

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 869**

51 Int. Cl.:

C22C 26/00 (2006.01)

H01F 1/24 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2008 E 08724208 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2013 EP 2139630**

54 Título: **Materiales compuestos de polímeros de metal en polvo**

30 Prioridad:

21.03.2007 DK 200700435

21.03.2007 US 907115 P

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

09.10.2013

73 Titular/es:

HÖGANÄS AB (PUBL) (100.0%)

Bruksgatan 35

263 83 Höganäs, SE

72 Inventor/es:

BERGMARK, PONTUS y

SKÅRMAN, BJÖRN

74 Agente/Representante:

ES 2 424 869 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

Materiales compuestos de polímeros de metal en polvo

Campo de la invención

La presente invención se refiere a un nuevo método de producción de una pieza de material compuesto. El método comprende la etapa de compactación de una composición de polvo para dar un cuerpo compactado, seguido por una etapa de tratamiento térmico mediante la cual se crea un sistema de poros abiertos y seguido por una etapa de infiltración. La invención se refiere además a una pieza de material compuesto.

Antecedentes

Pueden usarse materiales magnéticos blandos para aplicaciones tales como materiales de núcleo en inductores, estatores y rotores para máquinas eléctricas, actuadores, sensores y núcleos de transformadores. Tradicionalmente, los núcleos magnéticos blandos, tales como rotores y estatores en máquinas eléctricas, están compuestos por materiales laminados de chapas de acero apiladas. Sin embargo, en los últimos años, ha habido un intenso interés en los denominados materiales de material compuesto magnético blando (SMC, "*Soft Magnetic Composite*"). Los materiales SMC se basan en partículas magnéticas blandas, habitualmente a base de hierro, con un recubrimiento eléctricamente aislante sobre cada partícula. Al compactar las partículas aisladas, opcionalmente junto con lubricantes y/o aglutinantes, usando el procedimiento de pulvimetalurgia tradicional, se obtienen las piezas de SMC. Mediante el uso de la técnica de pulvimetalurgia es posible producir materiales que tienen un mayor grado de libertad en el diseño de la pieza de SMC en comparación con el uso de materiales laminados de chapas de acero, ya que el material SMC puede portar un flujo magnético tridimensional y ya que pueden obtenerse conformaciones tridimensionales con el procedimiento de compactación.

Como consecuencia del aumento de interés en los materiales SMC, mejoras de las características magnéticas blandas de los materiales SMC son el objeto de intensos estudios con el fin de ampliar la utilización de estos materiales.

Con el fin de lograr tal mejora, están desarrollándose continuamente nuevos polvos y procedimientos.

Dos características clave de un componente de núcleo de hierro son sus características de pérdida de núcleo y permeabilidad magnética. La permeabilidad magnética de un material es una indicación de su capacidad para magnetizarse o su capacidad para portar un flujo magnético. La permeabilidad se define como la razón del flujo magnético inducido con respecto a la fuerza de magnetización o intensidad de campo. Cuando se expone un material magnético a un campo alterno, tal como por ejemplo un campo eléctrico alterno, se producen pérdidas de energía debido tanto a pérdidas por histéresis como a pérdidas por corrientes parásitas. La pérdida por histéresis se ocasiona por el gasto de energía necesario para superar las fuerzas magnéticas retenidas dentro del componente de núcleo de hierro y es proporcional a la frecuencia de, por ejemplo, el campo eléctrico alterno. La pérdida por corrientes parásitas se ocasiona por la producción de corrientes eléctricas en el componente de núcleo de hierro debido al flujo cambiante provocado por las condiciones de corriente alterna (CA) y es proporcional al cuadrado de la frecuencia del campo eléctrico alterno. Entonces, es deseable una alta resistividad eléctrica con el fin de minimizar las corrientes parásitas y es de especial importancia a mayores frecuencias, tal como por ejemplo por encima de aproximadamente 60 Hz. Con el fin de disminuir las pérdidas por histéresis y de aumentar la permeabilidad magnética de un componente de núcleo, se desea generalmente tratar térmicamente una pieza compactada, mediante lo cual se reducen las tensiones inducidas por la compactación. Además, con el fin de alcanzar las propiedades magnéticas deseadas, tales como alta permeabilidad magnética, alta inducción y bajas pérdidas de núcleo, es necesario a menudo una alta densidad de la pieza compactada. Alta densidad se define en el presente documento como una densidad por encima de 7,0, preferiblemente por encima de 7,3, lo más preferiblemente de aproximadamente 7,5 g/cm³ para una pieza compactada a base de hierro.

Además de las propiedades magnéticas blandas, son esenciales propiedades mecánicas suficientes. Una alta resistencia mecánica es a menudo un requisito previo para evitar la introducción de grietas, laminaciones y roturas y para lograr buenas propiedades magnéticas de piezas compactadas que tras la compactación y el tratamiento térmico se han sometido a operaciones de mecanización. Además, las propiedades de lubricación de una red de polímero impregnada pueden aumentar la vida útil de herramientas de corte considerablemente.

Con el fin de poder ampliar la utilización de componentes de SMC, una alta resistencia a temperatura elevada es una propiedad importante tal como por ejemplo para componentes usados en aplicaciones tales como núcleos de motores, bobinas de encendido y válvulas de inyección en automóviles.

Mezclando un aglutinante con el polvo de SMC antes de la compactación, puede obtenerse una resistencia mecánica mejorada del componente compactado y tratado térmicamente. En la bibliografía de patentes, se notifican varias clases de resinas orgánicas, tales como materiales termoplásticos y resinas termoestables, aglutinantes inorgánicos tales como silicatos o resinas de silicio. El tratamiento térmico de componentes unidos por resinas orgánicas se restringe a temperaturas comparativamente bajas, por debajo de aproximadamente 250°C, ya que el material orgánico se destruye a una temperatura por encima de aproximadamente 250°C. La resistencia mecánica de los componentes unidos por resinas orgánicas tratados térmicamente en condiciones ambientales es buena, pero se deteriora por encima de 100°C. Las resinas inorgánicas pueden someterse a mayores temperaturas sin que se vean afectadas las propiedades mecánicas, sin embargo, el uso de aglutinantes inorgánicos se asocia a menudo con malas propiedades del polvo, escasa compresibi-

lidad, escasa capacidad de mecanización y se necesitan a menudo en altas cantidades, lo que excluye mayores niveles de densidad.

La patente estadounidense 6 485 579 describe un método de aumento de la resistencia mecánica del componente de SMC tratando térmicamente el componente en presencia de vapor de agua. Se notifican mayores valores para la resistencia mecánica en comparación con componentes tratados térmicamente al aire, sin embargo, se obtiene un aumento de las pérdidas de núcleo. Se describe un método similar en el documento WO2006/135324, en el que se obtiene una alta resistencia mecánica en combinación con una permeabilidad magnética mejorada siempre que se usen lubricantes libres de metales. Los lubricantes se evaporan en una atmósfera no reductora antes de someter el componente a vapor de agua. Sin embargo, la oxidación de las partículas de hierro, cuando se somete el componente al tratamiento con vapor, también aumentará las fuerzas coercitivas y por tanto las pérdidas de núcleo.

La impregnación, la infiltración y el sellado de piezas fundidas a presión o componentes de metal en polvo (P/M), por ejemplo mediante una red orgánica, son métodos conocidos para impedir la corrosión de la superficie o sellar la porosidad de la superficie. Dependiendo enormemente de la densidad y las condiciones de procesamiento de piezas P/M, variará el grado de penetración de la red orgánica. Niveles de densidad bajos (<89% de la densidad teórica) y condiciones de sinterización o tratamientos térmicos suaves proporcionan una penetración fácil y una impregnación completa. Para materiales de alto rendimiento que tienen alta densidad y baja porosidad los requisitos previos para alcanzar una impregnación completa son limitados.

La impregnación de componentes de SMC para mejorar la capacidad de mecanización para producir componentes prototipo, o para mejorar la resistencia a la corrosión, se muestra por ejemplo en la solicitud de patente JP 2004 178 643 en la que el líquido de impregnación está constituido por aceites en general. A pesar de la capacidad de mecanización ligeramente mejorada de este método, da como resultado superficies grasientas y resbaladizas, más difíciles de manejar. El aceite no mejora mucho la vida de la herramienta de corte debido a que nunca se vuelve sólido. De la misma manera, los sellantes blandos o sin curar ofrecen poco valor a la mecanización. Un mecanismo de curado fiable para el polímero junto con alta resistencia mecánica de la pieza de material compuesto es la mejor garantía de rendimiento de mecanización consistente.

Las patentes US 6 331 270 y US 6 548 012 describen ambas procedimientos para fabricar componentes magnéticos blandos de CA a partir de polvos ferromagnéticos no recubiertos mediante la compactación de los polvos junto con un lubricante adecuado seguido por tratamiento térmico. También se indica que para aplicaciones que requieren mayor resistencia mecánica, los componentes pueden impregnarse, por ejemplo con resina epoxídica. Dado que se usan polvos no recubiertos, estos métodos son menos adecuados debido a altas pérdidas por corrientes parásitas obtenidas si los componentes se usan para aplicaciones sometidas a mayores frecuencias, por encima de aproximadamente 60 Hz. La patente US 5 993 729 trata principalmente de polvo a base de hierro no recubierto y de la infiltración de piezas compactadas de baja densidad producidas con la ayuda de lubricación externa. La patente también menciona polvos, en los que las partículas están recubiertas individualmente con una capa de aislamiento eléctrico de no unión, que comprende óxidos aplicados o bien mediante procedimientos de sol-gel o mediante fosfatación. Los elementos magnéticos blandos compactados según la patente estadounidense 5 993 729, se restringen a aplicaciones que funcionan a bajas frecuencias, por debajo de aproximadamente 60 Hz, debido a una escasa resistividad eléctrica. Además, el tratamiento térmico oxidante de polvo o piezas compactadas antes del procedimiento de impregnación restringirá o impedirá completamente la penetración por los poros del líquido de impregnación, especialmente para piezas compactadas de alta densidad, por encima de aproximadamente 7,0 g/cm³, y especialmente por encima de aproximadamente 7,3 g/cm³.

La patente alemana DE 197 09 651 da a conocer un compuesto que comprende 1) material compuesto de cerámica y metal, 2) un metal duro, 3) un polvo de acero o 4) un compuesto magnético de cerámica o metal. El compuesto puede estar en una forma pura o puede estar mezclado con, por ejemplo, un material cerámico tal como un material de refuerzo monocristalino en forma de placa o fibra corta monocristalina. En el documento WO 2006/080936 se describe un cuerpo de material compuesto que comprende un componente de matriz y un componente de refuerzo. El componente de matriz comprende al menos uno de metal, cerámica, polímero y vidrio, puede ser, por ejemplo, Si o un material que contiene Si. El componente de refuerzo comprende, por ejemplo, una pluralidad de nanotubos y puede comprender además al menos un material de carga que comprende una morfología seleccionada del grupo que consiste en material particulado, fibra, plaquetas y copos. Adicionalmente, los nanotubos pueden mezclarse en un líquido antes de mezclar los nanotubos con la carga. En el documento EP 1 763 040 se da a conocer una material de interfaz que comprende al menos un material de soldadura y una mezcla de resina. El material de soldadura puede comprender cualquier material de soldadura adecuado, tal como In, Ag, Cu, Al, Sb, Bi, Ga y aleaciones de los mismos, Cu recubierto con Ag y Al recubierto con Ag. El material de resina polimérica es preferiblemente a base de silicona que comprende uno o más compuestos tales como vinilsilicona, resina vinílica Q, siloxano hidruro-funcional y platino-vinilsiloxano. También pueden incorporarse antioxidantes, agentes potenciadores de la humectabilidad, aceleradores del curado, agentes reductores de la viscosidad, adyuvantes de reticulación y posiblemente partículas sustancialmente esféricas de carga o microfibras de carbono en el material de interfaz.

Objeto de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método para aumentar la resistencia mecánica de componentes tratados térmicamente (SMC), especialmente componentes que tienen una densidad por encima de

aproximadamente el 89% de la densidad teórica, (para componentes producidos a partir de polvos a base de hierro por encima de aproximadamente $7,0 \text{ g/cm}^3$) y que tienen una menor coercitividad en comparación con piezas compactadas de SMC en las que se ha logrado una mayor resistencia mecánica mediante tratamiento térmico convencional en una atmósfera oxidante.

- 5 Un objeto adicional de la invención es proporcionar un método para fabricar componentes impregnados que tienen tanto alta densidad como alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas, por ejemplo, por encima de aproximadamente 150°C .

Sumario de la invención

- 10 Los objetos de la invención mencionados anteriormente se obtienen mediante un método para producir piezas de material compuesto, según la reivindicación 1 y una pieza de material compuesto según la reivindicación 10.

15 Sometiendo el cuerpo compactado tratado térmicamente a un polímero líquido que comprende estructuras de refuerzo de tamaño nanométrico y/o de tamaño micrométrico, se facilita que el material compuesto de polímero líquido se impregne y/o infiltre en el cuerpo compactado tratado térmicamente, incluso aunque el cuerpo compactado comprenda cavidades pequeñas. Solidificar posteriormente el cuerpo compactado tratado térmicamente que comprende el material compuesto de polímero líquido proporciona una red interpenetrante que comprende estructuras de refuerzo de tamaño nanométrico y/o de tamaño micrométrico que da como resultado así un cuerpo compactado tratado térmicamente con aumento de la resistencia mecánica y aumento de la capacidad de mecanización en comparación con métodos de impregnación y/o infiltración convencionales.

20 La red orgánica interpenetrante de la presente invención, proporciona además una resistencia mecánica mejorada, además de propiedades de capacidad de mecanización potenciadas, en comparación con los métodos de impregnación o infiltración convencionales. El polímero orgánico puede elegirse para proporcionar a la pieza compactada impregnada alta resistencia mecánica a temperaturas elevadas, por encima de aproximadamente 100 MPa a aproximadamente 150°C .

25 La presente invención permite la impregnación satisfactoria de piezas compactadas de hasta el 98% de la densidad teórica. Además, la introducción de una red interpenetrante, que puede tener propiedades lubricantes, en un cuerpo compactado puede aumentar considerablemente la vida útil de herramientas de corte y maquinaria usada para procesar el cuerpo compactado tratado térmicamente en comparación con métodos de impregnación y/o infiltración convencionales.

30 En una realización de la invención, la composición de polvo comprende además un polvo magnético blando, preferiblemente partículas magnéticas blandas a base de hierro, en la que las partículas comprenden además un recubrimiento eléctricamente aislado.

Por tanto, el método también puede producir piezas/componentes magnéticos blandos y combinar así el aumento de la resistencia mecánica del cuerpo compactado tratado térmicamente con propiedades magnéticas blandas mejoradas.

Todavía adicionalmente, el método puede mejorar las propiedades de capacidad de mecanización de un componente de SMC, que puede conservar buenas propiedades magnéticas tras una operación de mecanización.

35 Adicionalmente, el método permite la fabricación de componentes magnéticos blandos impregnados que tienen tanto alta densidad como alta resistencia mecánica. El aumento de densidad y resistencia mecánica también puede estar presente a temperaturas elevadas, por ejemplo, por encima de aproximadamente 150°C .

40 Por tanto, adicionalmente, la invención proporciona un método de producción de un componente de material compuesto magnético blando que tiene propiedades de reducción del ruido o de aislamiento acústico para, por ejemplo el ruido provocado por fuerzas dinámicas tales como fuerzas de magnetoestricción.

En una realización de la invención, las estructuras de refuerzo comprenden nanotubos de carbono, preferiblemente nanotubos de pared única.

Los nanotubos de carbono proporcionan un aumento de la resistencia al cuerpo compactado tratado térmicamente. Las estructuras de refuerzo pueden haberse funcionalizado químicamente.

45 En una realización de la invención, el método comprende además la etapa de sinterización del cuerpo tratado térmicamente tras el tratamiento térmico del cuerpo compactado.

De esta manera, el método según la invención puede aplicarse por ejemplo sobre piezas sinterizadas. Por tanto, los componentes sometidos a temperaturas de calentamiento a las que se produce la sinterización también pueden producirse mediante el método. En caso de sinterización, no es necesario recubrir las partículas de polvo.

50 Se describen realizaciones adicionales del método en la descripción detallada a continuación junto con las reivindicaciones dependientes y las figuras.

Adicionalmente, la invención describe además una pieza de material compuesto.

Descripción detallada de la invención

5 A diferencia de los métodos de impregnación o infiltración conocidos, la presente invención facilita que el líquido de material compuesto de polímero penetre completamente en cuerpos incluso de densidades tan altas como de $7,70 \text{ g/cm}^3$ para piezas compactadas producidas de polvos a base de hierro. Por tanto, un pieza compactada de SMC impregnado según la presente invención puede mostrar una resistencia mecánica inesperadamente alta en un amplio intervalo desde temperaturas criogénicas hasta altas temperaturas (por ejemplo por encima de aproximadamente 150°C), propiedades de mecanización mejoradas y resistencia a la corrosión mejorada.

10 Un aspecto adicional de las piezas compactadas de SMC impregnadas de polímero es una amortiguación aparente de las propiedades acústicas (es decir, reducción del ruido) en aplicaciones de alta inducción y alta frecuencia. El ruido que se origina a partir de fuerzas dinámicas tales como por ejemplo magnetoestricción, u otras cargas mecánicas, puede reducirse con una impregnación, en comparación con piezas compactadas no impregnadas. La reducción del ruido aumenta con la fracción volumétrica de impregnante (es decir, menor densidad compactada).

15 Los polvos magnéticos blandos usados según la presente invención pueden ser polvos a base de hierro eléctricamente aislados tales como polvos de hierro puro o polvos que comprende una aleación de hierro y otros elementos tales como Ni, Co, Si o Al. Por ejemplo, el polvo magnético blando puede consistir sustancialmente en hierro puro o puede ser al menos a base de hierro. Por ejemplo, un polvo de este tipo podrían ser, por ejemplo, polvos de hierro atomizados con agua o atomizados con gas o polvos de hierro reducido disponibles comercialmente, tales como polvos de hierro esponjoso.

20 Las capas eléctricamente aislantes, que pueden usarse según la invención, pueden ser capas y/o barreras y/o recubrimientos que comprenden fósforo delgados del tipo descrito en la patente estadounidense 6 348 265, que se incorpora al presente documento a modo de referencia. También pueden usarse otros tipos de capas aislantes y se dan a conocer en, por ejemplo, las patentes estadounidenses 6 562 458 y 6 419 877. Polvos, que tienen partículas aisladas y que pueden usarse como materiales de partida según la presente invención, son por ejemplo Somaloy[®]500 y Somaloy[®]700 disponibles de Höganäs AB, Suecia.

25 El tipo de lubricante usado en la composición de polvo metálico puede ser importante y puede, por ejemplo, seleccionarse de sustancias lubricantes orgánicas que se vaporizan a temperaturas por encima de aproximadamente 200°C y si es aplicable, por debajo de una temperatura de descomposición de la capa o el recubrimiento eléctricamente aislante.

30 El lubricante puede seleccionarse para vaporizarse sin dejar ningún residuo que pueda bloquear los poros e impedir así que tenga lugar la impregnación posterior. Los jabones metálicos, por ejemplo, que se usan comúnmente para compactación a presión de hierro o polvos a base de hierro, dejan residuos de óxido metálico en el componente. Sin embargo, en caso de densidad inferior a $7,5 \text{ g/cm}^3$, la influencia negativa de estos residuos es menos destacada, permitiendo el uso de lubricantes que contienen metal en estas condiciones.

35 Otro ejemplo de agentes lubricante son alcoholes grasos, ácidos grasos, derivados de ácidos grasos y ceras. Ejemplos de alcoholes grasos son alcohol estearílico, alcohol behenílico, y combinaciones de los mismos. También pueden usarse amidas primarias y secundarias de ácidos grasos saturados o insaturados, por ejemplo, estearamida, erucil-estearamida, y combinaciones de las mismas. Las ceras pueden elegirse, por ejemplo, de ceras de polialquileno, tales como etilen-bis(estearamida).

La cantidad de lubricante usada puede variar y puede ser, por ejemplo, del 0,05-1,5%, alternativamente del 0,05-1,0%, alternativamente del 0,1-0,6% en peso de la composición que va a compactarse.

40 Una cantidad de lubricante inferior al 0,05% en peso de la composición puede dar un mal rendimiento de lubricación, lo que puede dar como resultado superficies rayadas del componente expulsado, lo que a su vez puede bloquear los poros de la superficie y complicar los procedimientos de vaporización e impregnación posteriores. La resistividad eléctrica de componentes compactados producidos a partir de polvos recubiertos puede verse afectada negativamente, principalmente debido a una capa aislante deteriorada, provocada por lubricación tanto interna como externa.

45 Una cantidad de lubricante de más del 1,5% en peso de la composición puede mejorar las propiedades de expulsión pero generalmente da como resultado una densidad en verde demasiado baja del componente compactado, por tanto, proporcionando inducción magnética y permeabilidad magnética bajas.

50 La compactación puede realizarse a temperatura ambiental o elevada. El polvo y/o el troquel pueden precalentarse antes de la compactación. Por ejemplo, la temperatura de troquel puede ajustarse hasta una temperatura de no más de 60°C por debajo de la temperatura de fusión de la sustancia lubricante usada. Por ejemplo, para la estearamida, la temperatura de troquel puede ser de $40\text{-}100^\circ\text{C}$, ya que la estearamida se funde a aproximadamente 100°C .

La compactación puede realizarse a entre 400 y 1400 MPa. Alternativamente, la compactación puede realizarse a una presión de entre 600 y 1200 MPa.

55 El cuerpo compactado puede someterse posteriormente a tratamiento térmico con el fin de eliminar el lubricante en una atmósfera no oxidante a una temperatura por encima de la temperatura de vaporización del lubricante. En caso de que

el polvo esté recubierto con una capa aislante, la temperatura de tratamiento térmico puede estar por debajo de la temperatura de la temperatura de descomposición de la capa eléctricamente aislante inorgánica.

5 Por ejemplo, para muchos lubricantes y capas aislantes esto significa que la temperatura de vaporización debería estar por debajo de 650°C, por ejemplo, por debajo de 500°C tal como entre 200 y 450°C. El método según la presente invención, sin embargo, no está particularmente restringido a estas temperaturas. El tratamiento térmico puede llevarse a cabo en una atmósfera inerte, en particular una atmósfera no oxidante, tal como por ejemplo nitrógeno o argón.

10 Si el tratamiento térmico se lleva a cabo en una atmósfera oxidante, puede tener lugar la oxidación de la superficie de las partículas de hierro o a base de hierro y puede restringir o impedir que un impregnante, (es decir, líquido de impregnación) fluya al interior de la red porosa del cuerpo compactado. El grado de la oxidación depende de la temperatura y el potencial de oxígeno de la atmósfera. Por ejemplo, si la temperatura es inferior a aproximadamente 400°C al aire, puede tener lugar una penetración adecuada de impregnante. Esto puede proporcionar a la pieza compactada impregnada una resistencia mecánica aceptable, pero puede producir una relajación de la tensión inaceptable con malas propiedades magnéticas como consecuencia.

15 El cuerpo con lubricante eliminado puede sumergirse posteriormente en un impregnante, por ejemplo en un recipiente de impregnación. Posteriormente, puede reducirse la presión en el recipiente de impregnación. Después de que la presión del recipiente de impregnación haya alcanzado aproximadamente por debajo de 0,1 mbar, la presión se devuelve a la atmosférica, mediante lo cual se fuerza al impregnante a fluir en los poros del cuerpo compactado hasta que se iguale la presión. Dependiendo de la viscosidad del impregnante, pueden variar la densidad de la pieza compactada, y el tamaño de la pieza compactada, el tiempo y la presión requeridos para impregnar completamente la pieza compactada.

20 La impregnación puede llevarse a cabo a temperaturas elevadas (por ejemplo de hasta 50°C) con el fin de disminuir la viscosidad del líquido y mejorar la penetración del impregnante en el cuerpo compactado, así como para reducir el tiempo requerido para el procedimiento.

25 Además, la pieza compactada puede someterse a una presión reducida y/o temperaturas elevadas antes de sumergirse en el impregnante. De esta manera, pueden eliminarse el aire atrapado y/o los gases condensados presentes dentro de las piezas compactadas y por tanto, la impregnación posterior puede avanzar más rápido. La penetración también puede avanzar más rápido y/o más completamente si la presión se eleva por encima del nivel de presión ambiental tras el tratamiento de impregnación a baja presión.

30 Sin embargo, debe tenerse cuidado de que la estequiometría del impregnante no se altere por pérdidas de material volátil durante el procedimiento a vacío. Por tanto, el tiempo, la presión y la temperatura de impregnación pueden decidirse por un experto en la técnica en vista de la densidad del componente, la temperatura y/o la atmósfera a las que se trató térmicamente el componente, así como la resistencia, la profundidad de penetración y el tipo de impregnante deseados.

35 El procedimiento de impregnación se inicia en la superficie del cuerpo compactado y penetra al interior hacia el centro del cuerpo. En algunos casos puede lograrse una impregnación parcial y por tanto, según una realización de la invención, el procedimiento de impregnación se termina antes de que las superficies de todas las partículas del cuerpo compactado se hayan sometido al líquido de impregnación. En este caso, una costra impregnada puede rodear un núcleo no impregnado. Por tanto, siempre que el grado de penetración haya proporcionado al componente un nivel aceptable de resistencia mecánica y propiedades de mecanización, el procedimiento de impregnación puede terminarse antes de que haya tenido lugar la penetración completa por la totalidad del cuerpo compactado.

40 En casos en los que la compatibilidad química entre la red de metal del cuerpo compactado y el impregnante no sea favorable, la superficie de los huecos de interpenetración del cuerpo compactado pueden tratarse con agentes modificadores de la superficie, agentes de reticulación, agentes de acoplamiento y/o de humectabilidad, tales como silanos o silazanos funcionales orgánicos, titanatos, aluminatos o zirconatos, antes del tratamiento de impregnación según la invención. También pueden usarse otros alcóxidos de metal así como silanos, silazanos, siloxanos y ésteres de ácido silícico inorgánicos.

45 En algunos casos en los que la penetración del material compuesto de polímero líquido en el cuerpo compactado es especialmente difícil, el procedimiento de impregnación puede mejorarse con la ayuda de fuerzas de magnetoestricción. Las piezas, el cuerpo compactado y el fluido de impregnación, pueden exponerse así a un campo magnético alterno externo durante el procedimiento de impregnación.

50 Puede eliminarse el impregnante superfluo antes de que la pieza compactada impregnada se cure a temperatura elevada y/o atmósfera anaerobia. El impregnante superfluo puede eliminarse, por ejemplo, mediante fuerza centrífuga y/o aire a presión y/o sumergiéndolo en un disolvente adecuado. Pueden aplicarse procedimientos de impregnación, tales como por ejemplo los métodos empleados por SoundSeal AB, Suecia, y P.A. System, srl, Italia. El procedimiento de eliminación de impregnante superfluo puede realizarse, por ejemplo, de manera discontinua en cámaras de vacío y/u hornos de vacío que están disponibles comercialmente.

Los sistemas poliméricos para impregnación según la presente invención pueden ser, por ejemplo, resinas orgánicas curables, resinas termoestables, y/o polímeros que pueden fundirse que solidifican por debajo de su temperatura de fusión para dar un material termoplástico.

5 El sistema polimérico puede ser cualquier sistema o combinación de sistemas que permita adecuadamente la integración con estructuras de tamaño nanométrico mediante fuerzas físicas y/o químicas tales como por ejemplo fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno y enlaces covalentes.

10 Con el fin de simplificar el manejo y usar la resina en operaciones continuas, los sistemas poliméricos pueden elegirse, por ejemplo, del grupo de resinas que se curan a temperaturas elevadas (por ejemplo, por encima de aproximadamente 40°C) y/o en medio anaerobio. Ejemplos de tales sistemas poliméricos para la impregnación pueden ser, por ejemplo, resinas epoxídicas o de tipo acrílico que muestran baja viscosidad a temperatura ambiente y que tienen buena estabilidad térmica.

15 Resinas termoestables según la presente invención, pueden ser, por ejemplo, especies de polímeros reticulados tales como poliacrilatos, ésteres de cianato, poliimididas y resinas epoxídicas. Resinas termoestables ejemplificadas mediante resinas epoxídicas pueden ser resinas en las que se produce reticulación entre la especie de resina epoxídica que comprende grupos epóxido y los agentes de curado que componen los grupos funcionales correspondientes para la reticulación. El procedimiento de reticulación se denomina "curado".

El sistema polimérico puede ser cualquier sistema o combinación de sistemas que permita adecuadamente la integración con estructuras de tamaño nanométrico mediante fuerzas físicas y químicas tales como fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno y enlaces covalentes.

20 Los ejemplos de resinas epoxídicas incluyen, pero no se limitan a, diglicidil éter de bisfenol A (DGBA), bisfenol tipo F, tetraglicidil-metilendianilina (TGDDM), epoxi-novolaca, resina epoxídica cicloalifática, resina epoxídica bromada.

25 Los ejemplos de agentes de curado correspondientes comprenden, pero no se limitan a, aminas, anhídridos y amidas de ácidos, etc. La variedad de agentes de curado puede ejemplificarse adicionalmente mediante aminas; aminas cicloalifáticas tales como bis-paraaminociclohexilmetano (PACM), aminas alifáticas tales como tri-etilen-tetra-amina (TETA) y di-etilen-tri-amina (DETA), aminas aromáticas tales como dietil-tolueno-diamina y otras.

30 Las resinas anaerobias pueden seleccionarse de cualquier base polimérica u oligomérica que se reticula con la eliminación de oxígeno, ejemplificadas mediante materiales acrílicos tales como acrilato de uretano, metacrilato, metacrilato de metilo, éster de metacrilato, di o monoacrilato de poliglicol, metacrilato de aliilo, metacrilato de tetrahidrofurfurilo y moléculas más complejas como metacrilato de hidroxietilo-N-óxido de N-N-dimetil-p-toluidina y combinaciones de los mismos.

35 Los materiales termoplásticos según la invención pueden ser materiales que pueden fundirse que también pueden calentarse para la impregnación. Los ejemplos de materiales para la impregnación comprenden una gama de desde polímeros de baja temperatura tales como polietileno (PE), polipropileno (PP), etileno-acetato de vinilo hasta materiales de alta temperatura tales como polieterimida (PEI), poliimida (PI), fluoroetileno-propileno (FEP) y poli(sulfuro de fenileno) (PPS), polietersulfona (PES), etc. Los sistemas poliméricos pueden comprender además aditivos tales como, pero sin limitarse a, plastificantes, agentes anti-degradación tales como antioxidantes, diluyentes, agentes de aumento de la tenacidad, caucho sintético y combinaciones de los mismos.

40 El diseño de sistema polimérico hace posible alcanzar las propiedades deseadas del cuerpo compactado impregnado tales como resistencia mecánica, resistencia a la temperatura, propiedades acústicas y/o capacidad de mecanización mejoradas.

45 La presente invención permite diseñar y producir mediante ingeniería una variedad de fases poliméricas para una variedad de de aplicaciones mediante la incorporación de estructuras de refuerzo de tamaño nanométrico y/o de tamaño micrométrico tales como por ejemplo partículas, plaquetas, fibras cortas monocristalinas, fibras y/o tubos como cargas funcionales en los sistemas poliméricos. El término "tamaño nanométrico" significa en el presente documento tamaños en los que al menos dos dimensiones de una estructura tridimensional están en el intervalo de 1 nm a 200 nm. Además, materiales de tamaño micrométrico tales como fibras, fibras cortas monocristalinas y partículas en el intervalo de 200 nm a 5 µm pueden usarse, por ejemplo, cuando los huecos de la red interpenetrante por ejemplo en un cuerpo compactado son grandes.

50 Estas estructuras pueden contribuir con propiedades mejoradas a las redes interpenetrantes de los sistemas poliméricos/impregnantes. Para lograr una dispersión deseada en la fase polimérica, las estructuras de tamaño nanométrico pueden funcionalizarse químicamente. Las estructuras de tamaño nanométrico y/o de tamaño micrométrico funcionalizadas pueden dispersarse adicionalmente en la fase polimérica añadiéndoles disolventes compatibles, tratamiento con calor, tratamiento con vacío, agitación, calandrado o tratamiento ultrasónico, formando un, indicado en el presente documento, material compuesto de polímero líquido.

55

Pueden usarse nanotubos de carbono (CNT), es decir nanotubos de pared única o múltiple (SWNT, MWNT) y/u otros materiales de tamaño nanométrico, por ejemplo, como estructuras de refuerzo en los sistemas poliméricos.

Al menos dos dimensiones de cada constituyente individual de una estructura de refuerzo y/o carga funcional puede ser, por ejemplo, inferior a 200 nm, alternativamente, por ejemplo, inferior a 50 nm, y alternativamente inferior a 10 nm.

- 5 La forma de los constituyentes de refuerzo y/o carga funcional puede ser alargada, por ejemplo, tal como tubos y/o fibras y/o fibras cortas monocristalinas que muestran, por ejemplo, longitudes de entre 0,2 μ m a 1 mm.

La superficie de los constituyentes de refuerzo y/o carga funcional pueden funcionalizarse, por ejemplo, químicamente con el fin de ser compatibles con un sistema polimérico elegido. De esta manera, los constituyentes de refuerzo y/o carga funcional pueden volverse sustancialmente dispersos completamente en el sistema polimérico y evitar la agregación.

- 10 Tal funcionalización puede realizarse, por ejemplo, usando modificadores de la superficie, agentes de reticulación, agentes de acoplamiento y/o de humectabilidad, que pueden ser diversos tipos de silanos o silazanos orgánicos funcionales, titanatos, aluminatos o zirconatos. También pueden usarse otros alcóxidos de metal así como silanos, silazanos, siloxanos y ésteres de ácido silícico inorgánicos.

- 15 Las estructuras de tamaño nanométrico, tales como nanotubos de carbono y nanopartículas, están disponibles a partir de una gran y creciente cantidad de proveedores. Las resinas poliméricas reforzadas con CNT están disponibles comercialmente de, por ejemplo, Amroy Europe, Inc (Hybtonite[®]) o Arkema/Zyvex Ltd (NanoSolve[®]).

- 20 En general, cualquiera de las características técnicas y/o realizaciones descritas anteriormente y/o a continuación pueden combinarse en una realización. Alternativa o adicionalmente, cualquiera de las características técnicas y/o realizaciones descritas anteriormente y/o a continuación pueden estar en realizaciones separadas. Alternativa o adicionalmente, cualquiera de las características técnicas y/o realizaciones descritas anteriormente y/o a continuación pueden combinarse con cualquier número de otras características técnicas y/o realizaciones descritas anteriormente y/o a continuación para proporcionar cualquier número de realizaciones.

Aunque algunas realizaciones se han descrito y mostrado en detalle, la invención no se restringe a las mismas, sino que también puede realizarse de otras maneras dentro del alcance del contenido definido en las siguientes reivindicaciones.

- 25 En particular, debe entenderse que pueden utilizarse otras realizaciones y pueden realizarse modificaciones estructurales y funcionales sin apartarse del alcance de la presente invención.

En las reivindicaciones de dispositivo que enumeran varios medios, varios de estos medios pueden realizarse mediante el mismo artículo de hardware. El simple hecho de que se citen determinadas medidas en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí o se describan en diferentes realizaciones no indica que no pueda usarse una combinación de estas medidas de manera ventajosa.

- 30

Debe enfatizarse que el término “comprende/que comprende” cuando se usa en esta memoria descriptiva se toma para especificar la presencia de características, número enteros, etapas o componentes establecidos pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, número enteros, etapas, componentes o grupos de los mismos.

- 35 Tal como puede observarse a partir de los siguientes ejemplos, puede obtenerse un tipo novedoso de componentes de material compuesto magnético blando mediante el método según la invención.

Ejemplos

La invención se ilustra adicionalmente mediante los siguientes ejemplos no limitativos;

Ejemplo 1

- 40 Como material de partida se usó Somaloy[®] 700 disponible de Höganäs AB. Se mezcló una composición, (muestra A), con el 0,3% en peso de un lubricante orgánico, estearamida, y una segunda composición, (muestra B), con el 0,6% en peso de un aglutinante de lubricante orgánico, la poliamida Orgasol[®] 3501.

- 45 Se compactaron las composiciones a 800 MPa para dar muestras toroidales que tenían un diámetro interno de 45 mm, un diámetro externo de 55 mm y una altura de 5 mm, y para dar muestras para determinar la resistencia a la rotura transversal (muestras TRS) con respecto a las densidades especificadas en la tabla 1. Se controló la temperatura de troquel hasta una temperatura de 80°C.

- 50 Tras la compactación, se expulsaron las muestras del troquel y se sometieron a tratamiento térmico. Se trataron tres piezas compactadas de la muestra A a 530°C durante 15 minutos en una atmósfera de aire (A1) y nitrógeno (A2, A3), respectivamente. Se sometió adicionalmente la muestra A2 a impregnación según la invención usando una resina epoxídica reforzada con CNT. Se sometió adicionalmente la tercera pieza compactada de la muestra A, tratada en nitrógeno, a tratamiento con vapor a 520°C según el procedimiento descrito en el documento WO2006/135324 (A3). Se trató una pieza compactada de la muestra B a 225°C durante 60 minutos al aire.

Se midió la resistencia a la rotura transversal en las muestras TRS según la norma ISO 3995. Se midieron las propiedades magnéticas en las muestras toroidales con 100 impulsos y 100 cambios de sentido usando un medidor de histéresis de Brockhaus. Se mide la coercitividad a 10 kA/m y se mide la pérdida del núcleo a 1 T y 400 Hz.

Tabla 1.

Muestra	Aditivo	Tratamiento térmico	Atmósfera	Densidad [g/cm ³]	TRS [MPa]	TS	Fuerza coercitiva H _c [A/m]
A1 (ref.)	0,30% en peso de estearamida	530°C	N2	7,54	43	8	200
A2		15 min.	N2+impreg.	7,54	120	62	180
A3			N2+vapor	7,54	130	66	220
B	0,60% en peso de poliamida	225°C 60 min.	Aire	7,40	105	40	300

5 Tal como puede observarse a partir de la tabla 1, puede lograrse una alta resistencia mecánica de las muestras mediante un procedimiento según la invención (A2), mediante oxidación interna (A3) o añadiendo un aglutinante orgánico a la composición de polvo (B). Sin embargo, el uso del aglutinante orgánico restringe la temperatura del tratamiento térmico a 225°C, proporcionando malas propiedades magnéticas. La muestra tratada con vapor (A3), presenta alta resistencia, pero alta coercitividad (H_c) en comparación con la muestra impregnada (A2). La muestra producida según la invención (A2) presenta alta resistencia mecánica en combinación con una baja fuerza coercitiva.

Ejemplo 2

10 Se mezcló polvo magnético blando eléctricamente aislado, Somaloy[®] 700, disponible de Höganäs AB, con el 0,5% en peso de estearamida (C), cera de etilen-bis(estearamida) (cera de EBS) (D), y estearato de Zn (E), respectivamente, y se compactó hasta 7,35 g/cm³. Se sometieron adicionalmente las muestras a un tratamiento térmico durante 45 minutos al aire a 350°C, o en una atmósfera de nitrógeno a 530°C. Se eliminó el lubricante de una muestra con estearamida (C2) al aire a 530°C. Tras esto, se sometieron todos los componentes con eliminación de lubricante a impregnación según la invención usando una resina epoxídica reforzada con CNT.

15 Se midieron las propiedades magnéticas y mecánicas según el ejemplo 1 y se resumen en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2

Muestra	Tratamiento de vaporización	TRS [MPa]	Resistividad [□Ohm*m]	Pérdida de núcleo	Rendimiento global
C (estearamida)	1. 350°C Aire	100	500	70	Malo
	2. 530°C Aire	50	200	50	Malo
	3. 530°C N ₂	120	150	55	Bueno
D (cera de EBS*)	1. 350°C N ₂	40	450	73	Malo
	2. 530°C N ₂	120	120	58	Aceptable
E (estearato de Zn)	1. 350°C N ₂	40	400	76	Malo
	2. 530°C N ₂	90	100	73	Aceptable

*Etilen-bis(estearamida) (Acrawax[®])

20 Tal como puede observarse a partir de la tabla 2, la atmósfera y la temperatura, a las que se lleva a cabo la vaporización son de gran importancia.

25 Se vaporiza la estearamida (muestra C) completamente por encima de 300°C tanto en atmósfera de gas inerte como al aire. Si se realiza la vaporización al aire a una temperatura demasiado alta, se bloquean los poros de la superficie y se impide que se produzca una impregnación posterior proporcionando baja TRS (C2). Si se lleva a cabo el tratamiento térmico en una atmósfera oxidante a una menor temperatura, la impregnación puede ser satisfactoria, pero proporciona propiedades magnéticas inaceptables (C1).

No puede vaporizarse la cera de EBS (muestra D) a 350°C, pero se elimina de la pieza compactada por encima de 400°C. Si la temperatura de vaporización es demasiado baja, el lubricante orgánico residual bloqueará los poros. Se va-

poriza estearato de Zn por encima de 480°C, pero deja ZnO lo que conduce a piezas compactadas escasamente impregnadas que tienen baja resistencia. Se prefiere la mayor temperatura de vaporización posible ya que esto proporciona la relajación de tensión deseada y por tanto disminuye la coercitividad y la pérdida de núcleo.

Ejemplo 3

5 En este ejemplo, se usó polvo Somaloy® 500, disponible de Höganäs AB, que tiene un tamaño medio de partícula más pequeño que el tamaño medio de partícula de Somaloy®700. Se mezcló Somaloy®500 con el 0,5% en peso de estearamida y se compactó a 800 MPa usando una temperatura de troquel de herramienta de 80°C. Se sometieron adicionalmente dos muestras de pieza compactada a un tratamiento térmico en gas inerte durante 15 minutos a 500°C (muestra F y G). Se sometió adicionalmente la muestra G a impregnación según la invención usando una resina acrílica anaerobia reforzada con CNT.

Se midieron las propiedades magnéticas y mecánicas según el ejemplo 1.

Tabla 3

Muestra	Densidad [g/cm ³]	TRS [MPa]	Resistividad [□Ohm*m]	Pérdida de núcleo [W/kg]
F (estearamida)	7,36	45	200	65
G (estearamida)	7,36	130	200	65

15 La tabla 3 muestra claramente que la invención puede usarse para fabricar componentes a base de polvos eléctricamente aislados que tienen un tamaño de partícula más fino.

Ejemplo 4

20 Como material de partida se usó Somaloy®700, disponible de Höganäs AB,. Se mezclaron todas las muestras de polvo con el 0,3% en peso de un lubricante orgánico, estearamida. Se compactaron las composiciones a 1100 MPa para dar barras para determinar TRS (30x12x6 mm) de densidad de 7,58 g/cm³. Se controló la temperatura de troquel hasta una temperatura de 80°C. Se midieron las propiedades mecánicas según el ejemplo 1 y se resumen en la tabla 4 a continuación.

25 Tras la compactación, se sometieron las muestras a un tratamiento térmico en atmósfera inerte durante 15 minutos a 550°C. Tras esto se impregnó la red porosa de las piezas compactadas según la invención usando diversos tipos de impregnantes, es decir sistemas poliméricos curables reforzados. Todos los materiales compuestos de polímeros líquidos muestran una baja viscosidad a la temperatura ambiental. Como refuerzo se usó SWNT con el 1,0% en peso de polímero.

Tabla 4

Muestra	Resina polimérica	Endurecedor	Refuerzo	TRS a TA [MPa]	TRS a 150°C [MPa]
H (Ref)	Ninguno	Ninguno	Ninguno	40	40
I	Polímero de tipo epoxídico (Amroy G4)	Amroy CA 25	Ninguno	70	50
			CNT	130	110
J	Polímero de tipo epoxídico (TGDDM)	Isoforon-diamina	Ninguno	65	60
			CNT	120	110
K	Polímero de tipo acrílico (Omnifit 230M)	Anaerobio	Ninguno	60	45
			CNT	120	105
L	Polímero termoplástico (PP)	Ninguno	Ninguno	70	65
			CNT	120	110

Tal como puede observarse a partir de la tabla 4, la TRS mejora significativamente para todos los tipos, pero cuando se refuerzan la mejora de la resistencia mecánica (por ejemplo TRS) es superior. Eligiendo cuidadosamente el sistema polimérico (es decir, el impregnante) puede conservarse la resistencia mecánica a temperaturas de 150°C o mayores.

Ejemplo 5

5 Como material de partida se usó Somaloy®700, disponible de Höganäs AB. Se mezclaron todas las muestras de polvo con el 0,3% en peso de un lubricante orgánico, estearil-erucamida (SE). Se compactaron las composiciones a 800 MPa o 1100 MPa usando una temperatura de troquel de 60°C, hasta una densidad de 7,54 g/cm³, excepto para la muestra M3, que se compactó hasta 7,63 g/cm³ usando el 0,2% en peso de SE.

10 Tras la compactación se sometieron las muestras a un tratamiento térmico en atmósfera inerte a 550°C durante 15 minutos. Tras esto, se rellenó la red porosa de las piezas compactadas usando diversos tipos de impregnantes, tales como sistemas poliméricos curables o aceites no curables, o bien reforzados o bien no. Todos los impregnantes muestran una baja viscosidad a la temperatura ambiental y se enumeran en la tabla 5.

Se midieron las propiedades magnéticas en cilindros de OD64xH20 mm tras mecanización convirtiéndolos en toroides de OD64/ID35 x H14,5 mm (100 impulsos y 50 sentidos).

15 Tabla 5

Impregnante	Refuerzo	TRS a TA [MPa]	Coercitividad [A/m]	Permeabilidad máx.	Capacidad de mecanización
M. Resina epoxídica	1. Ninguno	70	180	500	Aceptable
	2. CNT	120	175	550	Excelente
	3. CNT*	100	170	570	Buena
N. Resina acrílica (Loctite a 290)	1. Ninguno	80	182	350	Aceptable
	2. CNT	130	178	450	Buena
O. Material termoplástico (LDPE)	1. Ninguno	60	184	450	Aceptable
	2. CNT	120	180	550	Excelente
P. Aceite (Nimbus® 410)	Ninguno	45	185	280	Mala
Q. Loctite® Resino RTC	Ninguno	65	180	360	Aceptable
R. Referencia 1 tratado con vapor**	--	120	225	250	Muy mala
S. Referencia 2 Convencional***	--	55	210	230	Mala
* Densidad prensada de 7,63 g/cm ³ ** Mecanizado tras tratamiento con vapor *** mecanizado en verde y posteriormente tratado térmicamente al aire a 530°C					

La baja permeabilidad puede indicar la presencia de grietas y laminación, lo que se deriva de fuerzas abrasivas y vibraciones durante el trabajo de mecanización. Además, puede aumentarse la fuerza coercitiva si se reducen las propiedades de mecanización. Signos de malas propiedades de mecanización son acabado de superficie borroso, roturas, grietas y desgaste de la herramienta. Las muestras P a S se incorporan para la comparación.

20 Las piezas que se han mecanizado en verde (S) y oxidado para determinar la resistencia mejorada (R), no solo muestran una alta coercitividad, sino también malas propiedades de mecanización y, por tanto, malas propiedades magnéticas. Pueden obtenerse excelentes propiedades magnéticas tras la mecanización cuando el impregnador muestra buenas propiedades de mecanización junto con una alta resistencia mecánica, especialmente las muestras M-2, N-2, y O-2.

REIVINDICACIONES

1. Método para producir una pieza de material compuesto, **caracterizado** el método **porque** comprende:
- compactar una composición de polvo magnético blando que comprende un lubricante para dar un cuerpo compactado;
 - calentar el cuerpo compactado hasta una temperatura por encima de la temperatura de vaporización del lubricante de manera que se elimina el lubricante sustancialmente del cuerpo compactado;
 - someter el cuerpo compactado tratado térmicamente obtenido a un material compuesto de polímero líquido que comprende nanotubos de carbono; y
 - solidificar el cuerpo compactado tratado térmicamente que comprende material compuesto de polímero líquido mediante secado y/o mediante al menos un tratamiento de curado.
2. Método según una cualquiera de la reivindicación 1, en el que las partículas en la composición de polvo comprenden un recubrimiento inorgánico, eléctricamente aislante.
3. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, comprendiendo el método además la etapa de reducir la presión del cuerpo compactado tratado térmicamente sometido a un material compuesto de polímero líquido durante un periodo de tiempo.
4. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, comprendiendo el método además la etapa de elevar la temperatura del cuerpo compactado tratado térmicamente sometido a un material compuesto de polímero líquido.
5. Método según la reivindicación 3 ó 4, comprendiendo el método además la etapa de aumentar la presión hasta la presión atmosférica o superior tras haberse reducido la presión.
6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que los nanotubos de carbono comprenden nanotubos de pared única.
7. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el material compuesto de polímero líquido comprende una resina orgánica curable elegida del grupo de
- resina termoestable,
 - material termoplástico, y
 - materiales acrílicos anaerobios.
8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el lubricante se elige del grupo de
- amidas primarias,
 - amidas secundarias de ácidos grasos saturados o insaturados,
 - alcoholes grasos saturados o insaturados,
 - ceras de amidas, tales como etilen-bis-estearamida, y
 - combinaciones de los mismos.
9. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la etapa de calentar el cuerpo compactado comprende además una etapa de sinterización del cuerpo compactado.
10. Pieza de material compuesto que comprende una composición de polvo magnético blando compactado, y un material compuesto de polímero, comprendiendo el material compuesto de polímero nanotubos de carbono formando la pieza de material compuesto una red interpenetrante entre la composición de polvo y el material compuesto de polímero.
11. Pieza de material compuesto según la reivindicación 10, que comprende nanotubos de carbono de pared única.