expresado en términos más generales, la primera región que tiene por lo menos uno de un valor de coercitividad y remanencia que es diferente del valor de la segunda región puede diseñarse de manera que sólo se requiera un contenido mínimo de RE en aplicaciones de gama alta.

Para ajustar el rendimiento magnético, la primera región tiene una microestructura diferente de la segunda región. Más precisamente, se ha demostrado que es deseable que los imanes tengan un tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región que sea mayor que un tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región. Se han obtenido notables resultados satisfactorios en términos de valores de magnetización alcanzables si el tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región es por lo menos un 20% mayor que el tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región. Dado que se ha demostrado que una diferencia entre el tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región y la primera región es una medida importante, pueden obtenerse imanes muy satisfactorios si el tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región es por lo menos un 50% mayor que el tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región.

Además del tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región y la segunda región, se ha demostrado que también la forma promedio global de los granos magnéticos desempeña un papel. Expresado de manera más genérica, esto es ventajoso en vista del rendimiento magnético general si la forma promedio global de los granos magnéticos en la primera región es diferente de la forma promedio global de los granos magnéticos en la segunda región. Se han obtenido notables resultados satisfactorios en términos de valores de magnetización alcanzables si la forma promedio global de los granos magnéticos en la segunda región es por lo menos un 30% más alargada respecto a la forma promedio global de los granos magnéticos en la primera región. La forma promedio global alargada de los granos magnéticos en la segunda región también puede denominarse forma columnar de los granos magnéticos. Una descripción alternativa del término 'alargado' puede residir en que los granos magnéticos promedio en la segunda región presentan una relación entre una dimensión más larga respecto a su centro de gravedad y una dimensión más corta respecto al centro de gravedad de por lo menos 2:1.

El nuevo procedimiento de fabricación también permite ajustar el cuerpo magnético de modo que la composición química de la primera región difiera de la composición química de la segunda región. De esa manera, es posible que los granos magnéticos en la primera región tengan una composición química diferente de los granos magnéticos en la segunda región. Dependiendo de los requisitos, la segunda región está situada en la periferia del cuerpo magnético y puede comprender un elemento químico tal como Disproseo que confiere a la segunda región unas propiedades de coercitividad mejores que la primera región situada rodeada por la segunda región, por ejemplo.

Dependiendo de la realización, la segunda región puede ser una región de borde o una región de esquina del cuerpo magnético. También puede realizarse una combinación de lo anterior. El término "región de esquina" se entiende como una zona del cuerpo magnético que se extiende a lo largo de un borde o cresta donde se encuentran entre sí varias superficies envolvente. Diferente a lo anterior, el término "región de borde" se entiende como una región que se extiende sobre una superficie envolvente del cuerpo magnético, por ejemplo, sobre dos superficies laterales que están dispuestas una frente a la otra.

El nuevo procedimiento de fabricación también proporciona una granulometría esencialmente libre. En comparación con técnicas de difusión conocidas donde los elementos de tierras raras se introducen en regiones periféricas del cuerpo magnético, ahora es posible diseñar el grosor de la segunda región de manera más libre. Dependiendo de las propiedades magnéticas requeridas del imán, una profundidad de la segunda región que se extiende perpendicularmente a una superficie de por lo menos una de una región de borde y una región de esquina del cuerpo magnético es de por lo menos 1 mm, en realizaciones por lo menos 3 mm, y en todavía otras realizaciones más de por lo menos 8 mm.

Como en muchos casos, es deseable que el cuerpo magnético presente unas propiedades particulares, es decir, propiedades magnéticas calibradas sólo en todas sus superficies laterales, pero no en su superficie inferior y su superficie superior. Pueden conseguirse buenos resultados si el cuerpo magnético presenta una forma general sustancialmente prismática que tenga una sección transversal rectangular con una longitud del cuerpo y una anchura del cuerpo según se ve desde una dirección en la que se extiende un grosor del cuerpo, es decir, la dirección del edificio. La segunda región es sustancialmente tubular y tiene una sección transversal en forma de anillo según se ve desde la dirección en la que el grosor del cuerpo se extiende en una sección transversal rectangular. El término en forma de anillo no debe interpretarse en sentido estricto, de modo que abarque únicamente secciones transversales circulares, sino que en general abarque también secciones transversales poligonales. El contorno exterior de la sección transversal en forma de anillo coincide con el contorno exterior de la sección transversal rectangular. Un grosor de anillo más pequeño no se desvía más de un 20% del grosor del cuerpo magnético. El término 'grosor de anillo más pequeño' se entiende como una dirección mínima de la segunda región con forma de anillo en su punto más delgado. Los ejemplos no se limitan a geometrías de tipo cuboide, y se aplican a formas del cuerpo magnético más complejas.

De manera similar a la situación conocida de aplicaciones de transformadores o similares, puede ser deseable ajustar no sólo las propiedades magnéticas, sino también las propiedades de aislamiento. Esto puede hacerse ya que por lo menos una de la primera región y la segunda región comprende una capa eléctricamente aislante dentro de por lo menos dos capas internas contiguas de la primera región y/o la segunda región, respectivamente. Se utiliza el término 'capa' ya que tiene una superficie comparativamente grande y un grosor comparativamente pequeño. Dependiendo de las propiedades físicas y químicas de la capa aislante eléctrica, esto puede utilizarse para ajustar la trayectoria magnética, ya que ayuda a guiar las líneas de flujo. Una ventaja de tales capas de aislamiento reside en que la formación de corrientes de Foucault puede suprimirse o por lo menos dificultarse en un estado operativo del imán. Suprimir o por lo menos obstaculizar/limitar las corrientes de Foucault en un estado operativo del imán es particularmente ventajoso en aplicaciones de imanes blandos.

La extensión plana, así como el grosor de la capa aislante dependen de la aplicación prevista del imán.

Dependiendo de las propiedades previstas, la capa eléctricamente aislante comprende un material sintético eléctricamente aislante, un óxido metálico, un carburo metálico, un nitruro metálico, una cerámica, un vidrio o incluso una mezcla de los mismos. También es posible construir un imán que tenga dos capas aislantes diferentes. Si estas capas se aplican directamente una sobre otra o si hay varias capas de granos magnéticos situadas entre dos capas de aislamiento idénticas o similares, depende de los requisitos del imán.

Se disponen valores de coercitividad más elevados que en los cuerpos magnéticos sinterizados convencionales si la primera región o la segunda región o la primera región, así como la segunda región tiene/tienen un grado de llenado de granos magnéticos por volumen determinado de por lo menos un 85 por ciento en volumen, es decir, por lo menos un 85% de la densidad teórica por volumen determinado. En otras palabras, los vacíos en el volumen determinado pueden consumir un máximo de un 15% para el volumen determinado. Pueden obtenerse propiedades superiores de coercitividad y remanencia si el grado de llenado de los granos magnéticos para un volumen determinado es de por lo menos un 95 por ciento en volumen. Tales valores de llenado están muy por encima de los valores de llenado para cuerpos de imanes sinterizados por láser.

Todas las ventajas anteriores pueden obtenerse ya que el cuerpo magnético se produce mediante fusión por fusión selectiva por láser (SLM) o fusión por haz de electrones (EBM), por sinterización por descarga de plasma (SPS), por recubrimiento por láser, por recubrimiento de polvo de plasma o por pulverización térmica. Cada uno de estos procedimientos de producción deja propiedades específicas en el cuerpo magnético que permiten una detección del procedimiento de manufactura una vez que se ha producido el cuerpo magnético.

El proceso de producción mencionado anteriormente permite formar imanes de casi cualquier forma. Hasta ahora, la forma general del cuerpo magnético estaba limitada a geometrías comparativamente primitivas y básicas. Ahora, es posible diseñar un imán tal que presente una configuración de forma libre. Ejemplos de tales configuraciones de forma libre son formas de arco, imanes con una sección transversal en forma de seta y similares que son diferentes de los cuerpos magnéticos en forma de caja conocidos de la gran mayoría de los dispositivos eléctricos conocidos por el solicitante en el momento de presentar esta solicitud. Expresado en otras palabras, los procedimientos de fabricación citados anteriormente permiten una total flexibilidad de diseño de contorno, forma y tamaño. Aunque algunos procedimientos tales como el SPS pueden tener más restricciones, son perfectamente factibles formas complejas, tales como geometrías con una dirección axial, según sea necesario en motores.

Los procedimientos de fabricación anteriores también permiten realizar secuencias de capas intercaladas que no podrían realizarse con los procedimientos de fabricación convencionales, especialmente de una manera económica. En una realización de ejemplo de un cuerpo magnético, la primera región se forma como un primer bloque, en el que la segunda región se forma como un segundo bloque, y en el que el segundo bloque está unido al primer bloque. El término 'bloque' no debe entenderse en sentido estricto para abarcar sólo formas cuboidales. Cada uno de estos bloques comprende una pluralidad de capas. Además, la secuencia de bloques no se limita a la vertical (es decir, en la secuencia de fabricación del procedimiento de construcción 3D) o en la horizontal extendiéndose transversalmente a la misma. Además, también pueden realizarse ahora realizaciones híbridas que tengan secuencias de capas que se extiendan horizontalmente y verticalmente.

En el caso de imanes permanentes, pueden obtener propiedades adicionales, tal como se explica a continuación.

Pueden obtenerse imanes ventajosos si la primera región comprende un imán duro a base de un elemento de un primer grupo, comprendiendo el primer grupo una de las composiciones a) a g), mientras que dicha composición

- a) contiene aluminio, níquel y cobalto (AlNiCo);
- b) contiene Samario y Cobalto (SmCo);
- c) contiene Samario y Hierro (SmFe);
- d) contiene samario, hierro y nitrógeno (SmFeN);
- e) contiene hierro y nitrógeno (FeN);
- f) contiene manganeso, aluminio y carbono (MnAlC);
- g) contiene manganeso, estaño y cobalto (MnSnCo);
- h) contiene manganeso y bismuto (MnBi);
- i) contiene ferrita dura;
- h) contiene RE, Hierro y Boro (REFeB);
- i) contiene RE y Hierro y Carbono (REFeC).

Pueden conseguirse imanes particularmente económicos si el elemento de un primer grupo es la composición a) o e) o g).

Se utilizan a menudo ferritas duras tales como ferritas de estroncio [ $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  ( $\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ )] en pequeños motores eléctricos, dispositivos de microondas, medios de grabación, medios magneto-ópticos, industria de telecomunicaciones y electrónica. Ferritas de bario,  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  ( $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) son un material común para aplicaciones de imanes permanentes. Las ferritas de bario son cerámicas robustas que generalmente son estables a la humedad y resistentes a la corrosión. Se utilizan, por ejemplo, en imanes de altavoces y como medio de grabación magnética, por ejemplo, en tarjetas de banda magnética. Se utilizan ferritas de Cobalto,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ( $\text{CoO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), en algunos medios para grabación magnética.

Cuando se desee, la segunda región puede contener un imán duro a base de un elemento de un segundo grupo, mientras que dicho segundo grupo comprende todos los elementos del primer grupo que están ausentes en la primera región. En una realización de ejemplo, el primer elemento comprende AlNiCo y el segundo elemento comprende NdFeB.

En una realización ventajosa respecto a los costes generales de un imán, la primera región comprende una composición con un primer elemento de RE, hierro y boro (REFeB), en el que el primer elemento de RE es un elemento o varios elementos de tierras raras de la serie de lantánidos. El primer elemento no contiene todos los elementos de la serie de lantánidos. La segunda región comprende una composición con un segundo elemento de RE, hierro y boro (REFeB), en el que el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras de la serie de lantánidos que está ausente en el primer elemento.

Si es necesario, la segunda región puede comprender un elemento químico adicional tal como Co, Ti, Zr para mejorar la resistencia a la corrosión, si la segunda región abarca la primera región en su totalidad, por ejemplo.

Dado que los elementos de tierras raras pesadas (HRE) proporcionan valores de coercitividad y remanencia aún mayores que el resto de elementos de la serie de lantánidos, es ventajoso si el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras pesadas (HRE).

5 Además, pueden obtenerse imanes de bajo coste si el primer elemento de RE comprende cerio (Ce), neodimio (Nd) o tanto Ce como Nd.

10 Como alternativa, la primera región de un imán comprende un imán duro a base de un elemento del primer grupo formado por la composición que comprende RE, hierro y boro (REFeB), mientras que la segunda región comprende un imán duro a base del mismo elemento del primer grupo que la primera región. En esta realización, un porcentaje en peso del RE en la segunda región es por lo menos un 20% más elevado que el porcentaje en peso del RE en la primera región.

15 Pueden obtenerse buenos imanes si el tamaño de grano magnético promedio de la segunda región es inferior a 4 micras, mientras que el tamaño de grano magnético promedio de los granos magnéticos comerciales es actualmente mayor de 10 micras.

20 Independientemente del hecho de que el imán sea de tipo magnético blando o de tipo magnético permanente, sus propiedades pueden clasificarse de la siguiente manera.

Para imanes blandos es ventajoso que el tamaño de grano magnético promedio de la primera región sea inferior a 20 nm o superior a 50 micras.

25 No sólo en aplicaciones de imanes blandos, sino también en aplicaciones de imanes permanentes, puede ser deseable que por lo menos una de la primera región y la segunda región comprendan una capa de terminación en una periferia del cuerpo magnético. Esa capa geoméricamente más externa respecto al cuerpo magnético puede ser aislante y proporcionar protección contra la corrosión o puede ser eléctricamente conductora para proporcionar una protección magnética contra la desmagnetización de la segunda y/o primera región a través de las corrientes de Foucault inducidas y también puede ser una capa de protección contra la corrosión al mismo tiempo. Dependiendo de los requisitos, la capa de terminación puede ser eléctricamente conductora.

30 Tal como se ha mencionado anteriormente, hay realizaciones en las que por lo menos una de la primera región y la segunda región comprende una capa eléctricamente aislante situada entre por lo menos dos capas internas contiguas de la primera región y la segunda región, respectivamente. Una realización de este tipo puede emplearse para suprimir o por lo menos obstaculizar/limitar las corrientes de Foucault de formación en un estado operativo del imán, en particular en aplicaciones de imanes blandos.

35 Añadir una capa adicional de alta conductividad eléctrica a lo largo de la periferia del imán puede contribuir a reducir las pérdidas. Una ventaja adicional de una realización de este tipo puede residir en que esta capa también se forma a lo largo del contorno/periferia del imán, de modo que se vuelve innecesaria una etapa adicional de mecanizado a lo largo de estos bordes para alcanzar la geometría final del cuerpo magnético.

40 En una realización alternativa, la capa de terminación o una capa de terminación adicional es eléctricamente aislante. Dicha capa de terminación puede estar realizada en un material plástico o cerámico para garantizar una protección contra la corrosión del cuerpo magnético en el sentido de que se forma un recubrimiento protector. En todavía otra alternativa, el cuerpo magnético puede comprender una capa eléctricamente conductora para reducir los efectos negativos de un campo de desmagnetización en el cuerpo magnético, así como una capa terminal adicional que forme un recinto de plástico o cerámica en la parte superior para garantizar una protección contra la corrosión del cuerpo magnético.

45 Independientemente de si el imán es un imán blando o permanente, SM o un PM, es beneficioso que el cuerpo magnético presente una estructura que sea una de una microestructura policristalina, una microestructura amorfa y una microestructura nanocristalina.

50 La microestructura policristalina comprende por lo menos una de hierro (Fe) y una aleación de hierro que comprende por lo menos una de las composiciones i) a v), mientras que la composición

- 60
- i) contiene hierro y silicio (Fe-Si),
  - ii) contiene níquel y hierro (Ni-Fe),
  - iii) contiene cobalto y hierro (Co-Fe),
  - iv) contiene hierro y aluminio (Fe-Al),
  - v) contiene hierro, aluminio y silicio (Fe-Al-Si);



La microestructura amorfa, a su vez, comprende una aleación de hierro que comprende por lo menos una de las composiciones vi) a x), mientras que la composición

- 5 vi) contiene hierro, boro y silicio (Fe-B-Si),  
 vii) contiene hierro, níquel, boro y silicio (Fe-Ni-B-Si),  
 viii) contiene hierro, silicio, boro, fósforo y niobio (Fe-Si-B-P-Nb),  
 ix) contiene una primera combinación de elementos de cualquiera de los elementos de un tercer grupo  
 10 y un cuarto grupo en el que el tercer grupo contiene los elementos cobalto, hierro y níquel y en el que  
 el cuarto grupo contiene los elementos boro, silicio, carbono,  
 x) contiene una segunda combinación de elementos de cualquiera de los elementos de un quinto  
 grupo y un sexto grupo en el que el quinto grupo contiene los elementos cobalto y hierro y en el que el  
 sexto grupo contiene los elementos circonio, hafnio y niobio;  
 15 Por último, la microestructura nanocristalina comprende una aleación de hierro que contiene hierro,  
 cobre, niobio y boro.

En el caso de imanes blandos, pueden obtenerse propiedades adicionales, tal como se explica a continuación.

20 El proceso de fabricación permite construir imanes blandos más avanzados con un cuerpo magnético que presente  
 una estructura que sea por lo menos una de una microestructura policristalina, una microestructura amorfa y una  
 microestructura nanocristalina.

25 Debido al rápido cambio de la coercitividad de muchas composiciones en un rango de un tamaño de grano de los  
 granos magnéticos entre aproximadamente 10 nm y más de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ , resultó ventajoso en el  
 término de una alta permeabilidad (es decir, una baja coercitividad) si un tamaño de grano magnético promedio en la  
 primera región es menos de 20 nm o más de 50  $\mu\text{m}$ , y en el que la segunda región tiene un tamaño de grano  
 magnético promedio de 100 nm a 1  $\mu\text{m}$ . Eso es válido por lo menos para composiciones con los elementos químicos  
 Fe-Cu-Nb-Si-B; Fe-Nb-Si-B; Fe-Co-Zr; Ni-Fe de un 50% en peso; Ni-Fe de un 80% en peso; y Si-Fe con un 6,5% en  
 30 peso.

A continuación, también hay aplicaciones en las que se desean propiedades magnéticas blandas o magnéticas  
 semiduras, así como propiedades magnéticas permanentes. En una realización de ejemplo de dicho imán, la  
 primera región tiene una coercitividad de menos de 1 kA/m o una coercitividad de más de 1 kA/m pero menos de 10  
 35 kA/m, mientras que la segunda región tiene una coercitividad de más de 10 kA/m.

Hasta ahora, la única manera de producir tales imanes híbridos residía en que el imán blando y el imán  
 duro/permanente debían producirse por separado y luego ensamblarse en el cuerpo magnético deseado en una  
 etapa adicional. Por el contrario, el nuevo procedimiento de fabricación que se describe más adelante en esta  
 descripción prevé una manera económica de producir el cuerpo magnético deseado en una sola vez. Si un  
 40 dispositivo eléctrico está equipado con alguno de los imanes mencionados anteriormente, los efectos y las ventajas  
 de este último también se aplicarán al dispositivo eléctrico. En realizaciones de ejemplo, el dispositivo eléctrico  
 puede ser un motor eléctrico, un generador, un transformador de potencia, un transformador de instrumentos, un  
 actuador magnético, un dispositivo de movimiento lineal, un dispositivo inductor de polarización magnética o  
 45 similares.

En el caso del transformador de instrumentos, la capacidad de reducir pérdidas magnéticas permite, por ejemplo, un  
 aumento de rango lineal de esos dispositivos.

A continuación, se describen varios procedimientos para producir los imanes mencionados anteriormente.

50 En una realización más básica del procedimiento para producir un imán que tiene un cuerpo magnético que  
 comprende una primera región con primeras propiedades magnéticas y una segunda región con segundas  
 propiedades magnéticas que son diferentes a las primeras propiedades, el procedimiento comprende las siguientes  
 etapas:

- 55 a) formar una primera capa que pertenece a la primera región depositando una pluralidad de primeras  
 partes en polvo en una primera zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad  
 de primeras partes en polvo entre sí de manera que se formen granos magnéticos;  
 60 b) formar una segunda capa que pertenece a la segunda región depositando una pluralidad de  
 segundas partes en polvo en una segunda zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la  
 pluralidad de segundas partes en polvo entre sí de manera que se formen granos magnéticos;

c) formar una tercera capa que pertenece a la primera región en la parte superior de la primera capa en una dirección de construcción del imán depositando una pluralidad de primeras partes en polvo en una tercera zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de las primeras parte en polvo entre sí de manera que se forman granos magnéticos;

d) formar una cuarta capa que pertenece a la segunda región en la parte superior de la segunda capa en la dirección de construcción del imán depositando una pluralidad de segundas partes en polvo en una cuarta zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de segundas partes en polvo entre sí de manera que se forman granos magnéticos.

El término 'fusión' no debe abarcar una sinterización del cuello solamente tal como se conoce en procesos de sinterización por láser convencionales.

Dependiendo del dispositivo de construcción tridimensional realmente dedicado para llevar a cabo la formación del cuerpo magnético, así como de las propiedades deseadas del cuerpo magnético, el grosor de la primera capa, la segunda capa, la tercera capa y la cuarta capa se encuentra en el rango entre 20 y 200 micras.

Cuando sea necesario, la primera capa y la segunda capa están dispuestas una al lado de la otra respecto a la dirección de construcción del imán. Alternativamente, la primera capa y la segunda capa se encuentran una encima de la otra respecto a la dirección de construcción del imán.

El depósito de las primeras partes en polvo y el depósito de las segundas partes en polvo puede realizarse de manera económica por medio de un lecho de polvo. En caso de que el procedimiento de formación sea por sinterizado por descarga de plasma (SPS), se entiende que el término 'lecho de polvo' comprende todos los tipos de deposiciones de material, independientemente de cómo se forme en una matriz.

Puede lograrse una producción de imanes económicamente viable si la deposición de las primeras partes en polvo y la deposición de las segundas partes en polvo se realiza por medio de un primer cabezal de deposición de un dispositivo de construcción tridimensional dedicado. El término 'impresora 3D' se utiliza ocasionalmente para designar el dispositivo de construcción tridimensional.

Pueden lograrse buenos resultados de formación si la fusión se obtiene mediante fusión local de partículas en polvo de las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo mediante uno de un rayo láser, un haz de electrones, un haz de iones, un haz de plasma. Nuevamente, el término 'fusión' no debe abarcar una sinterización del cuello solamente, tal como se conoce en los procesos convencionales de sinterización por láser.

Resultó ventajoso en algunas aplicaciones que el lecho de polvo se calentara previamente antes de fusionar la pluralidad de las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo. El calentamiento previo podría ser particularmente beneficioso para todos estos procedimientos, incluyendo SPS y revestimiento (por ejemplo, revestimiento con láser), ya que el calentamiento previo es útil para controlar el tamaño de grano y la formación de fase, un requerimiento reducido de energía para fusión local, así como para reducir tensiones termomecánicas.

En el caso de SPS, la fusión se consigue aplicando una carga mecánica en las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo y pasando una corriente eléctrica elevada a través de las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo. En una realización de ejemplo, puede emplearse un molde que tenga las siguientes características. En primer lugar, un molde exterior que defina la periferia del cuerpo magnético. En segundo lugar, una pared de separación que delimite una sección radialmente interna de la cavidad del molde de una sección radialmente externa de la cavidad del molde según se ve en la dirección de construcción, de modo que se crea una sub-cavidad que presenta una sección transversal en forma de anillo. No es necesario que la sección transversal en forma de anillo sea de tipo circular. Son concebibles muchas formas poligonales. En tercer lugar, en la sección interna de la cavidad dentro de la pared de separación se llena una primera parte en polvo que comprende NdFeB. En cuarto lugar, en la sub-cavidad que tiene una sección transversal en forma de anillo se llena una segunda parte en polvo que comprende (Nd, Dy)FeB. En quinto lugar, se retira la pared de separación. A continuación, se pasa una corriente eléctrica elevada a través de las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo de manera que las partes en polvo no sólo se fusionan en un cuerpo sólido cada una, sino que también se fusionan entre sí en un único cuerpo magnético.

Alternativamente, es posible construir el cuerpo magnético en una matriz capa a capa, por ejemplo, de manera que una estructura de soporte inferior de la matriz pueda moverse en la dirección de construcción.

Si es necesario, el procedimiento de fabricación puede comprender, además, una etapa de exponer las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo o las primeras partes en polvo fusionadas y las segundas partes en

polvo a un campo magnético. Ese campo magnético externo puede estar presente antes y/o durante y/o después de la consolidación para afectar el proceso de nucleación/orientación de los granos magnéticos.

5 Para conferir al imán unas propiedades magnéticas todavía más avanzadas, el procedimiento de fabricación puede comprender, además, una etapa para disponer una capa eléctricamente aislante en una zona adicional predeterminada del imán a construir

- 10 a) entre la primera capa y la tercera capa; o  
 b) entre la segunda capa y la cuarta capa; o  
 c) entre la primera capa y la tercera capa, así como entre la segunda capa y la cuarta capa, o  
 d) entre la primera capa y la segunda capa; o  
 e) entre la tercera capa y la cuarta capa; o  
 f) en cualquier combinación de a) a e).

15 El término 'capa aislante' se emplea debido a la superficie relativamente grande respecto a la relación del grosor de la capa. La formación por capas del cuerpo magnético permite un ajuste personalizado de las propiedades de aislamiento, así como de las trayectorias magnéticas en un imán. Estas medidas pueden tomarse para suprimir o por lo menos obstaculizar/limitar las corrientes de Foucault de formación en un estado operativo del imán, en particular en una aplicación de imanes blandos.

20 En caso de que la capa eléctricamente aislante se extienda en la dirección de construcción, éstas pueden estar dispuestas de manera que se inserten con la primera a la cuarta capa adyacentes, de modo que todavía puedan obtenerse buenas propiedades mecánicas del cuerpo magnético.

25 Puede lograrse una manera eficiente y rápida de desechar el material para establecer la capa eléctricamente aislante si la etapa de disponer una capa eléctricamente aislante se realiza por medio de un segundo cabezal de deposición de un dispositivo de construcción tridimensional dedicado. El material para formar la capa eléctricamente aislante depositada por el segundo cabezal de deposición puede ser sólido (por ejemplo, un polvo), líquido o por deposición de vapor, o por recubrimiento iónico, por ejemplo.

30 En una realización preferida del procedimiento de fabricación, por lo menos una de la primera región y la segunda región tiene un grado de llenado de granos magnéticos por volumen determinado de por lo menos un 95 por ciento en volumen. De esta manera, pueden obtenerse imanes que presentan unas potentes propiedades magnéticas particulares.

35 Si es necesario, el procedimiento de fabricación puede tener una etapa adicional para disponer por lo menos una capa de terminación en una periferia de por lo menos una de la primera región y la segunda región.

40 Dependiendo de la finalidad prevista y de otras condiciones tales como campos magnéticos interferentes en un estado operativo del imán una vez integrado en un dispositivo eléctrico, la capa de terminación es eléctricamente conductora o eléctricamente aislante. Además, es posible aplicar primero una capa eléctricamente conductora y una capa eléctricamente aislante, por ejemplo, para protección contra la corrosión, sobre la capa eléctricamente conductora.

45 Breve descripción de los dibujos

La descripción hace referencia a los dibujos anexos, que se muestran esquemáticamente en

- 50 Figura 1 una visualización general del procedimiento para producir una primera realización básica de un imán de acuerdo con la presente invención;  
 Figura 2 una visualización microscópica de un procedimiento para producir el imán de la figura 1 que muestra la formación de granos magnéticos;  
 Figura 3 una visualización microscópica del procedimiento para producir una segunda realización de un imán de acuerdo con la presente invención. En este procedimiento, se forman granos magnéticos que son químicamente diferentes del resto de granos magnéticos, por ejemplo, por medio de dopaje y aleación;  
 55 Figura 4 una visualización microscópica del procedimiento para producir una tercera realización de un imán de acuerdo con la presente invención. En este procedimiento, se realiza una deposición local de diversos materiales para formar una capa aislante delgada entre capas adyacentes;  
 60 Figura 5 una morfología y microestructura de una cuarta realización de un imán de acuerdo con la presente invención que muestra un recorte de una capa que comprende granos magnéticos más grandes y columnares;

- Figura 6 una disposición general de una primera configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético;
- Figura 7 una disposición general de una segunda configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético;
- 5 Figura 8 una disposición general de una tercera configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético;
- Figura 9 una disposición general de una cuarta configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético;
- Figura 9a disposición general de una variación de la cuarta configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético;
- 10 Figura 10 una disposición general de una quinta configuración que tiene capas eléctricamente aislantes entre zonas de grano magnético del cuerpo magnético en una capa;
- Figura 11 un recorte ampliado a través de la capa a lo largo de la línea A-A de la figura 10;
- Figura 12 una visualización esquemática del procedimiento para producir una sexta realización de un imán de acuerdo con la presente invención;
- 15 Figura 13 una vista frontal de un elemento de núcleo magnético circular que forma una primera realización de un dispositivo eléctrico;
- Figura 14 una sección transversal esquemática a través de un motor eléctrico que forma una segunda realización de un dispositivo eléctrico; y
- 20 Figura 15 una vista ampliada de la zona B de la figura 14 que muestra un cuerpo de un imán permanente/duro.

En los dibujos, los elementos idénticos y los elementos de funciones idénticas reciben símbolos de referencia idénticos.

25 Formas de funcionar la invención

En la figura 1, un imán 1 que tiene un cuerpo magnético configurado en forma libre 10 se fabrica mediante la aplicación de una pluralidad de capas 2 dispuestas por capas una encima de la otra, de manera que la capa superior queda unida localmente por un haz de energía en una dirección de construcción Z a una capa contigua subyacente y adyacente por lo menos en cierta medida. Para soportar el cuerpo magnético 10 durante el proceso de fabricación se utiliza una sustancia en polvo 3. La sustancia en polvo no se une al imán 1 durante el proceso de fabricación.

30

El proceso de fabricación requiere una estructura de molde que tenga una base 4 con una pluralidad de elementos de enfriamiento y calentamiento 5 que puedan controlarse independientemente entre sí, de modo que pueda seleccionarse instantáneamente una primera temperatura superficial 6 en el punto en la dirección X-Y dependiendo del gradiente de temperatura requerido. Un rayo láser 7 convierte una capa 13 de una primera composición de polvo 8 que comprende elementos de tierras raras, así como hierro y boro en primeros granos magnéticos 9. Para un mejor control de la microestructura durante la solidificación del baño de fusión, se aplica un gradiente de temperatura específico de la aleación y la velocidad de enfriamiento y se mantiene constante durante todo el proceso de construcción. El gradiente de temperatura se aplica predominantemente en la dirección de construcción Z. En la solidificación del baño de fusión 16, la velocidad de enfriamiento se mantiene a un nivel constante durante todo el proceso de construcción. Las velocidades de enfriamiento se mantienen preferiblemente en valores típicamente superiores a 104 - 105 K/s. Esto se consigue controlando las temperaturas tanto de la capa de estructura de soporte 18 como de la capa de polvo superior del lecho de polvo 13 en la cámara de construcción. La capa de estructura de soporte 18 se enfría por debajo de temperatura ambiente o se calienta por encima de temperatura ambiente mediante unos elementos termoeléctricos del elemento de enfriamiento/calentamiento 5 o a través de un medio líquido adecuado. La capa de polvo superior 13 se calienta por encima de temperatura ambiente mediante unos calentadores ópticos radiantes 19 o cualquier otro procedimiento apropiado. En combinación con la variación y el control de los parámetros del rayo láser (por ejemplo, energía del rayo, tamaño de punto focal, tiempo de permanencia, velocidad en la dirección X-Y).

35

40

45

50

Aunque en esta sección se muestra el uso de un láser enfocado como fuente de energía, también puede utilizarse un haz de electrones como alternativa. En el caso de un rayo láser, el proceso se realiza bajo una atmósfera de gas inerte protectora (tal como argón, por ejemplo). En el caso de un haz de electrones, el proceso se realiza en vacío.

55

El RE es neodimio con aproximadamente un 30% en peso. La figura 1 muestra, junto con figura 2, que el grosor de la capa de la composición de polvo 8 del primer lecho de polvo 13 medido en la dirección Z y aplicada a través de un primer cabezal de deposición (no mostrado en las figuras 1 y 2, pero es similar a un segundo cabezal de deposición mostrado y explicado con referencia a las figuras 3 y 4 más adelante) corresponde a un grosor de capa 15 de una primera capa 2 producida por el número de granos magnéticos 9 de la misma capa, es decir, los granos magnéticos que tienen el mismo nivel de altura en la dirección de construcción Z (véase figura 4 para el grosor de la capa 15).

60

Aunque la primera composición de polvo 8 del primer lecho de polvo 13 se muestra en la figura 1 que tiene una mezcla de partículas de polvo globulares más grandes que presentan el mismo diámetro que el grosor de la capa 15, así como partículas de polvo más pequeñas que presentan un tamaño más pequeño, debe saberse que esta visualización de la primera composición de polvo 8 en la figura 1 y todas las figuras posteriores de esta aplicación es simplificada. Esa simplificación se realiza para ilustrar esquemáticamente el proceso de fusión de los granos magnéticos 9 y la formación de las capas 2 en el conjunto de fusión 16 paso a paso. En realidad, la primera composición de polvo 8 comprende una pluralidad de partículas de polvo no necesariamente globulares que tienen un tamaño de grano de polvo de aproximadamente 20-150  $\mu\text{m}$  y el lecho de polvo 13 tiene una densidad de empaque menor que la capa densificada de granos magnéticos 9. Expresado en otros términos, el grosor mínimo de los granos magnéticos 9 está correlacionado con el tamaño de partícula de la composición de polvo 8.

El rayo láser 7 emerge de un cabezal de impresión 12 que puede moverse por lo menos en la dirección XY y funde la pluralidad de las primeras partes en polvo proporcionadas por el primer cabezal de deposición entre sí en la dirección XY y Z, de manera que los primeros granos magnéticos 9 se forman en un baño de fusión 16. Tal como se desprende de la figura 2, se designa que los primeros granos magnéticos 9 tengan una dirección de magnetización que corresponda preferiblemente a una orientación magnética mostrada por flechas de doble punta 17 en cada uno de los primeros granos magnéticos 9.

Volviendo a la figura 1, la estructura de molde presenta, además, una capa de estructura de soporte 18 dispuesta entre la base 4 y el cuerpo magnético 10 una vez producido. Además, se disponen unos elementos calefactores tales como calefactores radiantes ópticos 19 para calentar previamente el lecho de polvo 13 antes de fusionar la pluralidad de las primeras partes en polvo entre sí por el láser 7.

La figura 2 muestra, además, un flujo de calor 20 mostrado como una flecha sombreada que se extiende desde el conjunto de fusión 16 hacia la base 4. El conjunto de fusión 16 tiene una velocidad de enfriamiento que se controla para que sea constante.

Debido a que hay presente una primera capa 2 que pertenece a una primera región que tiene primeras propiedades magnéticas debido a primeras partes en polvo, así como una segunda capa que pertenece a una segunda región que tiene segundas propiedades magnéticas debido a segundas partes en polvo que tienen propiedades magnéticas diferentes a las de la primera la región (no mostrado en las figuras 1 y 2) el cuerpo magnético 10 presenta dos propiedades magnéticas diferentes dentro de su contorno único.

El grado de llenado de los granos magnéticos respecto al volumen determinado es de un 95 por ciento en volumen, es decir, un 95% de la densidad teórica máxima. Los materiales procesados por este procedimiento de ejemplo presentan una microestructura densa debido a la fusión total de las partículas de polvo y la resolidificación del baño de fusión. Las densidades medidas están muy por encima de un 95%, casi siempre por encima de un 98% de la densidad teórica. La microestructura de los materiales procesados presenta una textura muy pronunciada con una orientación de grano en la dirección Z. La dimensión mínima de la orientación de grano en la dirección z está correlacionada con la dimensión del grosor de la capa de polvo. Para lograr granos muy largos orientados en la dirección Z, el movimiento del rayo láser se controla de manera que el patrón del láser coincida exactamente con el patrón de las capas inferiores.

El procedimiento de ejemplo descrito aquí tiene varias ventajas en comparación con el estado de la técnica. Permite la producción de imanes con geometrías complejas, que no pueden obtenerse con procedimientos conocidos, a un coste de fabricación mucho menor. Por consiguiente, permite unos diseños mejorados de dispositivos eléctricos (por ejemplo, motores, generadores, transformadores, etc.) respecto a un rendimiento máximo y una eficiencia energética óptima. El diseño del dispositivo puede optimizarse utilizando un software numérico para la simulación multifísica de los fenómenos magnéticos, eléctricos, térmicos, y mecánicos implicados. El resultado de este estudio de diseño numérico es un imán de forma óptima. Se realiza un modelo de software CAD para la forma óptima del imán. El imán se produce directamente a partir del modelo de software CAD a través del procedimiento de ejemplo de la presente descripción. Esto tiene la ventaja de un procesamiento rápido y rentable de un componente magnético final. En el caso de materiales de imanes permanentes a base de RE, la rentabilidad es mejor en comparación con las soluciones de la técnica anterior dado que pueden evitarse muchas etapas de procesamiento de metalurgia en polvo. Los materiales procesados mediante el procedimiento de ejemplo de la presente descripción tienen una pureza química sustancialmente mayor, ya que se reduce en gran medida el riesgo de captación de oxígeno realizando una etapa de procesamiento bajo argón (por ejemplo, solamente una). En el caso de materiales de imanes blandos, puede evitarse el complejo y costoso procedimiento de producción de láminas y su posterior montaje en un núcleo de imán, lo que conduce a una reducción sustancial de tiempo y coste de producción. Se obtienen otras ventajas importantes respecto a la microestructura y las propiedades de los imanes procesados. Como consecuencia de la altamente controlada orientación del grano, se consigue una textura anisotrópica del material magnético muy favorable. El eje de fácil magnetización de los cristales está correlacionado con la dirección

z principal o con la dirección X-Y del proceso de construcción. Por lo tanto, la textura anisotrópica obtenida da lugar a un rendimiento mejorado de los imanes.

Se obtiene una ventaja adicional para sistemas de aleaciones endurecibles por precipitación. Debido a la velocidad de enfriamiento controlada en todo el volumen de la construcción, se obtiene un estado de cristales mixtos sobresaturados muy homogéneo. Los átomos extraños se encuentran en una concentración elevada y distribuidos homogéneamente en la red huésped. Ésta es una condición previa óptima para llevar a cabo una etapa de tratamiento térmico por precipitación apropiada después del proceso de construcción. Por esto, se obtienen propiedades magnéticas muy ajustadas y mejoradas.

La realización del cuerpo magnético 21 que se muestra en figura 3 difiere de la primera realización del cuerpo magnético 10 que se muestra en la figura 2 en que no sólo tiene los primeros granos magnéticos 9 que pertenecen a una primera región 23, sino también los segundos granos magnéticos 22 que tienen propiedades magnéticas diferentes a los primeros granos 9 presentes en la misma capa 2 respecto a la dirección de construcción Z. Los segundos granos pertenecen a una segunda región 24 del cuerpo magnético 21. Las primeras partes en polvo de una primera composición de polvo 8 que forma el lecho de polvo 13 se depositan en la parte superior sobre una capa anterior 2 solidificada o en la capa de la estructura de soporte por medio de un primer cabezal de deposición nuevamente. La primera composición en polvo 8 comprende REFeB, donde RE es neodimio con aproximadamente un 30% en peso para formar los primeros granos magnéticos 9 que son químicamente los mismos que para formar los segundos granos 22. La diferencia de las propiedades magnéticas se consigue depositando una cantidad adecuada de una sustancia en polvo 25 formada por Disprosio, es decir, un dopante en la parte superior del lecho de polvo 13 sólo en esa zona que está designada para convertirse en la segunda región 24 una vez fusionada por el rayo láser 7. La deposición de la sustancia en polvo que forma un dopante 25 se realiza por medio de un segundo cabezal de deposición 26 que puede moverse por lo menos en la dirección XY, y a través del proceso de dopaje en el baño de fusión 16. De esa manera, pueden obtenerse granos magnéticos que tienen un 6% en peso de Dy.

El segundo cabezal de deposición 26 es móvil en la dirección X-Y y permite un trabajo de construcción secundario. El funcionamiento del segundo cabezal de deposición 26 se coordina con el funcionamiento del láser y con la aplicación de nuevas capas de polvo (por ejemplo, el trabajo de construcción principal para formar el lecho de polvo 13). El software, por ejemplo, controla tanto el trabajo de construcción principal como el secundario. El segundo cabezal de deposición 26 coloca material localmente, ya sea en la capa sólida 2 ya solidificada o en la capa de polvo 13, dependiendo de los requerimientos y en otra realización. En cualquier caso, el material depositado puede colocarse en cualquier zona deseada en la superficie de la construcción X-Y. La resolución de la deposición de material del cabezal de impresión (por ejemplo, el trabajo de construcción secundario) se encuentra por lo menos en el rango del tamaño de las partículas en polvo del trabajo de construcción principal. En una realización de ejemplo, la resolución local de la deposición de material del segundo cabezal de deposición es significativamente mayor que el tamaño de las partículas en polvo del trabajo de construcción principal. El grosor del material depositado en el trabajo de construcción secundario puede variarse de acuerdo con los requerimientos. Para materiales magnéticos, sólo pueden depositarse capas comparativamente delgadas en el rango de entre 0,1-5  $\mu\text{m}$ , por ejemplo. El segundo cabezal de deposición puede utilizar cualquier tecnología de deposición conocida. Se encontró utilizar, por ejemplo, un medio fluido para depositar el material en forma de gotitas. El medio fluido puede ser, por ejemplo, una dispersión coloidal de partículas sólidas en un medio líquido, un precursor inorgánico, una solución, una tinta o similar. En el caso de utilizar una dispersión, el tamaño de partícula es típicamente en el rango de 1  $\mu\text{m}$  o inferior.

En una realización de ejemplo, la temperatura de la capa de estructura de soporte (capa superior del trabajo de construcción principal) se mantiene a una temperatura elevada para garantizar una extracción muy rápida del medio de dispersión. Esto se consigue, por ejemplo, mediante los calefactores radiantes ópticos 19, que controlan la temperatura de la superficie 6. El cabezal de deposición puede depositar por lo menos un tipo de material. Sin embargo, si parece ser beneficioso para lograr las propiedades deseadas del objeto finalmente construido, el cabezal de deposición puede depositar diferentes materiales durante la etapa de construcción secundaria. Esto tiene la ventaja de que pueden introducirse diferentes materiales localmente en la microestructura de la etapa de construcción primaria. El procedimiento de la presente descripción abre un grado de libertad muy alto en el diseño 3D y la construcción de microestructuras de materiales de múltiples componentes. Por esto, es posible ajustar localmente las propiedades funcionales del objeto deseado en el nivel microestructural directamente desde el modelo CAD del objeto. En una realización de ejemplo adicional, pueden introducirse elementos de aleación, que reaccionen a nuevas fases con las partículas del trabajo de construcción principal durante la fusión y resolidificación del láser, o el elemento de aleación puede difundirse y segregarse en los límites de grano. La energía del láser y el tamaño del punto focal se ajustan para construir capas densas, que se han depositado en zonas de superficie de sustrato sólido, o para formar nuevas fases de aleación, que resultan de la deposición de material en el sustrato de polvo. En general, todos los conceptos metalúrgicos pueden aplicarse localmente a nivel microestructural. Debe considerarse especialmente la formación de fusión (cuando el rayo láser enfocado crea el baño de fusión), una solidificación rápida controlada (cuando el láser se mueve a otro punto), y la posibilidad de un tratamiento térmico después del proceso de construcción para aprovecharse plenamente del procedimiento de ejemplo de la presente

descripción. Por esto, propiedades funcionales tales como, por ejemplo, la conductividad eléctrica, la conductividad térmica, la dureza, la resistencia, la resistencia a la corrosión, el índice de refracción, la polarización de saturación magnética, la coercitividad magnética, la temperatura de Curie, y muchos más pueden ajustarse localmente a un nivel microestructural directamente desde un modelo CAD del objeto deseado.

5 Para el ejemplo de los materiales magnéticos, el trabajo de construcción secundario se utiliza para introducir elementos de aleación o dopaje en lugares del volumen del imán, donde se requieran. En una realización de ejemplo, se introduce un metal de tierras raras pesadas (por ejemplo, Dy) sólo en posiciones donde existen altos campos de desmagnetización. Esto tiene la ventaja de minimizar la cantidad total de Dy necesaria. Los imanes  
10 producidos de esta manera son sustancialmente más económicos debido a la significativamente menor cantidad de Dy consumido para lograr el mismo rendimiento y estabilidad de temperatura en la aplicación final del imán. Pueden introducirse otros elementos de aleación para mejorar localmente la resistencia mecánica, la tenacidad y la resistencia a la corrosión en zonas donde sea necesario para la aplicación final.

15 La realización adicional de un cuerpo magnético 27 mostrada en la figura 4 se diferencia de la primera realización 10 mostrada en la figura 2 en que hay una primera capa eléctricamente aislante 28, una segunda capa eléctricamente aislante 29 y una tercera capa eléctricamente aislante 30 dispuestas entre las capas subsiguientes y en la parte superior de la capa superior de granos magnéticos producidos al final según se ve en la dirección de construcción Z.

20 El material requerido para construir las capas de aislamiento 28, 29, 30 se deposita sobre la parte superior de primeros granos magnéticos 9 por medio de un cabezal de deposición adicional 31 que dispensa una parte de polímero de polisilazano líquido sobre la parte superior de los primeros granos 9, una vez que se solidifican, para formar un precursor de una cerámica. Tras la reticulación del polímero de polisilazano líquido, éste se descompone y el polisilazano se convierte en una capa cerámica con medios conocidos. Dependiendo de los requisitos, el grosor  
25 32 de la primera capa eléctricamente aislante 28, una segunda capa eléctricamente aislante 29 y una tercera capa eléctricamente aislante 30 se encuentra en un intervalo de 0,1  $\mu\text{m}$  hasta aproximadamente 1  $\mu\text{m}$ .

Expresado en términos más generales que no están limitados a la realización mostrada en la figura 3, puede ser muy ventajoso que los materiales magnéticos introduzcan capas delgadas (típicamente 0,1 - 5  $\mu\text{m}$ ) de un material  
30 eléctricamente aislante, preferiblemente una cerámica (por ejemplo, óxido, nitruro, carburo, etc.). De este modo, las pérdidas por corrientes de Foucault pueden evitarse eficazmente y la eficiencia del dispositivo eléctrico se mejora significativamente. En zonas de volumen, donde se encontraría presente una alta concentración de corrientes de Foucault inducidas, la densidad de las capas de aislamiento aumenta introduciendo más capas en la misma zona de volumen local. Con esto, las corrientes de Foucault se suprimen de manera muy efectiva en las zonas de volumen  
35 solamente donde se necesita. En consecuencia, se introduce un mínimo de material no magnético, que maximiza el volumen de material magnético activo en el volumen total del imán. Ésta es una ventaja importante para los materiales magnéticos blandos y duros. En el caso de materiales magnéticos blandos, la presente descripción permite la producción directa de núcleos magnéticos con una arquitectura de capa funcionalmente graduada. Se trata de una técnica mucho más rápida, menos elaborada, y más económica en comparación con el estado de la  
40 técnica. Finalmente, la presente descripción permite una mayor eficiencia de dispositivos, un rendimiento magnético mejorado, un coste de producción reducido, y similares.

Se hace referencia de nuevo, a continuación, a la morfología y la microestructura de una cuarta realización de un imán de acuerdo con la presente invención mostrada en figura 5. El imán blando mostrado en la figura 5 muestra un  
45 primer plano de una sola capa 2 formada en la dirección de construcción Z que tiene un grosor de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$ . En esta realización de un procedimiento de fabricación, la primera composición en polvo se utilizó tanto para formar los primeros granos magnéticos 9 como los segundos granos magnéticos 22.

En el lado izquierdo de la figura 5 puede apreciarse que los primeros granos magnéticos 9 son en su mayoría más grandes y columnares en la primera región 23, mientras que en su mayoría son cuboides con una sección transversal bastante cuadrática en la dirección XZ en la segunda región 24. En esta realización de un procedimiento de fabricación, los diferentes tamaños de grano y orientaciones de los granos magnéticos han sido causados por diferentes parámetros de impresión aplicados a las diferentes regiones 23, 24. Los primeros granos magnéticos 9  
50 columnares contribuyen a una menor coercitividad y, por lo tanto, a una mayor permeabilidad, mientras que los granos más pequeños en la segunda región 24 tienen una menor permeabilidad.

En una variación de este procedimiento, no es necesario que los segundos granos magnéticos 22 se produzcan por una variación de los parámetros de impresión, sino por un lecho de polvo dedicado basado en una segunda composición de polvo que la utilizada para formar los primeros granos magnéticos 9.  
60

La disposición general de una primera configuración de una primera región 23 y de una segunda región 24 en el cuerpo magnético 10 mostrado en figura 6 revela que el cuerpo magnético 10 presenta una forma general cuboide y tiene dos superficies laterales opuestas que forman regiones de borde 33. La segunda región 24 está dispuesta a lo

largo de esas regiones de borde 33. Según se aprecia en la dirección de construcción Z, las segundas regiones 24 presentan una sección transversal en forma de cuña. La primera región 23 queda situada entre las dos segundas regiones 24. La orientación magnética de los granos se indica nuevamente mediante una flecha de doble punta 17.

5 La disposición general de una segunda configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético 10 mostrada en figura 7 revela que el cuerpo magnético 10 tiene una forma general cuboide y tiene dos superficies opuestas que están delimitadas en la dirección Y-Z por dos esquinas o bordes 34, cada una. En comparación con la realización mostrada en la figura 6, las segundas regiones 24 de esta realización se extienden sólo a lo largo de estas esquinas o bordes 34 y no sobre todas las regiones extremas 33.

10 La disposición general de una tercera configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético 10 mostrada en figura 8 revela que el cuerpo magnético 10 es de forma general cuboide. En esta realización, el cuerpo magnético 10 presenta una configuración de tipo sándwich en la que un bloque que forma la primera región 23 está dispuesto entre dos bloques adyacentes que forman las segundas regiones 24 según se ve en la dirección de construcción Z. Cada uno de esos bloques comprende una pluralidad de capas 2.

15 La disposición general de una cuarta configuración de una primera región y de una segunda región en el cuerpo magnético 10 mostrada en figura 9 revela que el cuerpo magnético 10 es de forma general cuboide. En esta realización, el cuerpo magnético 10 tiene un diseño más complejo donde una primera región con forma cuboide 23 que tiene unas dimensiones exteriores más pequeñas que el cuerpo magnético 10 está situada completamente dentro de la segunda región 24. Expresado en otros términos, la primera región 23 está situada completamente en el interior del cuerpo magnético 10, mientras que toda la periferia del cuerpo magnético 10 está formada por la segunda región 24.

25 Respecto a figura 9a, se muestra y se explica una variación del cuerpo magnético de acuerdo con la figura 9. La primera región 23 se extiende en la dirección de construcción Z de manera que golpea una superficie inferior 35 y una superficie superior 36 del cuerpo magnético. De nuevo, el cuerpo magnético 10 presenta sustancialmente una forma general prismática que tiene una sección transversal rectangular (en el plano X-Y) con una longitud del cuerpo 53 y una anchura del cuerpo 54 según se ve desde una dirección de construcción Z en la que se extiende un grosor del cuerpo 55. La segunda región 24 es sustancialmente tubular y tiene una sección transversal en forma de anillo según se ve desde la dirección en la que se extiende el grosor del cuerpo 55, en el que un contorno exterior de la sección transversal en forma de anillo coincide con un contorno exterior de la sección transversal rectangular (ambos extendiéndose en la dirección XY). El grosor del anillo más pequeño 56 no se desvía más de un 20% del grosor 55 del cuerpo magnético 10.

35 A continuación, se explica una disposición general de una quinta configuración de un cuerpo magnético 10 que tiene varias capas eléctricamente aislantes entre zonas de grano magnético lateralmente adyacentes junto con la figura 10 y la figura 11. La porción de un cuerpo magnético 10 que se ilustra en la figura 10 muestra una parte de una capa única 2. El cuerpo magnético 10 tiene una pluralidad de capas eléctricamente aislantes internas 37 que se extienden en la dirección de la dirección de construcción Z y en la dirección X o en la dirección Y.

40 Aunque es posible que el cuerpo magnético 10 tenga no sólo primeros granos magnéticos 9 sino también diferentes segundos granos magnéticos, el aspecto de las capas aislantes verticales 37 se explicará por simplicidad mediante una realización que tiene sólo primeros granos magnéticos.

45 El primer plano que se muestra en la figura 11 a través de la capa a lo largo de la línea A-A de la figura 10 muestra que se dispone una capa eléctricamente aislante que se extiende verticalmente 37 entre dos segundas regiones contiguas 24 que tienen primeros granos magnéticos 9, cada una. La primera composición en polvo para formar los primeros granos magnéticos comprende REFeB, RE es neodimio con aproximadamente un 30% en peso. En cuanto al tamaño de partícula, véase la figura 2.

50 Los terceros granos 38 de la capa eléctricamente aislante 37 están formados de la misma primera composición en polvo que los primeros granos 9, pero están fuertemente dopados con hierro (por ejemplo, un 10% en peso de hierro) depositado en el lecho de polvo antes del proceso de fusión con el haz láser 7 similar a lo como se describe en la figura 3. Como resultado de este tratamiento, las propiedades eléctricas y magnéticas de los terceros granos 38 se han destruido o por lo menos han disminuido considerablemente en comparación con los primeros granos magnéticos 9, de modo que se consigue el efecto de aislamiento eléctrico deseado en la dirección XZ y en la dirección YZ.

60 Sin embargo, la rigidez mecánica del cuerpo magnético en la zona de la capa eléctricamente aislante 37 no se ve afectada en exceso, dado que todavía existe una unión metálica de los terceros granos 38 a los primeros granos 9 en las direcciones laterales X e Y.



La dirección de magnetización y la dirección de perturbación de flujo se extienden en la dirección de construcción Z.

A continuación, se explica una visualización esquemática del procedimiento para producir una sexta realización de un imán de acuerdo con la presente invención respecto a figura 12. Contrariamente a la realización explicada en la figura 1 y la figura 2, este procedimiento emplea una estructura de construcción que no se basa en un sistema de coordenadas cartesiano común que tiene direcciones XY y Z sino en una estructura de construcción a modo de tambor, o una estructura de construcción más arbitraria que tiene una superficie envolvente curva que gira paso a paso alrededor de un eje (no mostrado) en una dirección W. No obstante, la dirección de construcción Z, así como la orientación de grano 17 que tiene una textura microestructural se extiende desde abajo hacia arriba, es decir, desde una zona radialmente interna hacia una zona radialmente externa.

La capa 2 se crea actualmente en la parte superior de un sustrato 40 (que bien podría estar formado por una capa 2 producida anteriormente que tenga granos magnéticos 9 idénticos a la capa radialmente externa 2). En este procedimiento de producción, también denominado revestimiento láser, una deposición de metal mediante láser o tecnología de polvo soplado, el lecho de polvo no se deposita sobre la capa inferior solidificada 2 o el sustrato 40 (por ejemplo, formado en una realización por un núcleo laminado) muy por delante de la fusión real en un baño de fusión 16 producido por el rayo láser 7, sino paso a paso por un gas portador que transporta la primera composición de polvo 8 al conjunto de fusión 16. La deposición de la primera composición de polvo 8, así como la fuente de energía para el rayo láser 7 se realiza mediante un cabezal de impresión combinado 41. El cabezal de impresión combinado tiene un cabezal de impresión 12 y una boquilla anular hueca 42 alrededor del cabezal de impresión 12 para formar un embudo. Los granos magnéticos solidificados tienen una textura microestructurada que se extiende en la dirección Z. Una corriente de gas adecuada 43 de argón, por ejemplo, que comprende una cantidad predefinida de la primera composición en polvo 8 como la mencionada en el contexto de la figura 2 es dirigida coaxialmente hacia el rayo láser 7 a través de la boquilla 42 al baño de fusión 16 o al lugar del baño de fusión que se formará a continuación.

Como opción de este procedimiento de fabricación, puede disponerse una bobina eléctrica 44 en un extremo de la boquilla 42 para exponer la primera composición de polvo 8 a un campo magnético externo de modo que pueda lograrse una orientación de partículas y cristales durante la deposición. Esta medida no se limita a esta realización y es aplicable a superficies y estructuras de deposición más complejas.

A continuación, se muestra y se explica una primera realización de un dispositivo eléctrico 45 con referencia a figura 13. La figura 13 muestra un elemento central magnético en forma de anillo 46 que tiene tanto una primera región 23 que presenta propiedades magnéticas blandas, como una segunda región 24 que presenta propiedades magnéticas duras. La nueva técnica de fabricación permite producir el cuerpo magnético 10 en capas de manera que tanto la primera parte magnética blanda como el cuerpo magnético duro se producen en el mismo proceso de fabricación. Dicho cuerpo magnético 10 puede emplearse en la disposición de un reactor para una corriente alterna tal como se describe en EP2104115A1, por ejemplo.

Con referencia a figura 14 y la figura 15, se muestra y se explica una segunda realización de un dispositivo eléctrico 45. La figura 14 muestra una sección transversal a través de un rotor 47 de un motor eléctrico. El rotor 47 comprende una sección de soporte 48 con una pluralidad de ranuras 49 que se extienden en la dirección del eje giratorio que tiene propiedades magnéticas blandas. Dicho diseño de rotor se conoce del denominado Synrel o tipo Syn-Rel. Las ranuras 49 están diseñadas para recibir imanes permanentes 50 que tienen una sección transversal coincidente. Excepto en la zona "B", los imanes permanentes 50 no se han mostrado en la figura 14 para asegurar que las partes y geometrías puedan reconocerse mejor. La figura 14 no será un ejemplo completo que cubra todas las demandas y enfoques de la composición del material a lo largo de las partes de la geometría. También pueden considerarse variaciones con múltiples capas de imanes, diferentes orientaciones y formas de imanes.

La figura 14 describe, además, que la sección portadora de imán blando global 48 tiene una primera región policristalina 23 para formar una región de baja coercitividad en un estado operativo del motor eléctrico. Las pérdidas y la conductividad no importan en esta primera región 23. El tamaño de grano de los granos magnéticos que comprenden hierro y silicón (Fe-Si), o un Fe-Co, o Fe-Ni, o composiciones magnéticas blandas similares en esta región en el núcleo del componente es menor de aproximadamente 20 [nm] o superior a 50 [µm]. No es necesaria una laminación con capas eléctricamente aislantes (28, 29, 30) tal como se explica en el contexto de la realización en la figura 4.

La sección portadora 48 tiene, además, una zona periférica o una zona de reborde 51 respecto a un eje de rotación 52 del rotor 47. Dicho reborde 51 está sometido tensiones mecánicas elevadas, así como a altas variaciones de flujo magnético. La zona de reborde corresponde a una región de coercitividad relativamente baja pero alta permeabilidad, pero requiere una gestión de pérdidas con estructuras policristalinas laminadas o microestructuras que sean nanocristalinas o amorfas. Las estructuras policristalinas laminadas se forman tal como se explica en el contexto de la figura 4 donde se describe la producción de capas eléctricamente aislantes 28, 29, 30. El tamaño de

grano de los granos magnéticos en esta zona de reborde 51 es inferior a aproximadamente 20 [nm] (nanocristalino o amorfo) o superior a 50 [µm] (con laminación). Por lo tanto, la zona de reborde 51 se califica como una primera región 23 adicional en el contexto de esta descripción. Tener la estructura de grano mencionada anteriormente en la zona de reborde 51 es, además, ventajoso ya que contribuye a una alta rigidez mecánica que es muy deseada en esa zona comparativamente pequeña en la periferia del cuerpo magnético del rotor 47.

La sección de soporte 48 tiene, además, unas zonas intermedias situadas entre ranuras contiguas 49, así como entre extremos periféricos de las ranuras 49 y la superficie envolvente del rotor 47 formando los denominados puentes.

Se requiere un puente para sujetar el imán permanente 50 y una estructura de polo y sujetarlo al rotor 47. Por lo tanto, por consideraciones mecánicas, se desea que el puente sea lo más grueso posible. El inconveniente es un flujo magnético de puente más grueso para no cruzar el espacio de aire de la máquina eléctrica y, por lo tanto, aumenta los costes generales de la máquina, ya que se requiere un imán permanente mayor para compensar este inconveniente. Es necesario mencionar que las demandas en el lado magnético blando aquí son independientes de si hay imanes duros 50 colocados en el rotor 47 de la máquina o no. Si se utilizan imanes duros 50, los puentes tendrían que ser más gruesos que en las aplicaciones donde no hay imanes duros. Esto se debe al aumento de las fuerzas centrífugas. Sin embargo, las demandas y deseos globales generales se mantendrán para los imanes blandos.

Volviendo ahora a la realización de la figura 14, una parte de esta zona intermedia está situada en la base de la forma en V formada por las ranuras 49, cuya zona intermedia es la más cercana al eje de rotación 52, y existe la necesidad de una alta coercitividad y una baja permeabilidad. Por consiguiente, el tamaño de grano de los granos magnéticos en esta zona se selecciona en un rango de entre aproximadamente 100 nm y aproximadamente 1 µm. Por lo tanto, esa zona intermedia se califica perfectamente como una segunda región 24 en el contexto de la presente descripción. Como resultado, los procedimientos de producción de imanes mencionados anteriormente tratan el problema actual de que las máquinas más grandes de tipo Synrel no son factibles dado que requerirían un mayor número de polos y, por lo tanto, superarían las limitaciones estructurales conocidas debido al aumento de los anchos de puente requeridos para soportar mayores fuerzas centrífugas y la consiguiente reducción de anisotropía magnética. Contrariamente a esto, el presente procedimiento permite construir máquinas Synrel más grandes ahora, ya que constituye una oportunidad para construir puentes suficientemente fuertes. Debido a que no hay una reducción de la anisotropía o incluso un aumento de la anisotropía, pueden obtenerse unas mayores relaciones de notabilidad del motor eléctrico.

En la figura 15 se da un primer plano del imán duro o permanente 50 en la sección "B" de la figura 14. La sección transversal alargada del imán permanente 50 se produce de manera similar a la realización del cuerpo magnético descrito respecto a la figura 8. Sin embargo, en la presente realización de imán duro, las zonas para cumplir con los requisitos de alta coercitividad están situadas en los extremos opuestos, es decir, los extremos distales 24 del cuerpo magnético 50 respecto a una primera región central, es decir, proximal, 23, que tiene unos requisitos de coercitividad comparativamente bajos.

#### Lista de símbolos de referencia

1	imán
2	capa
3	sustancia en polvo
4	base
5	elemento de enfriamiento/calentamiento
6	primera temperatura superficial
7	rayo laser
8	primera composición en polvo
9	primeros granos magnéticos
10, 21, 27, 39, 47, 50	cuerpo magnético
12	cabezal de impresión
13	lecho de polvo/capa de composición en polvo
15	grosor de la capa
16	baño de fusión
17	orientación de grano
18	capa de estructura de soporte
19	calefactores ópticos radiantes
20	flujo de calor
22	segundos granos magnéticos
23	primera región (baja coercitividad)

	24	segunda región (alta coercitividad)
	25	sustancia en polvo/tinta/dopante
	26	segundo cabezal de deposición
	28	primera capa eléctricamente aislante
5	29	segunda capa eléctricamente aislante
	30	tercera capa eléctricamente aislante
	31	cabezal de deposición adicional
	32	grosor de la capa aislante
	33	región de borde
10	34	región de esquina
	35	superficie inferior
	36	superficie superior
	37	capa eléctricamente aislante
	38	terceros granos
15	40	sustrato
	41	cabezal de impresión combinado
	42	boquilla
	43	corriente de gas
	44	bobina eléctrica
20	45	dispositivo eléctrico
	46	elemento de núcleo magnético
	47	rotor de un motor eléctrico
	48	sección portadora
	49	ranuras
25	50	cuerpo de imán permanente
	51	zona de reborde
	52	eje de rotación
	53	longitud del cuerpo
	54	anchura del cuerpo
30	55	grosor del cuerpo
	56	grosor del anillo más pequeño

## REIVINDICACIONES

1. Imán (1) que tiene un cuerpo magnético de una sola pieza (10, 21, 27, 39, 47, 50) que comprende una primera región (23) con primeras propiedades magnéticas,  
 5 una segunda región (24) con segundas propiedades magnéticas que son diferentes de las primeras propiedades, en el que la primera región (23) tiene por lo menos uno de un valor de coercitividad y remanencia que es diferente del valor de la segunda región (24),  
 y en el que la posición de la primera región (23) y la segunda región (24) dentro del cuerpo magnético (10, 21, 27, 39, 47, 50) es predeterminable libremente, y en el que la primera región (23) tiene una microestructura diferente de  
 10 la segunda región (24),  
 caracterizado por el hecho de que un tamaño promedio de granos magnéticos (9) en la primera región es mayor que un tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región.
2. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región es por lo menos un 20% mayor que el tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región.
3. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el tamaño promedio de granos magnéticos en la primera región es por lo menos un 50% mayor que el tamaño promedio de granos magnéticos en la segunda región, en el que preferiblemente los granos magnéticos promedio en la segunda región tienen una relación entre una dimensión mayor relativa a su centro de gravedad respecto a una dimensión menor relativa al centro de gravedad de por lo menos 2:1.
4. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la composición química de la primera región (23) difiere de la composición química de la segunda región (24).
5. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la segunda región (24) es por lo menos una de una región de borde (33) y una región de esquina (34) del cuerpo magnético (10), y en el que una profundidad de la segunda región (24) que se extiende perpendicularmente a una superficie de por lo menos una de una región de borde (33) y una región de esquina (34) del cuerpo magnético (10) es por lo menos 1 mm, en realizaciones por lo menos 3 mm, y todavía en otras realizaciones por lo menos 8 mm.
6. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la segunda región (24) es por lo menos una de una región de borde (33) y una región de esquina (34) del cuerpo magnético (10), y en el que el cuerpo magnético (10) presenta sustancialmente una forma global prismática que tiene una sección transversal rectangular con una longitud de cuerpo (53) y una anchura de cuerpo (54) según se ve desde una dirección de construcción (Z) en la cual se extiende un grosor de cuerpo (55), en el que la segunda región (24) es sustancialmente tubular y tiene una sección transversal en forma de anillo según se ve desde la dirección en la que se extiende el grosor del cuerpo (55), en el que un contorno exterior de la sección transversal en forma de anillo coincide con un contorno exterior de la sección transversal rectangular.
7. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que por lo menos una de la primera región (23) y la segunda región (24) comprende una capa eléctricamente aislante (28, 29, 30) dentro de por lo menos dos capas internas adyacentes (2) de la primera región (23) y/o la segunda región (24), respectivamente.
8. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el cuerpo magnético se produce por fusión selectiva con láser, por fusión con haz de electrones, por sinterización por descarga de plasma, por revestimiento de láser, por revestimiento de polvo de plasma o por pulverización térmica.
9. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la primera región (23) comprende un imán duro a base de un elemento de un primer grupo, comprendiendo el primer grupo una de las composiciones a) a g), mientras que la composición
- a) contiene aluminio, níquel y cobalto;
  - b) contiene samario y cobalto;
  - c) contiene samario y hierro;
  - d) contiene samario, hierro y nitrógeno;
  - e) contiene hierro y nitrógeno;
  - f) contiene manganeso, aluminio y carbono;
  - g) contiene manganeso, estaño y cobalto;
  - h) contiene manganeso y bismuto;
  - g) contiene ferrita dura;
  - h) contiene RE, hierro y boro;

i) contiene RE y hierro y carbono.

- 5 10. Imán de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que la segunda región (24) contiene un imán duro a base de un elemento de un segundo grupo, mientras que dicho segundo grupo comprende todos los elementos del primer grupo que están ausentes en la primera región.
- 10 11. Imán de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que la primera región (23) comprende una composición con un primer elemento de RE, hierro y boro, en el que el primer elemento de RE es un elemento de tierras raras de la serie de lantánidos, y en el que la segunda región (24) comprende una composición con un segundo elemento de RE, hierro y boro, en el que el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras de la serie de lantánidos que está ausente en el primer elemento, en el que preferiblemente el primer elemento de RE comprende por lo menos uno de cerio y neodimio.
- 15 12. Imán de acuerdo con la reivindicación 9, caracterizado por el hecho de que la primera región (23) comprende un imán duro a base de un elemento del primer grupo formado por la composición que comprende RE, hierro y boro, y en el que la segunda región (24) comprende un imán duro a base del mismo elemento del primer grupo que la primera región (23), y en el que un porcentaje en peso de RE en la segunda región (24) es por lo menos un 20% mayor que el porcentaje en peso de RE en la primera región (23).
- 20 13. Imán de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, caracterizado por el hecho de que el tamaño de grano magnético promedio de la segunda región (24) es inferior a 4 micras.
- 25 14. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el tamaño de grano magnético promedio de la primera región (23) es inferior a 20 nanómetros o superior a 50 micras.
- 30 15. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que por lo menos una de la primera región (23) y la segunda región (24) comprenden una capa de terminación en una periferia del cuerpo magnético, en el que preferiblemente la capa de terminación o una capa de terminación adicional es eléctricamente aislante.
- 35 16. Imán de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el cuerpo magnético tiene una estructura que es por lo menos una de una microestructura policristalina, una microestructura amorfa y una microestructura nanocristalina, en el que preferiblemente la primera región tiene una coercitividad de menos de 1 kA/m o una coercitividad de más de 1 kA/m, pero menos de 10 kA/m, y en el que la segunda región tiene una coercitividad de más de 10 kA/m.
- 40 17. Imán de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por el hecho de que el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras pesadas (HRE), preferiblemente por lo menos uno de Dy y Tb.
- 45 18. Dispositivo eléctrico (45) que comprende por lo menos un imán (1) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17.
- 50 19. Procedimiento para producir un imán de una pieza que tiene un cuerpo magnético que comprende una primera región (23) con primeras propiedades magnéticas y una segunda región (24) con segundas propiedades magnéticas que son diferentes a las primeras propiedades, en el que la primera región (23) tiene por lo menos uno de un valor de coercitividad y remanencia que es diferente del valor de la segunda región (24), y en el que la primera región (23) tiene una microestructura diferente a la segunda región (24), y en el que un tamaño promedio de los granos magnéticos (9) en la primera región (23) es mayor que el tamaño promedio de los granos magnéticos en la segunda región (24), comprendiendo el procedimiento las siguientes etapas:
- 55 a) formar una primera capa (2) que pertenece a la primera región (23) depositando una pluralidad de primeras partes en polvo (8) en una primera zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de primeras partes en polvo (8) entre sí de manera que se forman granos magnéticos;
- b) formar una segunda capa (2) que pertenece a la segunda región (24) depositando una pluralidad de segundas partes en polvo en una segunda zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de segundas partes en polvo entre sí de manera que se forman granos magnéticos;
- 60 c) formar una tercera capa que pertenece a la primera región en la parte superior de la primera capa en una dirección de construcción del imán depositando una pluralidad de primeras partes en polvo en una tercera zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de las primeras partes en polvo entre sí de manera que se forman granos magnéticos;
- d) formar una cuarta capa que pertenece a la segunda región en la parte superior de la segunda capa en la dirección de construcción del imán depositando una pluralidad de segundas partes en polvo en una cuarta zona predeterminada del imán a construir, y fusionando la pluralidad de segundas partes en polvo entre sí de manera que se forman granos magnéticos.

- 5 20. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 19, caracterizado por el hecho de que la fusión se consigue aplicando una carga mecánica sobre las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo y pasando una corriente eléctrica elevada a través de las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo.
21. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 20, caracterizado por el hecho de que comprende, además, una etapa de exponer las primeras partes en polvo y las segundas partes en polvo o las primeras partes en polvo fusionadas y las segundas partes en polvo a un campo magnético.
- 10 22. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 20, caracterizado por el hecho de que comprende, además, una etapa de disponer una capa eléctricamente aislante (28, 29, 30, 37) en una zona adicional predeterminada del imán a construir
- 15 a) entre la primera capa y la tercera capa; o  
b) entre la segunda capa y la cuarta capa; o  
c) entre la primera capa y la tercera capa, así como entre la segunda capa y la cuarta capa, o  
d) entre la primera capa y la segunda capa; o  
e) entre la tercera capa y la cuarta capa; o  
20 f) en cualquier combinación de a) a e).
23. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 19, caracterizado por el hecho de que la primera región (23) comprende una composición con un primer elemento de RE, hierro y boro, en el que el primer elemento de RE es un elemento de tierras raras de la serie de lantánidos, y en el que la segunda región (24) comprende una composición con un segundo elemento de RE, hierro y boro, en el que el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras de la serie de lantánidos que está ausente en el primer elemento, en el que preferiblemente el segundo elemento de RE comprende por lo menos un elemento de tierras raras pesadas (HRE), preferiblemente por lo menos uno de Dy y Tb.
- 25 24. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 19 a 23, caracterizado por el hecho de que el cuerpo magnético se produce mediante sinterización por descarga de plasma.
- 30

Fig. 1

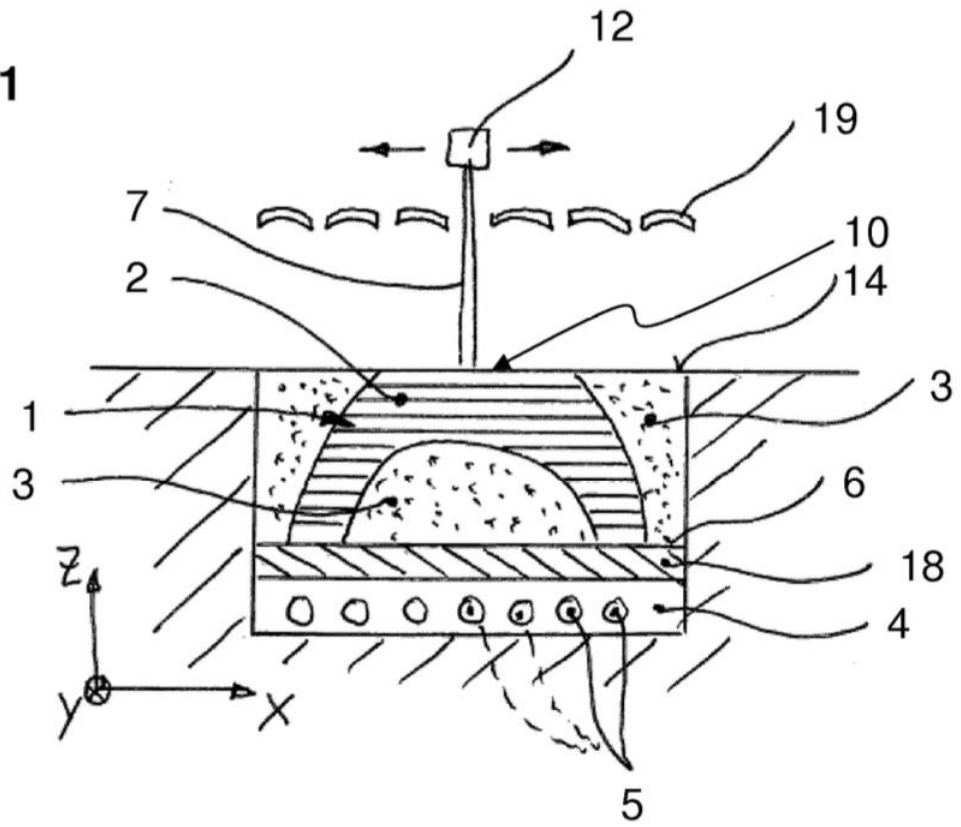


Fig. 2

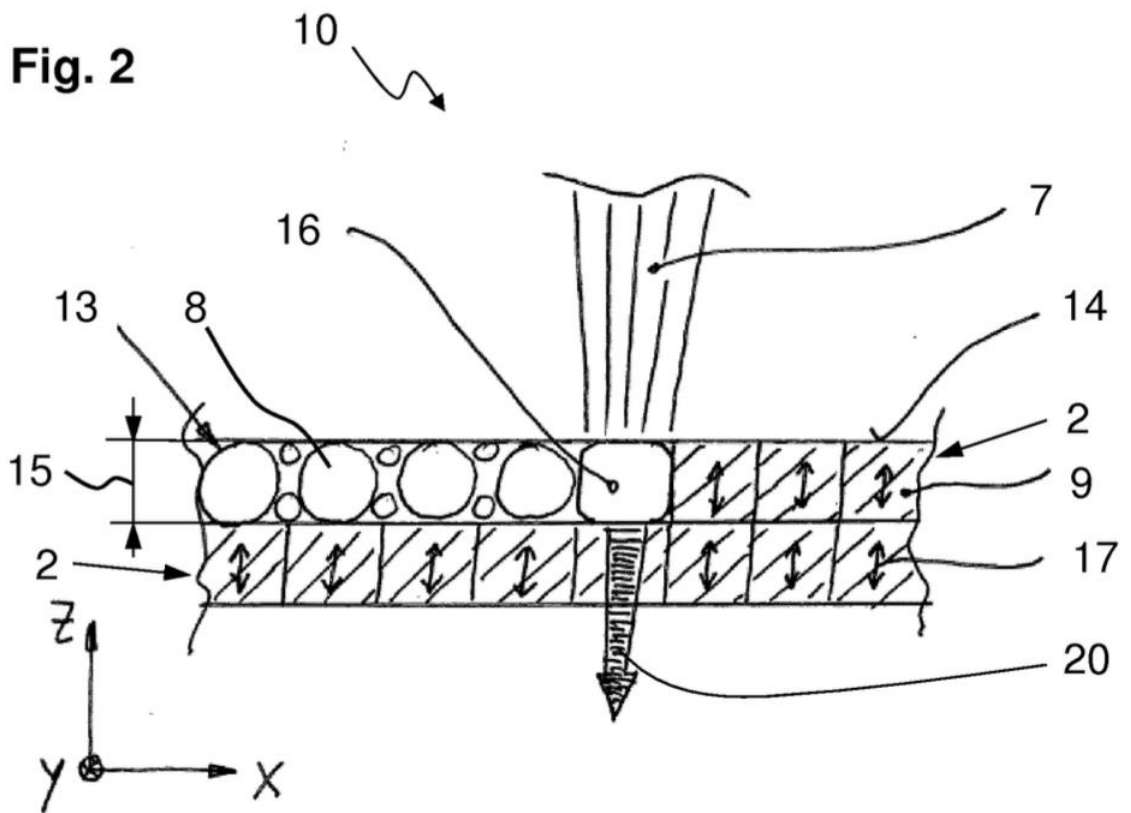


Fig. 3

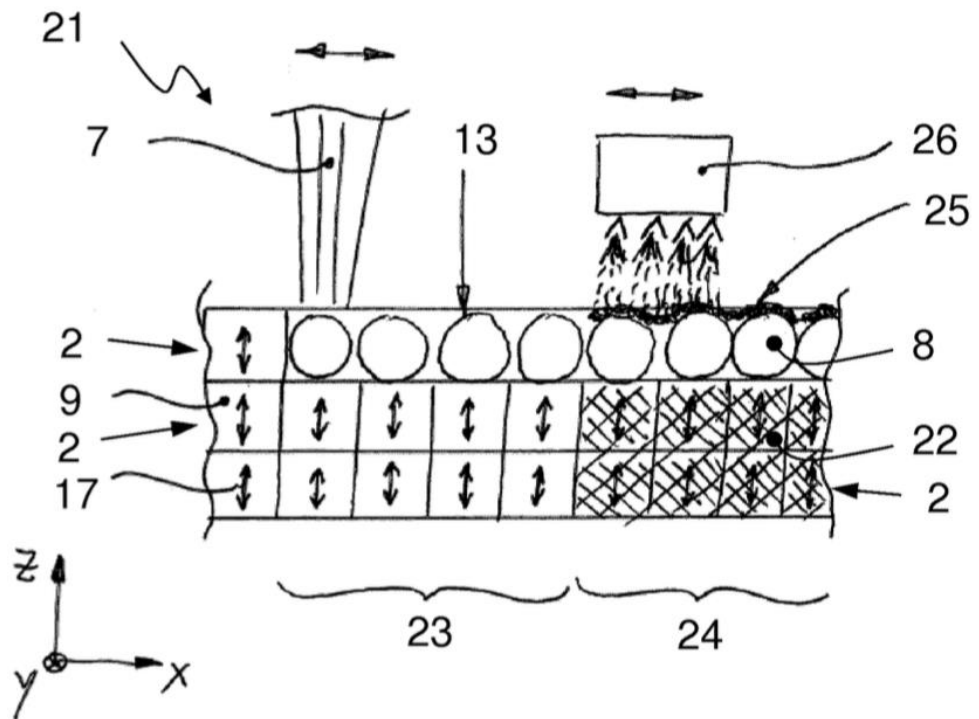
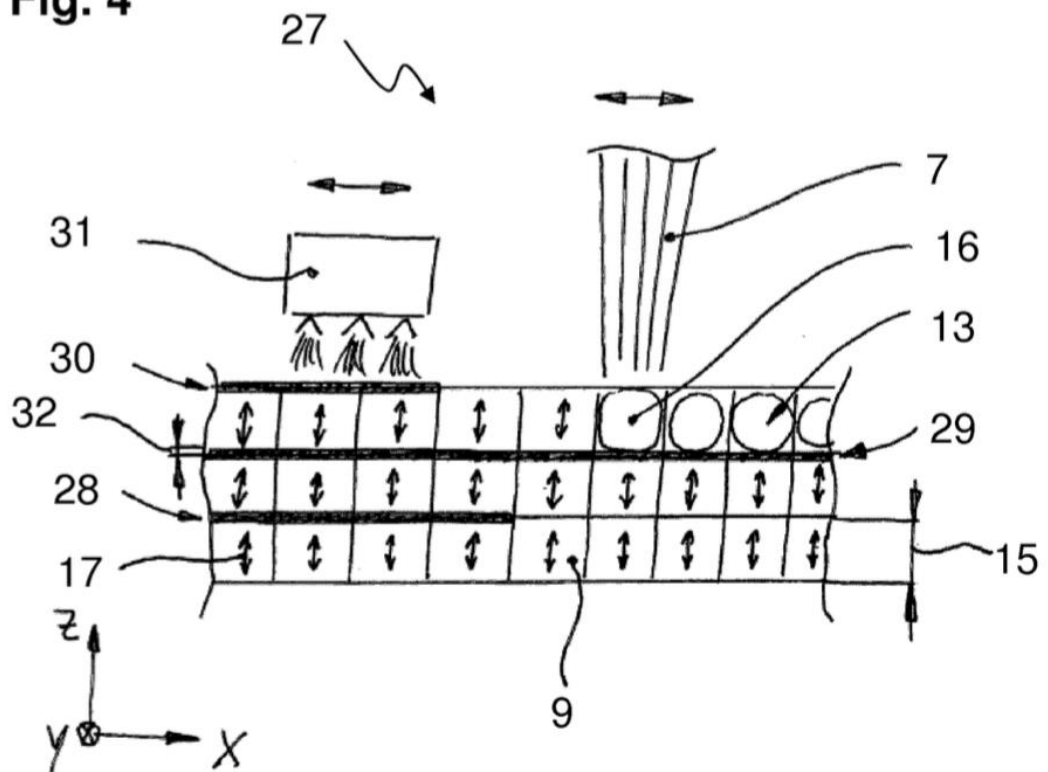
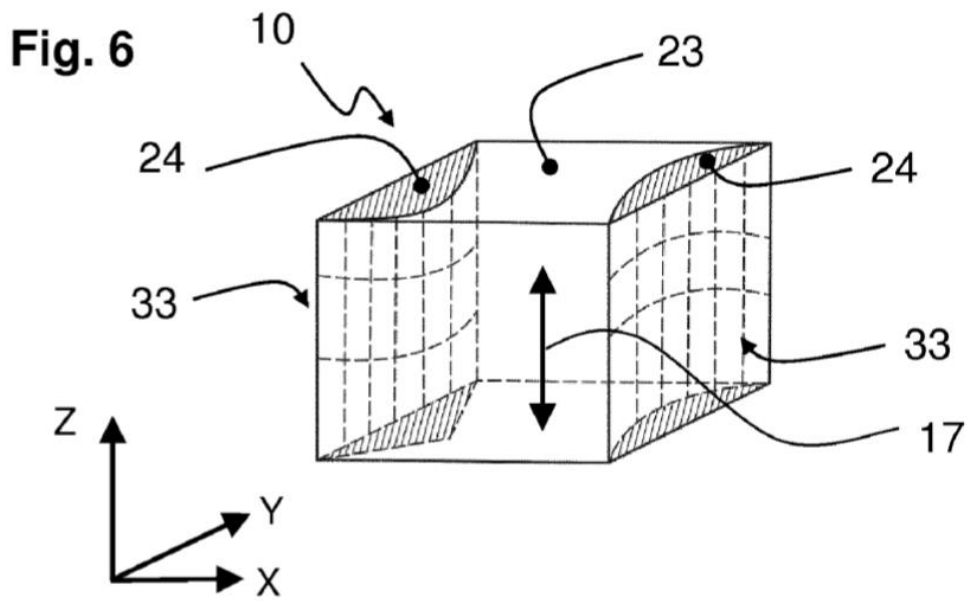
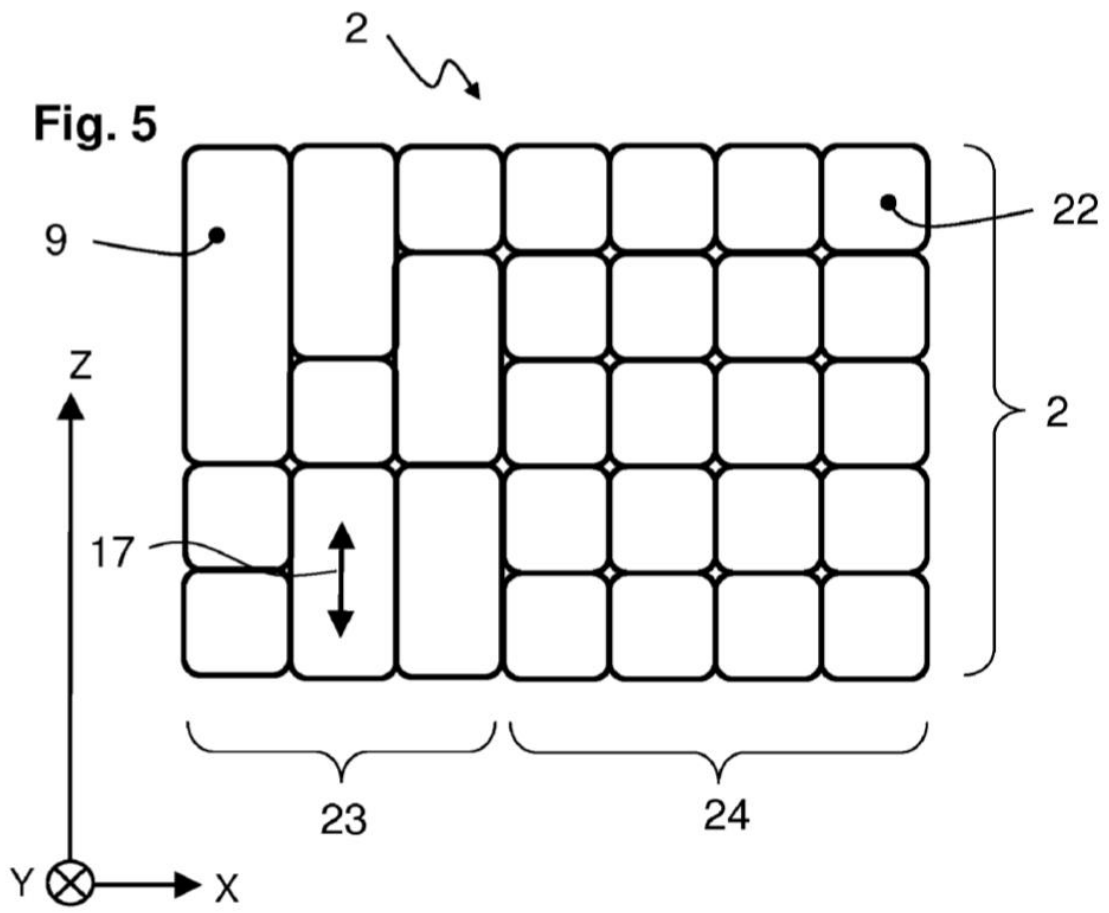


Fig. 4







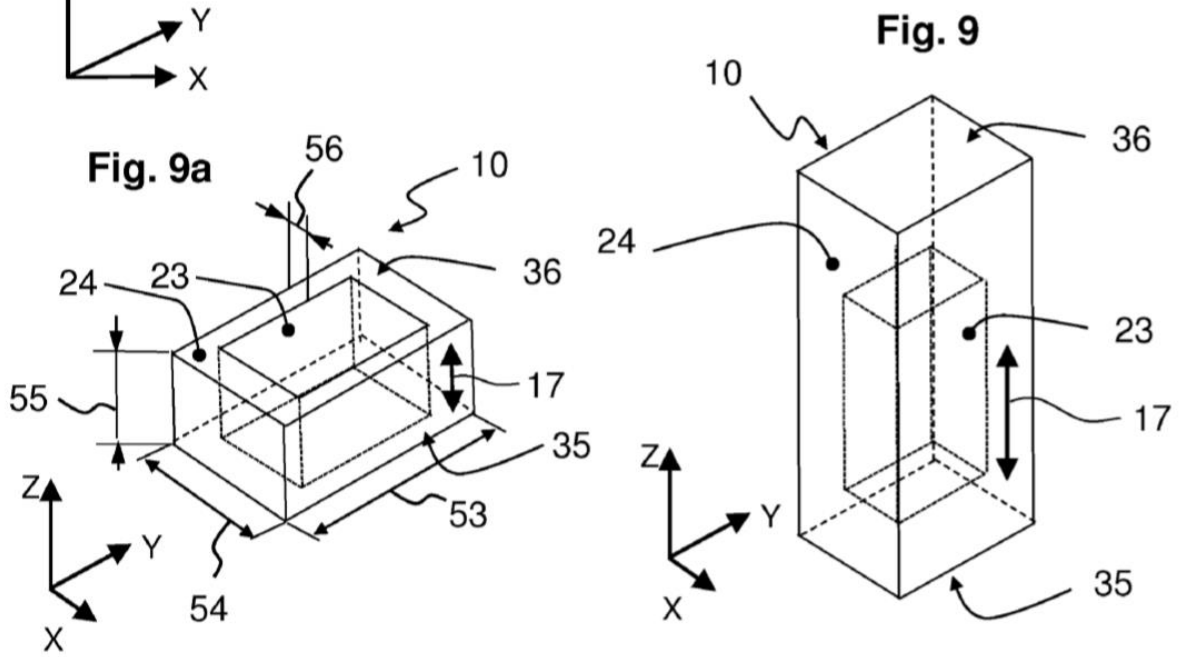
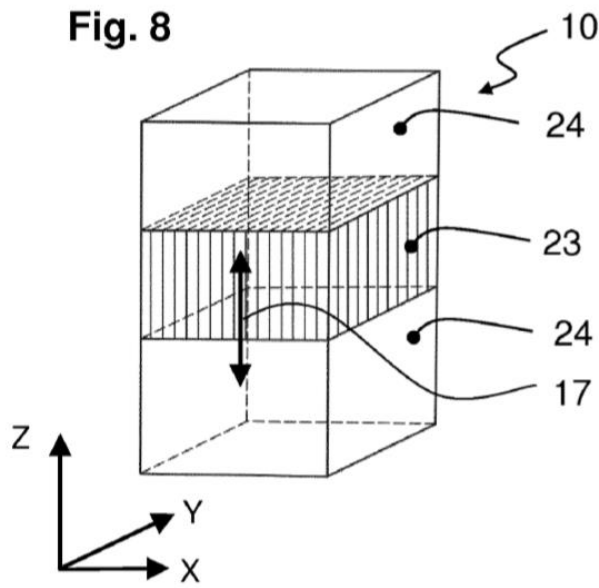
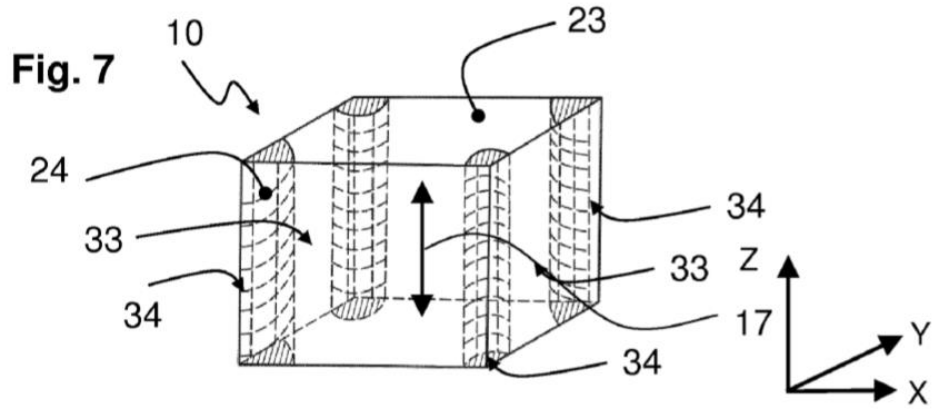


Fig. 10

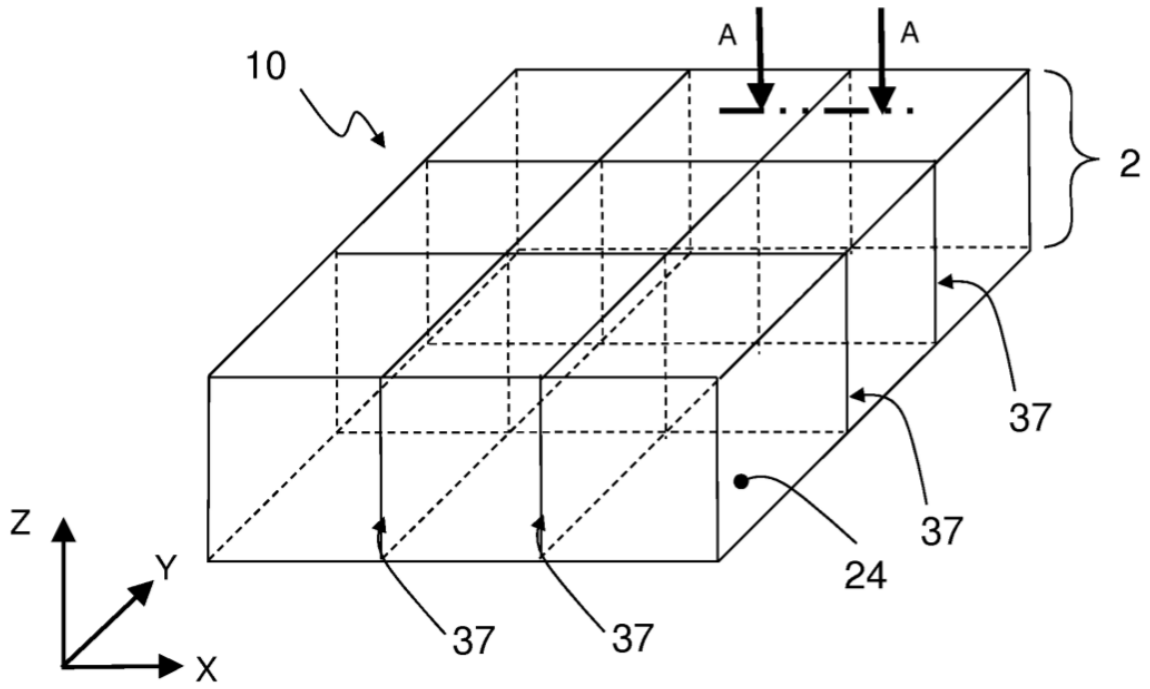


Fig. 11

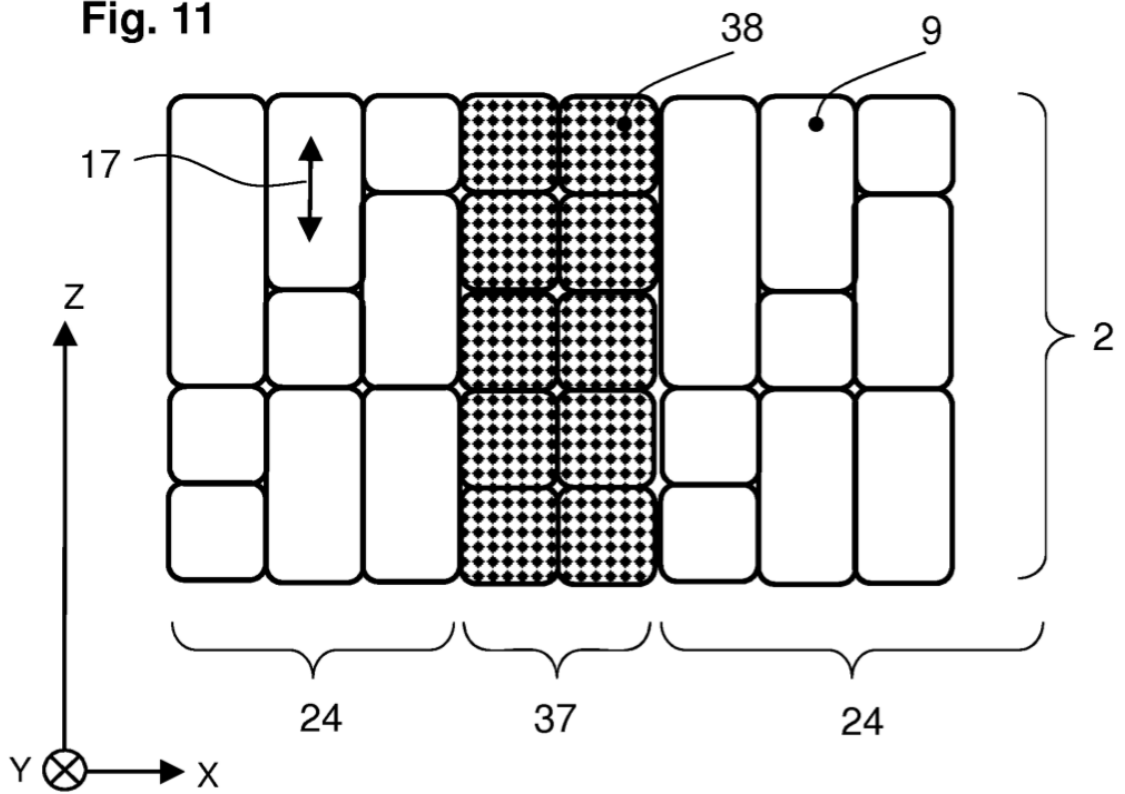


Fig. 12

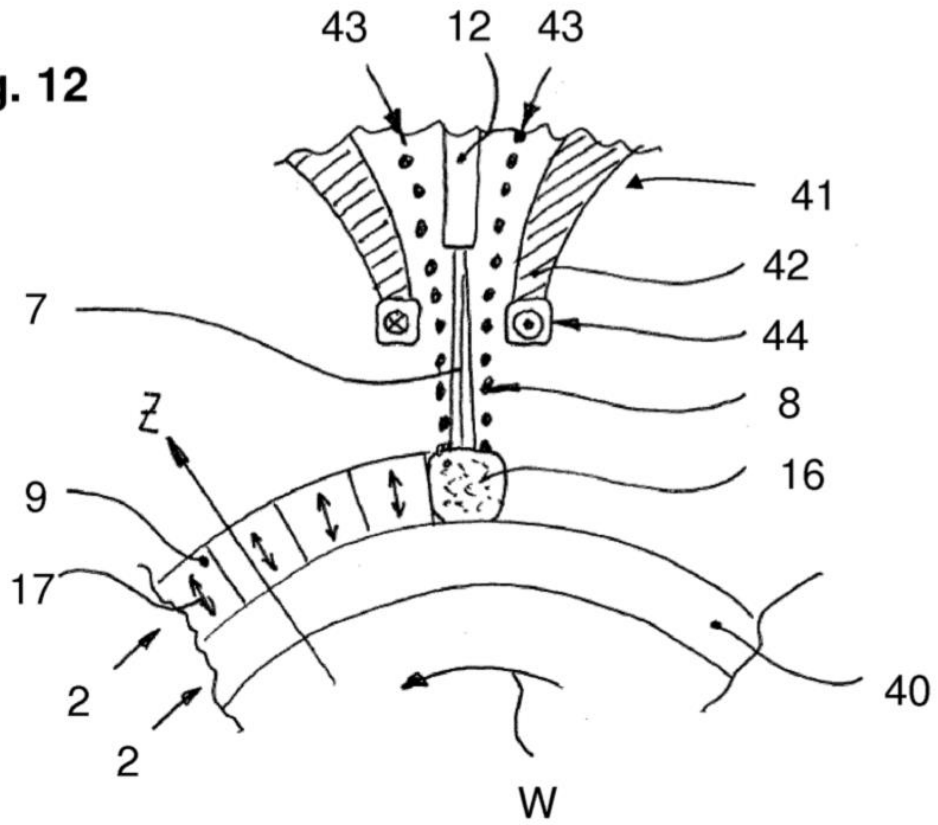
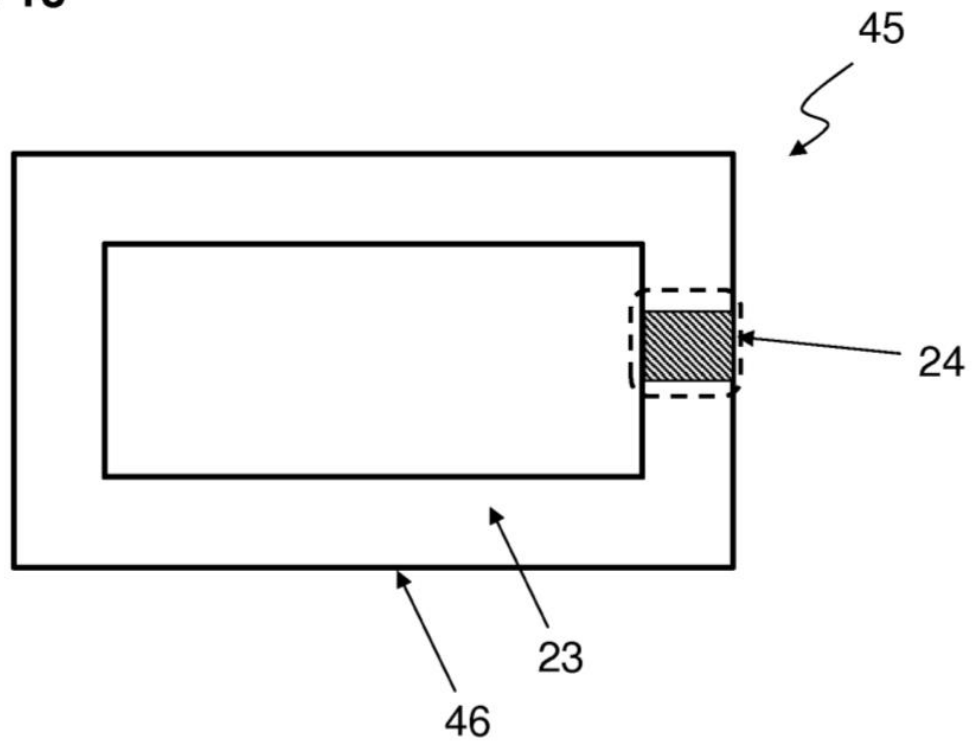
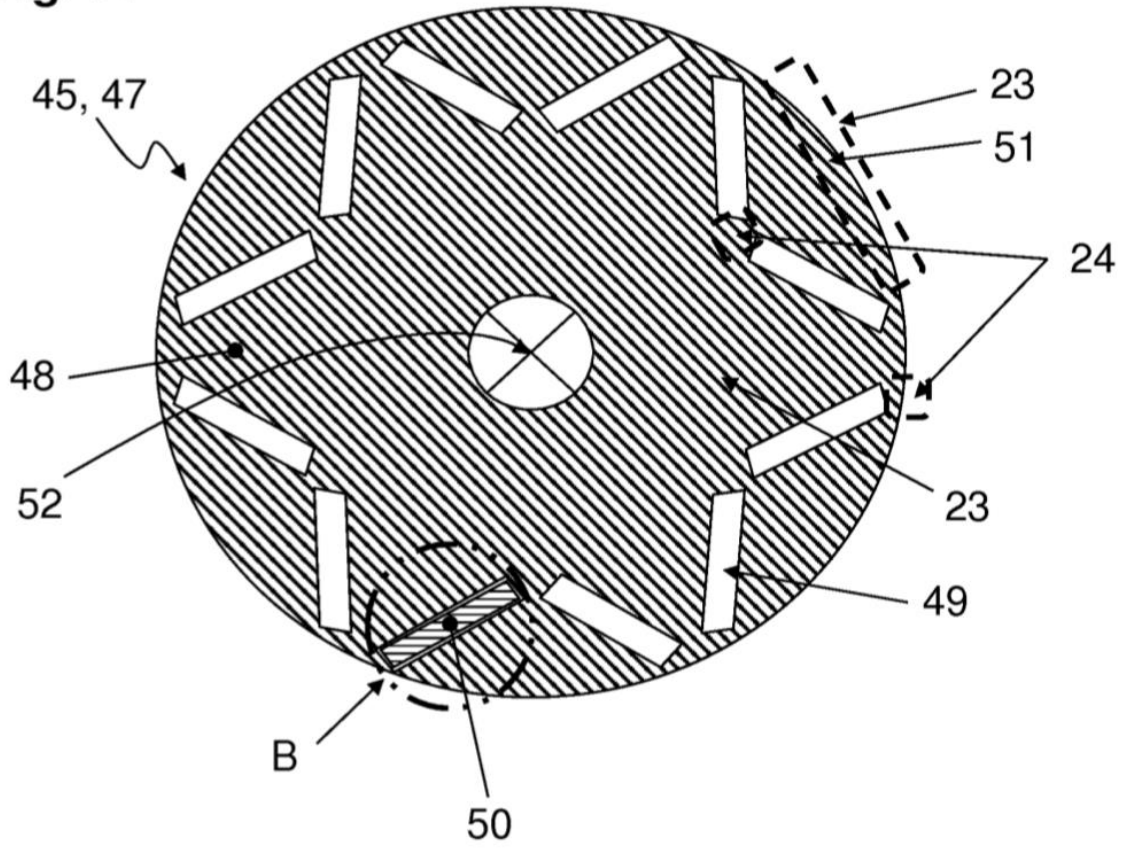


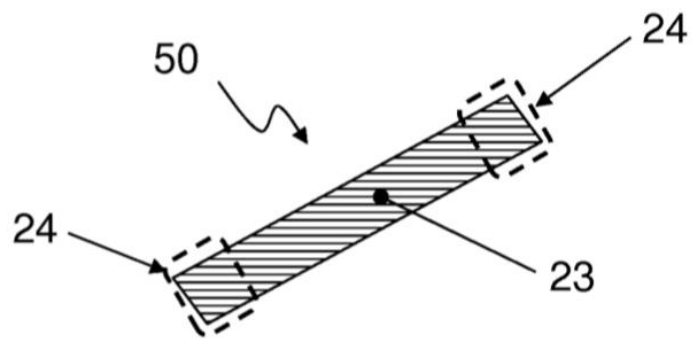
Fig. 13



**Fig. 14**



**Fig. 15**



**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

5 *Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.*

**Documentos de patentes citados en la descripción**

- 10 • WO 2013185967 A1 [0015] [0016] • EP 2104115 A1 [0118]  
• US 20130309121 A1 [0016]