

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 011**

51 Int. Cl.:

H01F 1/24 (2006.01)

B22F 1/02 (2006.01)

B22F 3/00 (2006.01)

H01F 1/33 (2006.01)

H01F 27/255 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05721628 .5**

96 Fecha de presentación: **29.03.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1737003**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.12.2006**

54 Título: **Material magnético blanco y núcleo magnético de polvo**

30 Prioridad:
31.03.2004 JP 2004103686
31.03.2004 JP 2004103687

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
22.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
22.05.2012

73 Titular/es:
SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.
5-33 KITAHAMA 4-CHOME, CHUO-KU
OSAKA-SHI, OSAKA 541-0041, JP

72 Inventor/es:
HIROSE, Kazuhiro;
TOYODA, Haruhisa;
NISHIOKA, Takao;
IGARASHI, Naoto;
MAEDA, Toru y
SHIMADA, Yoshiyuki

74 Agente/Representante:
Fúster Olaguibel, Gustavo Nicolás

ES 2 381 011 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

Material magnético blanco y núcleo magnético de polvo.

Campo técnico

5 La presente invención se refiere generalmente a un material magnético blando y a un núcleo magnético de polvo. Más específicamente, la presente invención se refiere a un material magnético blando y a un núcleo magnético de polvo provisto de una pluralidad de partículas magnéticas metálicas cubiertas con recubrimiento aislante.

Técnica anterior

10 Se describirá una primera tecnología de base. En productos tales como válvulas y motores electromagnéticos ha habido una tendencia hacia la sustitución de las placas de acero electromagnéticas con núcleos magnéticos de polvo que tienen características magnéticas superiores a lo largo de un amplio intervalo de frecuencias. Un ejemplo de un procedimiento para fabricar este tipo de núcleo magnético de polvo se describe en la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público número Hei 8-100203 (Documento de patente 1), en el que se fabrica un compacto sin sinterizar para formar una parte de material compuesto metálico usando metalurgia de polvo.

15 Según el procedimiento descrito en el Documento de patente 1, un aditivo de deslizamiento se aplica a las superficies de la pared de un molde electrostáticamente en forma de un aerosol de partículas sólidas o gotitas líquidas. Sería preferible que las gotitas líquidas o las partículas sólidas tuvieran un diámetro de partícula no superior a 100 micrómetros, más preferentemente no superior a 50 micrómetros, e incluso más preferentemente no superior a 15 micrómetros. A continuación, el molde se llena de una composición de polvo metálico y éste se comprime para formar el compacto sin sinterizar. Un compacto sin sinterizar con una densidad especialmente alta se obtiene cuando el compacto fabricado de este modo contiene lubricante interno a una proporción del 0,1 por ciento en peso al 0,4 por ciento en peso, preferentemente del 0,2 por ciento en peso al 0,3 por ciento en peso.

20 Por tanto, la publicación de patente japonesa abierta a consulta por el público número Hei 9-104902 describe un procedimiento de compactación de polvo que busca mejorar las propiedades de material de un compacto y la aptitud para ser trabajado el compacto (Documento de patente 2). En el procedimiento de compactación de polvo descrito en el Documento de patente 2, un lubricante sólido formado a partir de un ácido graso o un jabón metálico se pulveriza sobre un polvo o las paredes internas de un molde antes de que el molde se llene con el polvo. Sería preferible que la cantidad de lubricante sólido pulverizada fuera del 0,001 por ciento en peso al 2 por ciento en peso. Por ejemplo, podría pulverizarse ácido esteárico sobre las paredes internas de un molde a una proporción del 0,1 por ciento en peso.

30 Se describirá una segunda tecnología de base. En partes eléctricas tales como núcleos de motores de núcleos de transformadores ha habido una demanda de mayores densidades y diseños más compactos, a la vez que se permita un control preciso con baja potencia. Como resultado, ha habido un desarrollo activo de núcleos magnéticos de polvo usados para fabricar estas partes eléctricas que tienen características magnéticas superiores, especialmente en frecuencias de intervalo medio y alto. Un ejemplo de un procedimiento para fabricar este tipo de núcleo magnético de polvo es añadir un lubricante orgánico al polvo de hierro que ha sido tratado superficialmente para formar un recubrimiento de fosfato. El polvo mixto obtenido se compacta para formar un compacto. Para eliminar las distorsiones generadas durante la compactación se aplica tratamiento térmico al compacto.

40 Por tanto, la traducción japonesa de la solicitud internacional PCT Hei 6-507928 describe una composición en polvo magnética usada para partes magnéticas y un procedimiento para prepararla (Documento de patente 3). La composición en polvo magnética descrita en el Documento de patente 3 contiene: polvo de hierro recubierto con una resina termoplástica; y un polvo de nitrato de boro mezclado preferentemente a una proporción del 0,05 por ciento al 0,4 por ciento con respecto al peso del polvo de hierro recubierto.

Divulgación de la invención

Problemas a resolver por la invención

45 En la primera tecnología de base descrita anteriormente, el Documento de patente 1 y el Documento de patente 2 usan un lubricante o lubricante sólido predeterminado para reducir la fricción durante la compactación. Sin embargo, si se usa una gran cantidad de este lubricante, una capa no magnética absorbe una alta proporción de núcleo magnético de polvo obtenido por compactación, reduciéndose las características magnéticas del núcleo magnético de polvo. Si se usa una pequeña cantidad de lubricante, la lubricación durante la compactación es inadecuada, haciendo que los polvos metálicos se froten entre sí. Como esto introduce una distorsión significativa dentro de los polvos metálicos, pueden reducirse las características magnéticas del núcleo magnético de polvo obtenido. Por tanto, si la lubricación es inadecuada durante la compactación, el molde puede no llenarse con el polvo metálico de una forma uniforme, o la densidad del polvo puede ser inadecuada. Esto puede conducir a densidad irregular o reducida en el núcleo magnético de polvo.

55 Por tanto, en la segunda tecnología de base descrita anteriormente, una gran cantidad de lubricante orgánico puede añadirse al polvo de hierro recubierto con fosfato para prevenir que la fricción durante la compactación destruya el recubrimiento de fosfato. Sin embargo, esto aumenta demasiado la proporción de lubricante orgánico en el núcleo magnético de polvo, conduciendo a un aumento de la pérdida por histéresis en el núcleo magnético de polvo obtenido. Por otra parte, el añadir una cantidad muy pequeña de lubricante orgánico puede limitar el aumento en la pérdida por histéresis, pero el recubrimiento de fosfato se destruirá durante la compactación, conduciendo a un aumento por pérdida por corrientes de Eddy en el núcleo magnético de polvo.

60 Por tanto, como el lubricante orgánico tiene una temperatura de descomposición térmica relativamente baja, el uso de una alta temperatura para tratar el compacto puede conducir a la descomposición térmica del lubricante orgánico

y a la dispersión del lubricante en el polvo de hierro. Esto puede conducir a características magnéticas reducidas para el núcleo magnético de polvo obtenido. Además, el carbono (C) en el lubricante orgánico queda en el núcleo magnético de polvo como residuo. Como el carbono tiene una resistencia eléctrica muy baja, puede conducir a continuidad entre los polvos de hierro, aumentando así la pérdida por corrientes de Eddy entre partículas en el núcleo magnético de polvo

5 Por tanto, si el núcleo magnético de polvo se usa a una alta temperatura, el lubricante orgánico contenido en el núcleo magnético de polvo puede ablandarse o fundirse. Esto reducirá significativamente la resistencia del núcleo magnético de polvo.

10 Por tanto, la composición en polvo magnética en el Documento de patente 3 contiene polvo de nitruro de boro en lugar de un lubricante orgánico. Sin embargo, como la proporción de polvo de nitruro de boro en el Documento de patente 3 es demasiado alta, la proporción de cuerpo magnético es pequeña. Esto conduce a una densidad de flujo magnético reducida de la composición en polvo magnética y a un aumento de la pérdida de hierro del aumento de pérdida por histéresis.

15 El documento US 2003/047706 A1 desvela un polvo mixto útil como material de partida para el núcleo de polvo que comprende una mezcla uniforme de un polvo magnético blando y una resina de aglutinante de manera que el núcleo de polvo resultante tiene una resistencia eléctrica que puede suprimir una corriente de Eddy entre las partículas pulverulentas magnéticas blandas y la alta resistencia mecánica a temperatura ambiente y, por tanto, a altas temperaturas. En el polvo mixto, la resina de aglutinante está hecha de un polvo de resina fenólica que tiene grupos metilol en la molécula y preferentemente tiene un tamaño de partícula promedio de 30 μm o inferior y en el que cuando el polvo de resina fenólica se disuelve en metanol hirviendo en gran exceso, un contenido de una materia sin disolver es al menos el 4 % en peso basado en el total de la resina fenólica. También se describen un núcleo de polvo obtenido a partir del polvo mixto y su procedimiento de fabricación.

20 El documento US 6.706.206 B1 describe un material moldeado por compresión, en particular para producir un material compuesto magnéticamente blando, que incluye un polvo bruto que presenta propiedades magnéticamente blandas, un compuesto termoplástico y un lubricante. El lubricante es especialmente ácido esteárico. El material moldeado por compresión se usa para producir un material compuesto magnéticamente blando cuya fabricación incluye las etapas de procedimiento de preparación del material moldeado por compresión, moldeo del material moldeado por compresión a una temperatura inferior al punto de fusión del compuesto termoplástico, primer tratamiento térmico del material moldeado por compresión moldeado a una temperatura inferior al punto de fusión del compuesto termoplástico y segundo tratamiento térmico del material moldeado por compresión moldeado a una temperatura superior al punto de fusión del compuesto termoplástico. El material compuesto magnéticamente blando es adecuado para fabricar componentes magnéticamente blandos resistentes a la deformación por calor, resistentes a la corrosión y resistentes al combustible para controladores y actuadores de alta velocidad.

25 El objeto de la presente invención es vencer los problemas descritos anteriormente y proporcionar un material magnético blando que pueda proporcionar características magnéticas deseadas después de la compactación y un núcleo magnético de polvo fabricado a partir de este material magnético blando. Otro objeto de la presente invención es proporcionar un núcleo magnético de polvo, un material magnético blando y procedimiento para fabricar un núcleo magnético de polvo que tiene características magnéticas deseadas.

Medios para resolver el problema

35 Según un aspecto de la presente invención se proporciona un material magnético blando usado para fabricar núcleos magnéticos de polvo que comprende:

(i) partículas magnéticas de material compuesto formadas por un recubrimiento aislante que contiene fosfato y/u óxido de sal metálica y que rodea la superficie de las partículas magnéticas metálicas; y

(ii) basándose en las partículas magnéticas de material compuesto (i)

40 - 0,001-0,025 % en peso de un lubricante particulado fino que incluye un jabón metálico y que tiene un diámetro de partícula medio de $\leq 2,0 \mu\text{m}$; o

45 - 0,001-0,1 % en peso de un lubricante particulado fino que incluye un lubricante inorgánico que tiene una estructura cristalina hexagonal y que tiene un diámetro de partícula medio de $\leq 2,0 \mu\text{m}$.

Por tanto, la presente invención proporciona un núcleo magnético de polvo usando este material magnético blando. Realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

50 En este material magnético blando, la proporción de lubricante formada como partículas finas es al menos el 0,001 por ciento en masa, haciendo posible obtener lubricación adecuada entre las partículas magnéticas de material compuesto durante la compactación cuando se fabrica un núcleo magnético de polvo. Por tanto, limitando la proporción del lubricante formado como partículas finas, la distancia entre las partículas magnéticas metálicas no llega a ser demasiado grande. Esto hace posible prevenir la creación de campos desmagnetizantes entre las partículas magnéticas metálicas (creados debido a que la formación de polos magnéticos en las partículas magnéticas metálicas conduce a pérdida de energía), y puede limitarse el aumento de la pérdida por histéresis resultante de campos desmagnetizantes. Por tanto, limitando la proporción en volumen de la capa no magnética en el núcleo magnético de polvo es posible prevenir la disminución de la densidad de flujo magnético de saturación.

60 Además, el recubrimiento aislante que contiene fosfato y/u óxido de sal metálica proporciona lubricación superior. Como resultado, aunque el recubrimiento aislante se frote entre sí durante la compactación, no se genera fricción significativa.

5 Por tanto, en la presente invención, las ventajas proporcionadas por el lubricante formado como partículas finas y las ventajas proporcionadas por el recubrimiento aislante se combinan para mejorar significativamente la lubricación durante la compactación. Como resultado puede prevenirse la destrucción del recubrimiento aislante durante la compactación y prevenirse la introducción de distorsión significativa en las partículas magnéticas metálicas. Esto hace posible obtener un núcleo magnético de polvo con baja pérdida por corrientes de Eddy y pérdida por histéresis y con características magnéticas deseadas.

10 El lubricante se forma como partículas finas que tienen un diámetro de partícula medio no superior a 2,0 micrómetros. Con este material magnético blando, el lubricante formado como partículas finas puede interponerse con una mayor probabilidad entre las partículas magnéticas de material compuesto durante la operación de compactación realizada para fabricar el núcleo magnético de polvo. Como resultado, incluso usando una cantidad muy pequeña no superior al 0,1 por ciento en masa, el lubricante formado a partir de las partículas finas puede actuar de aditivo fiable que proporciona lubricación entre las partículas magnéticas de material compuesto.

15 El lubricante que va a formarse como partículas finas incluye un jabón metálico y/o un lubricante inorgánico con una estructura cristalina hexagonal. Un lubricante inorgánico es un lubricante que tiene como componente principal un material que no contiene carbono (C) o un alótropo del carbono, que incluye grafito, que es un alótropo del carbono.

20 Con este material magnético blando, si el lubricante formado como partículas finas contiene jabón metálico, el jabón metálico proporciona lubricación superior de manera que la fricción entre partículas magnéticas de material compuesto durante la compactación puede reducirse de una manera eficaz. Si el lubricante formado como partículas finas contiene un lubricante inorgánico que tiene una estructura cristalina hexagonal, el lubricante inorgánico se forma con una estructura en capas. La escisión que tiene lugar en la estructura en capas del lubricante inorgánico proporciona lubricación superior aún cuando se use una proporción muy baja de no más del 0,1 por ciento en masa. Más específicamente, si la compactación está realizándose para fabricar el núcleo magnético de polvo, la presencia del lubricante inorgánico entre las partículas magnéticas de material compuesto hace que se desprenda la superficie más externa de las capas cristalinas del lubricante inorgánico que está en contacto con las partículas magnéticas de material compuesto, reduciéndose significativamente la fricción entre las partículas. Como resultado, se previene una fuerte fricción entre las partículas magnéticas de material compuesto durante la compactación, y se limita la introducción de distorsión significativa en las partículas. Por tanto, en comparación con los lubricantes orgánicos, los lubricantes inorgánicos generalmente tienen altas temperaturas de descomposición térmica y proporcionan mayor resistencia al calor. Por tanto, cuando se fabrica el núcleo magnético de polvo, el calentamiento puede realizarse a altas temperaturas sin producir la degradación o el ablandamiento del lubricante inorgánico.

30 Sería preferible que una proporción del lubricante formado como partículas finas con respecto a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto fuera al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa. Con este material magnético blando, la creación de campos desmagnetizantes entre las partículas magnéticas metálicas se limita adicionalmente, mientras que la proporción de núcleo magnético de polvo absorbido por la capa no magnética puede reducirse adicionalmente.

35 Sería preferible incluir adicionalmente una resina termoplástica interpuesta entre la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto a una proporción de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,1 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto. Con este material magnético blando, la inclusión de resina termoplástica, además del lubricante formado como partículas finas, hace posible unir firmemente partículas magnéticas de material compuesto adyacentes. El efecto adhesivo de la resina termoplástica puede mejorar la resistencia del núcleo magnético de polvo. Por tanto, cuando el compacto se procesa para fabricar el núcleo magnético de polvo, el efecto adhesivo previene que se desprendan partículas magnéticas de material compuesto de superficies que se han procesado debido a tensión de procesamiento. Como resultado, las superficies que van a procesarse pueden tener baja aspereza superficial y buena maquinabilidad. Por tanto, la adición de resina termoplástica puede mejorar el aislamiento entre partículas magnéticas de material compuesto. Como resultado, puede reducirse adicionalmente la creación de corrientes de Eddy entre partículas y la pérdida de hierro en el núcleo magnético de polvo.

40 Estas ventajas pueden proporcionarse adecuadamente con una proporción de resina termoplástica de al menos el 0,001 por ciento en masa. Por tanto, usando una proporción de resina termoplástica que es no superior al 0,1 por ciento en masa se previene que la proporción de núcleo magnético de polvo que absorbe la capa no magnética sea demasiado alta. Esto previene la reducción en la densidad de flujo magnético del núcleo magnético de polvo.

45 Un núcleo magnético de polvo según otro aspecto de la presente invención es un núcleo magnético de polvo fabricado usando un material magnético blando según la reivindicación 1. Con este núcleo magnético de polvo, la reducida pérdida por corrientes de Eddy y la reducida pérdida por histéresis hace posible lograr características magnéticas con baja pérdida de hierro. Cuando se fabrica un núcleo magnético de polvo puede añadirse otra materia orgánica para mejorar la resistencia y la resistencia al calor. Las ventajas de la presente invención todavía se proporcionarán incluso con la presencia de estos materiales orgánicos.

50 Sería preferible que el núcleo magnético de polvo tuviera una relación de llenado de al menos el 95 por ciento. Cuando se usa cualquiera de los materiales magnéticos blandos descritos anteriormente con este tipo de núcleo magnético de polvo es posible limitar la cantidad de lubricante añadida, a la vez que se consigue una lubricación superior, haciéndose así posible fabricar un núcleo magnético de polvo con una relación de carga mejorada. Esto mejora la resistencia del núcleo magnético de polvo, proporcionando características magnéticas con una alta densidad de flujo magnético.

55 Según un aspecto, la presente invención proporciona un material magnético blando usado para fabricar núcleos magnéticos de polvo, material magnético blando que incluye: una pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto formadas a partir de una partícula magnética metálica y un recubrimiento aislante que rodea la superficie de la partícula magnética metálica y que contiene un fosfato y/u óxido de sal metálica; y un polvo lubricante

que contiene un jabón metálico y se añade a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto a una proporción de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa. El diámetro de partícula medio del polvo lubricante es no superior a 2,0 micrómetros.

5 Con este material magnético blando, el diámetro de partícula medio del polvo lubricante se fija para que sea no superior a 2,0 micrómetros de manera que cuando se realice la compactación para fabricar el núcleo magnético de polvo haya una mayor probabilidad de que las partículas lubricantes se interpongan entre las partículas magnéticas de material compuesto. Como resultado, incluso con una cantidad muy pequeña no superior al 0,1 por ciento en masa, el polvo lubricante puede actuar fiablemente como un lubricante entre las partículas magnéticas de material compuesto. Fijando la proporción de polvo lubricante para que sea al menos el 0,001 por ciento en masa es posible proporcionar esta ventaja adecuadamente. Por tanto, fijando la proporción del polvo lubricante para que sea no superior al 0,025 por ciento en masa se previene que la distancia entre las partículas magnéticas metálicas sea demasiado grande. Esto hace posible prevenir la creación de campos desmagnetizantes entre las partículas magnéticas metálicas (creados debido a que la formación de polos magnéticos en las partículas magnéticas metálicas conduce a pérdida de energía), y puede limitarse el aumento de la pérdida por histéresis resultante de campos desmagnetizantes. Por tanto, limitando la proporción en volumen de la capa no magnética en el núcleo magnético de polvo es posible prevenir la disminución de la densidad de flujo magnético de saturación.

Además, el recubrimiento aislante que contiene fosfato y/u óxido de sal metálica proporciona lubricación superior. Como resultado, aunque el recubrimiento aislante se frote entre sí durante la compactación, no se genera fricción significativa.

20 Por tanto, en la presente invención, las ventajas proporcionadas por el polvo de lubricante y las ventajas proporcionadas por el recubrimiento aislante se combinan para mejorar significativamente la lubricación durante la compactación. Como resultado puede prevenirse la destrucción del recubrimiento aislante durante la compactación y prevenirse la introducción de distorsión significativa en las partículas magnéticas metálicas. Esto hace posible obtener un núcleo magnético de polvo con baja pérdida por corrientes de Eddy y pérdida por histéresis y con características magnéticas deseadas.

También sería preferible que el diámetro de partícula medio del polvo lubricante fuera no superior a 1,0 micrómetro. Con este material magnético blando, el polvo de lubricante puede interponerse con una mayor probabilidad entre las partículas magnéticas de material compuesto durante la operación de compactación realizada para fabricar el núcleo magnético de polvo. Esto hace posible mejorar más eficazmente la lubricación durante la compactación.

30 La proporción de polvo lubricante con respecto a las múltiples partículas magnéticas de material compuesto es al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa. Con este material magnético blando se limita adicionalmente la creación de campos desmagnetizantes entre las partículas magnéticas metálicas, a la vez que puede reducirse adicionalmente la proporción del núcleo magnético de polvo absorbido por la capa no magnética.

35 También sería preferible que el jabón metálico fuera de al menos un tipo de material seleccionado de un grupo que consiste en estearato de cinc, estearato de calcio y estearato de aluminio. Con este material magnético blando, el polvo lubricante que contiene estos materiales proporciona lubricación superior de manera que puede reducirse de una manera eficaz la fricción entre partículas magnéticas de material compuesto durante la compactación.

40 Según otro aspecto de la presente invención, un núcleo magnético de polvo se fabrica a partir de cualquiera de los materiales magnéticos blandos descritos anteriormente. Con este núcleo magnético de polvo, la reducida pérdida por corrientes de Eddy y la reducida pérdida por histéresis hace posible lograr características magnéticas con baja pérdida de hierro. Cuando se fabrica un núcleo magnético de polvo puede añadirse otra materia orgánica para mejorar la resistencia y la resistencia al calor. Las ventajas de la presente invención todavía se proporcionarán incluso con la presencia de estos materiales orgánicos.

45 Según otro aspecto de la presente invención, un núcleo magnético de polvo incluye: una pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto unidas; y un lubricante inorgánico que tiene una estructura cristalina hexagonal interpuesta entre la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto y presente en una proporción inferior al 0,05 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto. Un lubricante inorgánico es un lubricante que tiene como componente principal un material que no contiene carbono (C) o un alótropo del carbono, que incluye grafito, que es un alótropo del carbono.

50 Por tanto, usando una proporción de lubricante inorgánico que es inferior al 0,05 por ciento en masa se previene que la proporción de núcleo magnético de polvo que absorbe la capa no magnética sea demasiado alta. Por tanto, en comparación con cuando no se añade el lubricante inorgánico se logra una mayor densidad cuando el núcleo magnético de polvo se fabrica usando la misma presión aplicada. Esto hace posible obtener un núcleo magnético de polvo con alta densidad de flujo magnético y alta resistencia.

55 Por tanto, sería preferible que el lubricante inorgánico contuviera al menos un tipo de material seleccionado de un grupo que consiste en nitruro de boro, disulfuro de molibdeno y disulfuro de tungsteno. En este núcleo magnético de polvo, el lubricante inorgánico que contiene estos materiales proporciona propiedades de lubricación, resistencia al calor y aislamiento superiores. Más específicamente, cuando se realiza la compactación para fabricar el núcleo magnético de polvo, las capas cristalinas similares a escamas que se desprenden de la superficie más externa del lubricante inorgánico se adhieren a la superficie de las partículas magnéticas de material compuesto. Esto mejora el aislamiento entre las partículas magnéticas de material compuesto cuando se forma un núcleo magnético de polvo. Por tanto, el lubricante inorgánico que contiene estos materiales no contiene carbono. Como resultado, es posible prevenir significativamente la baja resistividad eléctrica entre partículas magnéticas de material compuesto producidas por la presencia de carbono en el núcleo magnético de polvo. Por estos motivos, la pérdida por corrientes de Eddy en el núcleo magnético de polvo puede reducirse significativamente.

5 Cada una de la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto contiene una partícula magnética metálica y un recubrimiento aislante que rodea la superficie de la partícula magnética metálica. Con este núcleo magnético de polvo, la lubricación proporcionada por el lubricante inorgánico previene la destrucción del recubrimiento aislante durante la compactación realizada para fabricar el núcleo magnético de polvo. Esto hace posible obtener un núcleo magnético de polvo con baja pérdida por corrientes de Eddy.

También sería preferible que la proporción de lubricante inorgánico con respecto a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto fuera no superior al 0,01 por ciento en masa. Con este núcleo magnético de polvo, el lubricante inorgánico proporciona lubricación especialmente superior en este intervalo, permitiendo que las ventajas del lubricante inorgánico descrito anteriormente se proporcionen de un modo especialmente prominente.

10 Por los motivos facilitados anteriormente también sería preferible que el núcleo magnético de polvo incluyera adicionalmente una resina termoplástica entre las partículas magnéticas de material compuesto individuales a una proporción de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,1 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto.

15 Por tanto, por los motivos ya mencionados, sería preferible que el núcleo magnético de polvo tuviera una relación de llenado de al menos el 95 por ciento.

Un procedimiento para fabricar un núcleo magnético de polvo según la presente invención incluye: una etapa de formar un compacto compactando una mezcla que contiene una pluralidad de partículas magnéticas de material compuesto y un lubricante inorgánico; y una etapa de calentar el compacto a una temperatura de al menos 400 °C.

20 Con este procedimiento para fabricar un núcleo magnético de polvo, la resistencia al calor superior del lubricante inorgánico previene la degradación de características magnéticas de las partículas magnéticas de material compuesto debida a la descomposición térmica del lubricante inorgánico, aunque el calentamiento se realice a una temperatura alta de al menos 400 °C. Por tanto, mediante el calentamiento a una temperatura alta, las distorsiones presentes en las partículas magnéticas de material compuesto pueden reducirse adecuadamente. Esto hace posible fabricar un núcleo magnético de polvo con baja pérdida por histéresis.

25 Efecto ventajoso de la invención

30 Con la presente invención como se ha descrito anteriormente es posible proporcionar un material magnético blando que puede proporcionar características magnéticas deseadas después de la compactación y un núcleo magnético de polvo fabricado a partir de este material magnético blando. Por tanto, con la presente invención es posible proporcionar un núcleo magnético de polvo, un material magnético blando y procedimiento para fabricar un núcleo magnético de polvo que tiene características magnéticas deseadas.

Breve descripción de los dibujos

[Figura 1] Un dibujo en sección transversal simplificada de un núcleo magnético de polvo fabricado usando un material magnético blando según una primera realización de la presente invención.

35 [Figura 2] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de estearato de cinc y la densidad aparente en un primer ejemplo de la presente invención.

[Figura 3] Otra gráfica que muestra la relación entre las cantidades de estearato de cinc y la densidad aparente en el primer ejemplo de la presente invención.

[Figura 4] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de estearato de cinc y la capacidad de flujo en el primer ejemplo de la presente invención.

40 [Figura 5] Otra gráfica que muestra la relación entre las cantidades de estearato de cinc y la capacidad de flujo en el primer ejemplo de la presente invención.

[Figura 6] Una gráfica que muestra la relación entre los diámetros de partícula medios y las cantidades de estearato de cinc y la densidad aparente en un segundo ejemplo de la presente invención.

45 [Figura 7] Otra gráfica que muestra la relación entre los diámetros de partícula medios y las cantidades de estearato de cinc y la densidad aparente en un segundo ejemplo de la presente invención.

[Figura 8] Una gráfica que muestra la relación entre los diámetros de partícula medios y las cantidades de estearato de cinc y la capacidad de flujo en el segundo ejemplo de la presente invención.

[Figura 9] Otra gráfica que muestra la relación entre los diámetros de partícula medios y las cantidades de estearato de cinc y la capacidad de flujo en el segundo ejemplo de la presente invención.

50 [Figura 10] Un dibujo en sección transversal simplificada de un núcleo magnético de polvo fabricado usando un material magnético blando según una segunda realización de la presente invención.

[Figura 11] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de lubricante inorgánico y la densidad aparente en un cuarto ejemplo de la presente invención.

55 [Figura 12] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de lubricante inorgánico y la capacidad de flujo en el cuarto ejemplo de la presente invención.

[Figura 13] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de lubricante inorgánico y la pérdida de

hierro de un compacto en un quinto ejemplo de la presente invención.

[Figura 14] Otra gráfica que muestra la relación entre las cantidades de lubricante inorgánico y la pérdida de hierro de un compacto en el quinto ejemplo de la presente invención.

5 [Figura 15] Una gráfica que muestra la relación entre las cantidades de resina termoplástica y la pérdida de hierro de un compacto en un sexto ejemplo de la presente invención.

[Figura 16] Una gráfica que muestra la relación entre la tasa de llenado de un compacto y la pérdida de hierro en un séptimo ejemplo de la presente invención.

[Figura 17] Una gráfica que muestra la relación entre la temperatura de calentamiento y la pérdida de hierro de un compacto en un octavo ejemplo de la presente invención.

10 Explicación de los números referenciados

10: partícula magnética metálica; 20: recubrimiento aislante; 30: partícula magnética de material compuesto; 40: materia orgánica; 110: partícula magnética metálica; 120: recubrimiento aislante; 130: partícula magnética de material compuesto; 140, lubricante inorgánico.

Mejor modo para llevar a cabo la invención

15 Las realizaciones de la presente invención se describirán con referencias a las figuras.

(Primera realización)

20 Como se muestra en la Fig. 1, un núcleo magnético de polvo incluye una pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto formadas a partir de una partícula 10 magnética metálica y un recubrimiento 20 aislante que rodea la superficie de la partícula 10 magnética metálica. Una materia 40 orgánica está presente entre la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto. Las partículas 30 magnéticas de material compuesto están unidas entre sí por la materia 40 orgánica o por el engranaje de las proyecciones e indentaciones de las partículas 30 magnéticas de material compuesto.

25 Un material magnético blando según esta realización usado para fabricar el núcleo magnético de polvo mostrado en la Fig. 1 incluye: la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto formadas a partir de la partícula 10 magnética metálica y el recubrimiento 20 aislante; y un polvo lubricante (un lubricante en forma de partículas finas) añadido a una proporción predeterminada a las partículas 30 magnéticas de material compuesto y que sirve de materia 40 orgánica en el núcleo magnético de polvo de la Fig. 1 cuando se compacta.

30 La partícula 10 magnética metálica puede formarse a partir de, por ejemplo, hierro (Fe), una aleación basada en hierro (Fe)-silicio (Si), una aleación basada en hierro (Fe)-nitrógeno (N), una aleación basada en hierro (Fe)-níquel (Ni), una aleación basada en hierro (Fe)-carbono (C), una aleación basada en hierro (Fe)-boro (B), una aleación basada en hierro (Fe)-cobalto (Co), una aleación basada en hierro (Fe)-fósforo (P), una aleación basada en hierro (Fe)-níquel (Ni)-cobalto (Co) o una aleación basada en hierro (Fe)-aluminio (Al)-silicio (Si). La partícula 10 magnética metálica puede ser un único metal o una aleación.

35 El recubrimiento 20 aislante contiene fosfato y/u óxido de sal metálica. Además del fosfato férrico, que es un fosfato de hierro, ejemplos de fosfatos de sales metálicas incluyen fosfato de manganeso, fosfato de cinc, fosfato de calcio y fosfato de aluminio. Por tanto, el fosfato de sal metálica puede ser una sal metálica de material compuesto de fosfato tal como fosfato férrico dopado con una pequeña cantidad de aluminio. Ejemplos de óxidos incluyen óxido de silicio, óxido de titanio, óxido de aluminio y óxido de circonio. También pueden usarse aleaciones de estos metales. El recubrimiento 20 aislante puede formarse como una única capa como se muestra en la figura o puede formarse como múltiples capas.

40 El polvo lubricante en esta realización se forma a partir de un jabón metálico tal como estearato de cinc, estearato de litio, estearato de calcio, estearato de aluminio, palmitato de litio, palmitato de calcio, oleato de litio y oleato de calcio.

45 La proporción de polvo lubricante con respecto a la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto es al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa. Sería preferible que el polvo lubricante tuviera un diámetro de partícula medio no superior a 1,0 micrómetro. El diámetro de partícula medio mencionado aquí indica un diámetro de partícula D del 50 %, es decir, con un histograma de diámetros de partícula medidos usando el procedimiento de difracción por dispersión láser, el diámetro de partícula de partículas para el que la suma de la masa empezando desde el extremo inferior del histograma es el 50 % de la masa total.

50 El material magnético blando según la primera realización de la presente invención incluye: la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto formadas a partir de la partícula 10 magnética metálica y el recubrimiento 20 aislante que rodea la superficie de la partícula 10 magnética metálica y que contiene un fosfato y/u óxido de sal metálica; y el polvo lubricante que contiene un jabón metálico y añadido a la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto a una proporción de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa. El diámetro de partícula medio del polvo lubricante es no superior a 2,0 micrómetros.

55 A continuación se describirán un procedimiento para fabricar el material magnético blando según esta realización y fabricar el núcleo magnético de polvo mostrado en la Fig. 1 a partir del material magnético blando.

Primero se realiza una operación de recubrimiento predeterminada sobre las partículas 10 magnéticas metálicas para formar las partículas 30 magnéticas de material compuesto en las que las partículas 10 magnéticas

5 metálicas están recubiertas por el recubrimiento 20 aislante. Por tanto, para la clasificación se usa un tamiz con un grano de malla apropiado para preparar el polvo lubricante con un diámetro de partícula medio no superior a 2,0 micrómetros. También sería posible usar un jabón metálico comercialmente disponible con un diámetro de partícula medio de 0,8 micrómetros a 1,0 micrómetro (por ejemplo, "MZ-2" de NOF Corp. Ltd.) como polvo lubricante. A continuación, el polvo lubricante se añade a la proporción predeterminada a las partículas 30 magnéticas de material compuesto. Se usa una mezcladora en V para mezclar éstos y formar el material magnético blando de esta realización. No hay restricciones especiales en el procedimiento de mezclado usado.

10 A continuación, el material magnético blando obtenido se coloca en un molde y se moldea, por ejemplo, a una presión de 700 MPa a 1500 MPa. Ésta comprime el material magnético blando y produce un compacto. Sería preferible que la atmósfera en la que se hace la compactación fuera una atmósfera de gas inerte o una atmósfera descomprimida. Esto hace posible limitar la oxidación de las partículas 30 magnéticas de material compuesto producida por el oxígeno en aire abierto.

15 En comparación con el diámetro de partícula medio de aproximadamente 5 micrómetros a 10 micrómetros usado para el lubricante en la tecnología convencional, esta realización usa un polvo lubricante con un diámetro de partícula medio relativamente pequeño no superior a 2,0 micrómetros. Por tanto, incluso con la misma cantidad de lubricante añadida (proporción con respecto a la pluralidad de partículas 30 magnéticas de material compuesto), un mayor número de partículas de lubricante estará presente por unidad de volumen en el material magnético blando. Esto hace posible que haya una mayor probabilidad de que la partícula de lubricante esté presente entre las partículas 30 magnéticas de material compuesto. Por tanto, el recubrimiento 20 aislante que contiene el fosfato u óxido propio de sal metálica tiene propiedades lubricantes superiores. Este recubrimiento 20 aislante y el polvo lubricante posicionado entre las partículas 30 magnéticas de material compuesto hacen posible obtener lubricación superior durante la operación de compactación descrita anteriormente.

25 Por tanto, el estearato de cinc tiene una estructura en capas y proporciona propiedades de deslizamiento en las que las capas superficiales se desprenden sucesivamente. Además, el estearato de cinc tiene un alto grado de dureza en comparación con el estearato de calcio y el estearato de aluminio. Por estos motivos, cuando se usa estearato de cinc como polvo lubricante pueden obtenerse propiedades de lubricación especialmente superiores.

30 A continuación, el compacto obtenido compactando se calienta a una temperatura de al menos 400 °C e inferior a la temperatura de descomposición térmica del recubrimiento 20 aislante. Esto elimina las distorsiones y dislocaciones presentes en el compacto. Durante esta operación, como el calentamiento se realiza a una temperatura inferior a la temperatura de descomposición térmica del recubrimiento 20 aislante, el calentamiento no degradará el recubrimiento 20 aislante. Después del calentamiento, el compacto se procesa según convenga por extrusión, corte o similares, produciendo el núcleo magnético de polvo mostrado en la Fig. 1.

35 Con el material magnético blando y el núcleo magnético de polvo descritos anteriormente se proporcionan propiedades de lubricación superiores entre las partículas 30 magnéticas de material compuesto durante la compactación. Esto previene la destrucción del recubrimiento 20 aislante durante la compactación y limita la introducción de distorsión significativa dentro de las partículas 10 magnéticas metálicas. Por tanto, como la cantidad de polvo lubricante añadida es no superior al 0,1 por ciento en masa, la proporción de capa no magnética en el núcleo magnético de polvo se mantiene baja. Esto previene que la distancia entre las partículas 10 magnéticas metálicas sea demasiado grande y previene la generación de campos desmagnetizantes. Por estos motivos se reducen la pérdida por corrientes de Eddy y la pérdida por histéresis en el núcleo magnético de polvo, y puede proporcionarse un núcleo magnético de polvo con baja pérdida de hierro. Por tanto, como el material magnético blando de esta realización tiene propiedades de lubricación y propiedades de flujo superiores, el material magnético blando puede llenar un molde de una manera uniforme. Esto hace posible formar el núcleo magnético de polvo como un producto uniforme sin variaciones de densidad.

45 (Primer ejemplo)

Los ejemplos descritos a continuación se usaron para evaluar el material magnético blando según la primera realización y el núcleo magnético de polvo fabricado a partir de este material magnético blando.

50 Primero, para las partículas 30 magnéticas de material compuesto, una cantidad predeterminada de estearato de cinc (nombre de producto "MZ-2" de NOF Corp. Ltd., 0,8 micrómetros diámetro de partícula medio) se añade como polvo lubricante a polvo de hierro recubierto con fosfato (nombre de producto "Somaloy500" de Hogan Corp.). A continuación se usa una mezcladora en V para mezclar durante 1 hora. Se prepararon múltiples tipos de materiales magnéticos blandos que contenían cantidades diferentes de estearato de cinc con respecto al polvo de hierro recubierto con fosfato. Para la comparación se prepararon múltiples tipos de materiales magnéticos blandos que contenían cantidades diferentes de estearato de cinc añadidas a polvo de hierro sin recubrimiento de fosfato (nombre de producto "ABC100.30" de Hogan Corp.).

60 Con el fin de evaluar la lubricación del material magnético blando, la densidad aparente según "JIS Z 2504" y la capacidad de flujo según "JIS Z 2502" se midieron para los diferentes materiales magnéticos blandos preparados. La densidad aparente, también denominada en lo sucesivo densidad de empaquetamiento, se determina a partir del peso y el volumen cuando un recipiente cilíndrico con un volumen fijo se llena de un polvo que se coloca en caída libre según un procedimiento fijo. Valores mayores indican mejores propiedades de lubricación para el material magnético blando. Por tanto, la capacidad de flujo también se conoce como fluidez y velocidad de flujo y describe la facilidad con la que el polvo circula. La capacidad de flujo se indica como el tiempo requerido para que un peso fijo (50 g) de polvo mixto salga de un orificio que tiene una dimensión fija (4,0 mm de diámetro). Valores inferiores indican mejores propiedades de lubricación para el material magnético blando.

65 La Fig. 3 y la Fig. 5 son los resultados de medición de la Fig. 2 y la Fig. 4, respectivamente. Los resultados de medición para cantidades de estearato de cinc del 0 al 0,05 por ciento en masa se muestran en detalle.

Como se muestra en la Fig. 2 y la Fig. 3, cuando la cantidad de estearato de cinc añadida estaba en el intervalo de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,1 por ciento en masa, se obtuvo una alta densidad aparente si se usó polvo de hierro recubierto con fosfato. Por tanto, podría obtenerse densidad aparente especialmente alta cuando el intervalo de estearato de cinc añadido fuera no superior al 0,025 por ciento en masa. Similarmente, como se muestra en la Fig. 4 y la Fig. 5, cuando la cantidad de estearato de cinc añadida estaba en el intervalo de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,1 por ciento en masa, se obtuvo buena capacidad de flujo si se usó polvo de hierro recubierto con fosfato. Por tanto, se obtuvo capacidad de flujo especialmente buena cuando el intervalo de estearato de cinc añadido fue no superior al 0,025 por ciento en masa.

(Segundo ejemplo)

A continuación se preparó estearato de cinc de NOF Corp. Ltd. como polvo lubricante. Se realizó tamizado en seco para clasificar el polvo en cuatro tipos de estearato de cinc con diámetros de partícula medios de 0,8 micrómetros, 1,6 micrómetros, 2,3 micrómetros y 7,5 micrómetros. A continuación se añadieron cantidades predeterminadas a polvo de hierro recubierto con fosfato (nombre de producto "Somaloy500" de Hoganas Corp.) que servían de partículas 30 magnéticas de material compuesto, y se realizó la mezcla como en el primer ejemplo. Esto produjo múltiples tipos de materiales magnéticos blandos con diferentes diámetros de partícula medios de estearato de cinc y diferentes cantidades de estearato de cinc añadidas al polvo de hierro recubierto con fosfato.

Los materiales magnéticos blandos preparados de este modo se midieron para densidad aparente y capacidad de flujo como en el primer ejemplo. La Fig. 7 y la Fig. 9 son los resultados de medición de la Fig. 6 y la Fig. 8, respectivamente. Los resultados de medición para cantidades de estearato de cinc del 0 al 0,05 por ciento en masa se muestran en detalle.

Como muestran la Fig. 6 y la Fig. 7, podría obtenerse alta densidad aparente cuando el diámetro de partícula medio del estearato de cinc fuera no superior a 2,0 micrómetros. Por tanto, especialmente podría obtenerse alta densidad aparente cuando el diámetro de partícula medio del estearato de cinc fuera no superior a 1,0 micrómetro. Similarmente, como se muestra en la Fig. 8 y la Fig. 9, podría obtenerse buena capacidad de flujo cuando el diámetro de partícula medio del estearato de cinc fuera no superior a 2,0 micrómetros. Por tanto, especialmente podría obtenerse buena capacidad de flujo cuando el diámetro de partícula medio del estearato de cinc fuera no superior a 1,0 micrómetro.

Basándose en los resultados del primer ejemplo y el segundo ejemplo descritos anteriormente, se confirmó que el material magnético blando de la presente invención proporciona buenas propiedades de lubricación. Aunque podrían obtenerse resultados similares a aquellos tratados para el primer ejemplo y el segundo ejemplo para otros tipos de jabones metálicos (por ejemplo, estearato de aluminio, estearato de calcio), el uso de estearato de cinc como polvo lubricante proporciona los mejores resultados tanto para la densidad aparente como la capacidad de flujo. Esto puede ser debido a que el estearato de cinc se forma con una estructura en capas, pero también puede haber otros factores.

(Tercer ejemplo)

Se seleccionaron varios tipos de materiales magnéticos blandos usados en el segundo ejemplo y se compactaron para formar núcleos magnéticos de polvo con forma de anillo (30 mm de diámetro externo x 20 mm de diámetro interno x 5 mm de espesor). Se aplicó una presión de compactación de 1078 MPa (=11 ton/cm²). Los núcleos magnéticos de polvo obtenidos se devanaron uniformemente con bobinas (300 devanados primarios y 20 devanados secundarios) y se evaluaron las características magnéticas de los núcleos magnéticos de polvo. Para la evaluación se usó un trazador BH de Riken Denshi Co. (modelo ACBH-100K) con una densidad de flujo magnético de excitación de 1 T (10 kG) (kilogauss) y una frecuencia de medición de 1000 Hz. La Tabla 1 muestra los valores de pérdida de hierro medidos W_{10/1000} de los núcleos magnéticos de polvo.

La pérdida de hierro se indica como la suma de pérdida por histéresis y pérdida por corrientes de Eddy, y el valor se determina usando la siguiente fórmula en la que Kh es un coeficiente de pérdida por histéresis, Ke es un coeficiente de pérdida por corrientes de Eddy y f es la frecuencia.

$$W = Kh \times f + Ke \times f^2$$

[Tabla 1]

Diámetro de partícula medio de estearato de cinc (µm)	Pérdida de hierro W _{10/1000} (W/kg)								
	Cantidad de estearato de cinc añadida (% en masa)								
	0	0,0004	0,0010	0,0050	0,0100	0,0250	0,0500	0,1000	0,2500
0,8	305	204	159	145	162	180	185	195	324
1,6	305	245	191	174	194	216	222	234	389
2,3	305	367	286	261	292	324	333	351	583
7,5	305	477	372	339	379	421	433	456	758

Como se muestra en la Tabla 1, se obtuvo pérdida de hierro especialmente baja para materiales magnéticos blandos en los que el diámetro de partícula medio del estearato de cinc era no superior a 2,0 micrómetros y la cantidad

añadida era al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,025 por ciento en masa.

Si la cantidad de estearato de cinc usada como polvo lubricante añadida es demasiado baja, la ventaja proporcionada por la adición del estearato de cinc será inadecuada, conduciendo a la destrucción del recubrimiento de fosfato que sirve de recubrimiento 20 aislante durante la compactación. Por tanto, se reduce la capacidad de flujo entre partículas, conduciendo a un aumento de la distorsión que se introduce en las partículas de hierro durante la compactación. Se cree que la pérdida por corrientes de Eddy y la pérdida por histéresis aumentan por estos motivos, conduciendo al aumento de la pérdida de hierro. Si la cantidad de estearato de cinc añadida es demasiado alta, hay un aumento de la cantidad de la capa no magnética entre las partículas de hierro. Se cree que esto genera campos desmagnetizantes entre las partículas de hierro, conduciendo al aumento de la pérdida de hierro.

Por tanto, si el tamaño de partícula del estearato de cinc es pequeño, el estearato de cinc puede distribuirse uniformemente y delgadamente sobre la superficie de las partículas de hierro, maximizándose el efecto de lubricación. Si el tamaño de partícula del estearato de cinc es grande, la probabilidad de que esté presente entre partículas de hierro será menos, aunque la cantidad añadida sea la misma. Por tanto, se reduce el efecto de lubricación obtenido durante la compactación. Por tanto, en este ejemplo parece que se reduce la pérdida de hierro del núcleo magnético de polvo cuando el diámetro de partícula medio del estearato de cinc es no superior a 2,0 micrómetros.

Basándose en los resultados del tercer ejemplo descrito anteriormente, se confirmó que el núcleo magnético de polvo de la presente invención proporciona características magnéticas mejoradas.

(Segunda realización)

Como se muestra en la Fig. 10, un núcleo magnético de polvo incluye una pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto formadas a partir de una partícula 110 magnética metálica y un recubrimiento 120 aislante que rodea la superficie de la partícula 110 magnética metálica. Un lubricante 140 inorgánico que tiene una estructura cristalina hexagonal está presente entre la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto. Las partículas 130 magnéticas de material compuesto están unidas entre sí por el lubricante 140 inorgánico o por el engranaje de las proyecciones e indentaciones de las partículas 130 magnéticas de material compuesto.

El lubricante 140 inorgánico se forma con una estructura cristalina hexagonal tal como nitruro de boro (BN), disulfuro de molibdeno (MoS_2), disulfuro de tungsteno (WS_2) o grafito. El lubricante 140 inorgánico está contenido en el núcleo magnético de polvo a una proporción superior al 0 e inferior al 0,05 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto. Sería preferible que el lubricante 140 inorgánico estuviera contenido en el núcleo magnético de polvo a una proporción de al menos el 0,0005 por ciento en masa y no superior al 0,01 por ciento en masa. Sería más preferible que el lubricante 140 inorgánico estuviera contenido en el núcleo magnético de polvo a una proporción de al menos el 0,0005 por ciento en masa y no superior al 0,001 por ciento en masa.

La partícula 110 magnética metálica puede formarse a partir de, por ejemplo, hierro (Fe), una aleación basada en hierro (Fe)-silicio (Si), una aleación basada en hierro (Fe)-nitrógeno (N), una aleación basada en hierro (Fe)-níquel (Ni), una aleación basada en hierro (Fe)-carbono (C), una aleación basada en hierro (Fe)-boro (B), una aleación basada en hierro (Fe)-cobalto (Co), una aleación basada en hierro (Fe)-fósforo (P), una aleación basada en hierro (Fe)-níquel (Ni)-cobalto (Co) o una aleación basada en hierro (Fe)-aluminio (Al)-silicio (Si). La partícula 110 magnética metálica puede ser un único metal o una aleación.

Sería preferible que el diámetro de partícula medio de las partículas 110 magnéticas metálicas fuera al menos 100 micrómetros y no superior a 300 micrómetros. Con un diámetro de partícula medio de al menos 100 micrómetros es posible reducir la proporción, con respecto a toda la partícula 110 magnética metálica, de la región que es afectada por la tensión-deformación producida por la energía superficial de la partícula 110 magnética metálica. Esta tensión-deformación producida por la energía superficial de la partícula 110 magnética metálica es la tensión-deformación generada debido a distorsiones y defectos presentes sobre la superficie de la partícula 110 magnética metálica. Esto puede conducir a la obstrucción del desplazamiento de paredes de dominio. Como resultado, la reducción de la proporción de esta tensión-deformación con respecto a toda la partícula 110 magnética metálica puede reducir la pérdida por histéresis en el núcleo magnético de polvo.

Si se aplica un campo magnético de alta frecuencia a la partícula 110 magnética metálica, el efecto de la piel hace que se forme un campo magnético sólo sobre la superficie de la partícula, con una región en la que no se forma un campo magnético que se ha creado dentro de la partícula. Esta región dentro de la partícula sin campo magnético aumenta la pérdida de hierro de la partícula 110 magnética metálica. Fijando el diámetro de partícula medio de la partícula 110 magnética metálica para que sea no superior a 300 micrómetros puede limitarse la creación de una región sin campo magnético dentro de la partícula, reduciéndose así la pérdida de hierro para el núcleo magnético de polvo.

El diámetro de partícula medio mencionado aquí indica un diámetro de partícula D del 50 %, es decir, con un histograma de diámetros de partícula medidos usando el procedimiento de difracción por dispersión láser, el diámetro de partícula de partículas para el que la suma de la masa empezando desde el extremo inferior del histograma es el 50 % de la masa total.

El recubrimiento 120 aislante puede formarse, por ejemplo, tratando la partícula 110 magnética metálica con ácido fosfórico. Sería preferible que el recubrimiento 120 aislante contuviera un óxido. Además del fosfato férrico, que es un fosfato de hierro, ejemplos del recubrimiento 120 aislante que contiene un óxido incluyen aislantes de óxido tales como fosfato de manganeso, fosfato de cinc, fosfato de calcio, fosfato de aluminio, óxido de silicio, óxido de titanio, óxido de aluminio y óxido de circonio. El recubrimiento 120 aislante puede formarse como una única capa como se muestra en la figura o puede formarse como múltiples capas.

El recubrimiento 120 aislante sirve de capa de aislamiento entre las partículas 110 magnéticas metálicas.

Cubriendo la partícula 110 magnética metálica con el recubrimiento 120 aislante puede aumentarse la resistividad eléctrica ρ del núcleo magnético de polvo. Como resultado puede limitarse el flujo de corrientes de Eddy entre la partícula 110 magnética metálica y puede reducirse la pérdida de hierro resultante de la pérdida por corrientes de Eddy.

5 Sería preferible que el espesor promedio del recubrimiento 120 aislante fuera al menos 5 nm y no superior a 100 nm. El espesor promedio denominado en este documento se determina del siguiente modo. La composición de la película se obtiene mediante el análisis de composición (TEM-EDX: microscopio electrónico de transmisión-espectroscopía de rayos X de energía dispersiva) y el peso atómico se obtiene mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (EM-ICP). Éstos se usan para determinar el espesor equivalente. Además, se usan fotografías de TEM para observar directamente el recubrimiento y confirmar el orden del espesor equivalente calculado.

10 Fijando el espesor promedio del recubrimiento 120 aislante para que sea al menos 5 nm se limita la corriente de túnel que circula en el recubrimiento, limitándose así el aumento de pérdida por corrientes de Eddy producido por esa corriente de túnel. Por tanto, fijando el espesor promedio del recubrimiento 120 aislante para que sea no superior a 100 nm se previene que la distancia entre las partículas 110 magnéticas metálicas sea demasiado grande. Como resultado se previene la creación de un campo desmagnetizante entre las partículas 110 magnéticas metálicas, y se previene que aumente la pérdida por histéresis producida por la creación de un campo desmagnetizante. Por tanto, limitando la proporción de volumen de la capa no magnética en el núcleo magnético de polvo es posible limitar reducciones en la densidad de flujo magnético del núcleo magnético de polvo.

20 Una resina termoplástica puede interponerse entre la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto, además del lubricante 140 inorgánico. Si esto se hace, la resina termoplástica está contenida en el núcleo magnético de polvo a una proporción de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superior al 0,1 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto. La resina termoplástica se une firmemente entre la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto, mejorando la resistencia del núcleo magnético de polvo. Ejemplos de materiales que pueden usarse como resina termoplástica incluyen: poliimida termoplástica, una poliamida termoplástica, una poliamida-imida termoplástica, polietileno de alto peso molecular, poli(sulfuro de fenileno), poliamida-imida, poliétersulfona, poliéterimida o poliéter-éter-cetona. El polietileno de alto peso molecular se refiere a un polietileno con un peso molecular de al menos 100.000.

25 Un núcleo magnético de polvo según la segunda realización de la presente invención incluye: la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto unidas entre sí; y el lubricante 140 inorgánico formado con una estructura cristalina hexagonal e interpuesta entre la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto a una proporción superior al 0 e inferior al 0,05 por ciento en masa con respecto a la pluralidad de partículas 130 magnéticas de material compuesto.

30 A continuación se describirá un procedimiento para fabricar el núcleo magnético de polvo mostrado en la Fig. 10. Primero, las partículas 110 magnéticas metálicas se preparan usando atomización de agua o atomización de gas. A continuación se realiza una operación de recubrimiento predeterminada sobre las partículas 110 magnéticas metálicas para formar las partículas 130 magnéticas de material compuesto, en la que las partículas 110 magnéticas metálicas se recubren por el recubrimiento 120 aislante.

35 A continuación se añade una proporción predeterminada del lubricante 140 inorgánico a las partículas 130 magnéticas de material compuesto obtenidas, y se obtiene un polvo mixto mezclando con una mezcladora en V. También sería posible añadir una proporción predeterminada de resina termoplástica al mismo tiempo como lubricante 140 inorgánico. No hay restricciones especiales al procedimiento de mezclado. Ejemplos de procedimientos que pueden usarse incluyen: aleación mecánica, un molino de bolas vibratorio, un molino de bolas planetario, mecano-fusión, coprecipitación, deposición química de vapor (CVD), deposición física de vapor (PVD), chapado, atomización, vaporización y un procedimiento de sol-gel.

40 A continuación, el polvo mixto obtenido se coloca en un molde y se compacta, por ejemplo, a una presión de 700 MPa a 1500 MPa. Ésta comprime el polvo mixto y forma un compacto. Sería preferible que la compactación se realizara en una atmósfera de gas inerte o una atmósfera descomprimida. Esto hace posible limitar la oxidación del polvo mixto producida por el oxígeno en aire abierto.

45 Durante esta operación de compactación, la presencia del lubricante 140 inorgánico entre partículas 130 magnéticas de material compuesto adyacentes previene la fuerte fricción entre las partículas 130 magnéticas de material compuesto. Como el lubricante 140 inorgánico proporciona lubricación superior, el recubrimiento 120 aislante formado sobre la superficie superior de las partículas 130 magnéticas de material compuesto no se destruye aún cuando sólo se use una cantidad muy pequeña. Como resultado, las partículas 110 magnéticas metálicas permanecen recubiertas por el recubrimiento 120 aislante, haciendo posible que el recubrimiento 120 aislante actúe de capa de aislamiento fiable entre las partículas 110 magnéticas metálicas.

50 A continuación, el compacto obtenido compactando se calienta a una temperatura de al menos 400 °C e inferior a la temperatura de descomposición térmica del recubrimiento 120 aislante. Esto elimina las distorsiones y dislocaciones presentes en el compacto. Debido a que el lubricante 140 inorgánico tiene resistencia al calor superior, no hay descomposición térmica del lubricante 140 inorgánico incluso cuando se calienta a una temperatura alta de al menos 400 °C. Como resultado se previene que el lubricante 140 inorgánico se disperse en las partículas 110 magnéticas metálicas, y puede prevenirse que se degraden las características magnéticas de la partícula 110 magnética metálica. Por tanto, como el calentamiento se realiza a una temperatura que es inferior a la temperatura de descomposición térmica del recubrimiento 120 aislante, se previene la degradación del recubrimiento 120 aislante por la operación de calentamiento.

55 Después de calentar, el compacto se procesa según convenga por extrusión, corte o similares, produciendo el núcleo magnético de polvo mostrado en la Fig. 10.

5 Sería preferible que el núcleo magnético de polvo de la Fig. 10 fabricado como se ha descrito anteriormente tuviera una relación de llenado de al menos el 95 por ciento. La relación de llenado del núcleo magnético de polvo se determina dividiendo la densidad medida del núcleo medido, que incluye mediciones para el recubrimiento 120 aislante, el lubricante 140 inorgánico y el espacio entre las partículas 130 magnéticas de material compuesto, entre la densidad teórica de las partículas 110 magnéticas metálicas. La densidad teórica de las partículas 110 magnéticas metálicas no tiene en cuenta el recubrimiento 120 aislante y el lubricante 140 inorgánico, pero como estos absorben una proporción muy pequeña con respecto a la densidad global, este procedimiento puede proporcionar un valor que se aproxima a la relación de llenado real. Si la partícula 110 magnética metálica se forma a partir de una aleación, por ejemplo, si la partícula 110 magnética metálica se forma a partir de una aleación de hierro-cobalto, la densidad teórica de la partícula 10 110 magnética metálica puede obtenerse calculando (densidad teórica del hierro x relación de volumen del hierro en la partícula 110 magnética metálica) + (densidad teórica del cobalto x relación de volumen del cobalto en la partícula 110 magnética metálica).

15 Con el núcleo magnético de polvo y el procedimiento para fabricar el núcleo magnético de polvo descrito anteriormente, el uso del lubricante 140 inorgánico que tiene lubricación superior hace posible realizar compactación sin destruir el recubrimiento 120 aislante, aunque sólo se añade una cantidad muy pequeña de lubricante. Como resultado, el recubrimiento 120 aislante, que está adecuadamente protegido, puede reducir la pérdida por corrientes de Eddy en el núcleo magnético de polvo. Por tanto, como el núcleo magnético de polvo puede fabricarse con una pequeña cantidad del lubricante 140 inorgánico y con una alta relación de llenado, puede reducirse la pérdida por histéresis en el núcleo magnético de polvo. Como resultado, la reducción en la pérdida por corrientes de Eddy y la pérdida por histéresis hace 20 posible reducir la pérdida de hierro en el núcleo magnético de polvo. Por tanto, los aspectos de la estructura descritos para la primera realización y la segunda realización, por ejemplo, diámetro de partícula y cantidades añadidas, pueden implementarse de una realización a otra realización.

(Cuarto ejemplo)

25 Los ejemplos descritos a continuación se usaron para evaluar el material magnético blando según la segunda realización y el núcleo magnético de polvo fabricado a partir de este material magnético blando.

30 Primero se usa una mezcladora en V durante 2 horas para mezclar: polvo de hierro de Hoganas Corp. que sirve de partículas 130 magnéticas de material compuesto (nombre de producto "Somaloy500", 100 micrómetros de diámetro de partícula medio con recubrimiento de fosfato que sirve de recubrimiento 120 aislante formado sobre la superficie de las partículas de hierro que sirven de partículas 110 magnéticas metálicas); y nitruro de boro hexagonal (h-BN) de Mizushima Fermalloy Co., Ltd. que sirve de lubricante 140 inorgánico (2 micrómetros de diámetro de partícula medio). Esto produce 500 g de polvo mixto. Para esta operación se usaron diferentes cantidades de lubricante 140 inorgánico para obtener múltiples tipos de polvo mixto que contenían diferentes cantidades del lubricante 140 inorgánico. Por tanto, con el fin de comparación también se prepararon partículas 130 magnéticas de material compuesto que no contenían lubricante 140 inorgánico en absoluto.

35 Con el fin de evaluar la lubricación del lubricante 140 inorgánico, para los polvos mixtos se midieron la densidad aparente según "JIS Z 2504" y la capacidad de flujo según "JIS Z 2502". La densidad aparente, también denominada en lo sucesivo densidad de empaquetamiento, se determina a partir del peso y el volumen cuando un recipiente cilíndrico con un volumen fijo se llena de un polvo que se coloca en caída libre según un procedimiento fijo. Valores mayores indican mejores propiedades de lubricación del lubricante 140 inorgánico. Por tanto, la capacidad de 40 flujo también se conoce como fluidez y velocidad de flujo e indica la facilidad con la que el polvo circula. La capacidad de flujo se indica como el tiempo requerido para que un peso fijo (50 g) de polvo mixto salga de un orificio que tiene una dimensión fija (4,0 mm de diámetro). Valores inferiores indican mejores propiedades de lubricación para el lubricante 140 inorgánico.

45 Los resultados de medición para densidad aparente y la capacidad de flujo de los polvos mixtos se muestran en la Tabla 2. Estos valores están representados en la Fig. 11 y la Fig. 12.

[Tabla 2]

Cantidad de lubricante inorgánico (% en masa)		0	0,0005	0,0010	0,0050	0,0100	0,0250	0,1000
Densidad aparente (g/cm ³)	Somaloy500	3,07	3,58	3,70	3,04	3,06	3,07	2,88
Capacidad de flujo (s)	Somaloy500	8,62	6,40	6,17	8,60	8,51	8.62	8,47

50 Como se muestra en la Fig. 11, la mayor densidad aparente se obtuvo a un bajo contenido de aproximadamente 0,001 por ciento en masa para el lubricante 140 inorgánico. Como se muestra en la Fig. 12, la menor capacidad de flujo se obtuvo similarmente a un contenido de aproximadamente el 0,001 por ciento en masa para el lubricante 140 inorgánico. Basándose en esto se confirmó que el lubricante 140 inorgánico puede actuar adecuadamente como lubricante entre las partículas 130 magnéticas de material compuesto incluso para bajos contenidos del lubricante 140 inorgánico.

(Quinto ejemplo)

55 Los polvos mixtos preparados en el cuarto ejemplo se compactaron a una presión superficial de 980 MPa (10 ton/cm²) para formar compactos con forma de anillo (34 mm de diámetro externo x 20 mm de diámetro interno x 5 mm de altura). Se devanaron bobinas sobre el compacto obtenido (300 devanados primarios y 20 devanados secundarios), se aplicó un campo magnético y se midió la pérdida de hierro usando un trazador de curvas BH (a una densidad de flujo magnético de excitación de 1 (T: tesla) y una frecuencia de medición de 1 kHz).

A continuación, el compacto se calentó durante 1 hora en una atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 400 °C. La pérdida de hierro del compacto después de calentar se midió usando el mismo procedimiento, y se midió la densidad de flujo magnético B100 (la densidad de flujo magnético cuando se aplica un campo magnético de 7,96 KA/m (100 Oe) (oersteds)). También se midió la densidad del compacto.

5 Los valores obtenidos de estas mediciones se muestran en la Tabla 3, y estos valores están representados en la Fig. 13 y la Fig. 14. En la Fig. 14, el eje horizontal que representa de contenido el lubricante 140 inorgánico está indicado como una escala logarítmica.

[Tabla 3]

Cantidad de lubricante inorgánico (% en masa)	Densidad (g/cm ³)	Densidad de flujo magnético B100 (T)	Pérdida de hierro (peso/kg)	
			Antes del calentamiento	Después de del calentamiento
0,0000	7,6	1,562	252,7	772,6
0,0005	7,63	1,568	160,8	136,2
0,0010	7,65	1,576	156,2	133,7
0,0050	7,61	1,559	161,2	135,2
0,0100	7,63	1,565	163,3	137,2
0,0250	7. 61	1,563	167,7	147,2
0,0500	7,59	1,551	182,2	164,7
0,1000	7,55	1,512	184,1	167,4

10 Como muestran la Tabla 3, la Fig. 13 y la Fig. 14, se obtuvo menor pérdida de hierro para el compacto antes del calentamiento cuando la proporción del lubricante 140 inorgánico fue superior al 0 e inferior al 0,05 por ciento en masa en comparación con cuando no se añadió lubricante 140 inorgánico o cuando la proporción del lubricante 140 inorgánico fue al menos el 0,05 por ciento en masa. Esta pérdida de hierro se redujo adicionalmente mediante calentamiento a una temperatura de 400 °C. Por tanto, en comparación con otros casos, cuando la proporción del lubricante 140 inorgánico es superior al 0 e inferior al 0,05 por ciento en masa, fue posible obtener tanto alta densidad como alta densidad de flujo magnético.

(Sexto ejemplo)

20 En este ejemplo se preparan polvos mixtos añadiendo poli(sulfuro de fenileno) (PPS) como resina termoplástica al polvo mixto preparado en el cuarto ejemplo con 0,001 por ciento en masa del lubricante 140 inorgánico. Se obtuvieron múltiples tipos de polvo mixto con diferente contenido de resina termoplástica variando la cantidad de resina termoplástica añadida del 0,001 por ciento en masa al 0,15 por ciento en masa. Por tanto, para la comparación se prepararon partículas 130 magnéticas de material compuesto sin resina termoplástica en absoluto y 0,001 por ciento en masa de lubricante 140 inorgánico.

25 Usando estos polvos mixtos se prepararon compactos con forma de anillo como en el quinto ejemplo, y estos compactos se calentaron bajo diferentes condiciones de temperatura. Las temperaturas de calentamiento fueron 200 °C y 400 °C. Como en el quinto ejemplo, las características magnéticas se midieron para el compacto antes del calentamiento y los compactos se calentaron a diferentes temperaturas. Por tanto, se midió la densidad del compacto calentado a 400 °C.

30 Los valores obtenidos de estas mediciones se muestran en la Tabla 4, y estos valores están representados en la Fig. 15.

[Tabla 4]

Cantidad de lubricante inorgánico (% en masa)	Resina termoplástica (% en masa)	Densidad (g/cm ³)	Densidad de flujo magnético B100 (T)	Pérdida de hierro (peso/kg)		
				Antes del calentamiento	Después del calentamiento (200 °C)	Después del calentamiento (400 °C)
0,0010	0,000	7,65	1,576	156,2	145,8	133,7
0,0010	0,001	7,66	1,571	153,4	144,1	125,6
0,0010	0,050	7,56	1,532	152,7	143,4	122,9
0,0010	0,100	7,51	1,517	162,3	148,4	130,7
0,0010	0,150	7,44	1,471	174,7	164,2	143,2

5 Como se muestra en la Tabla 4 y la Fig. 15, para los compactos calentados a 400 °C, los compactos con resina termoplástica a proporciones de al menos el 0,001 por ciento en masa y no superiores al 0,1 por ciento en masa pudieron reducir la pérdida de hierro más que aquellos que no contenían resina termoplástica. La pérdida de hierro aumentó cuando la proporción de resina termoplástica superó el 0,1 por ciento en masa. Basándose en esto fue posible confirmar que las características magnéticas podrían mejorarse adicionalmente añadiendo una proporción apropiada de resina termoplástica.

(Séptimo ejemplo)

10 En este ejemplo, el polvo mixto preparado en el cuarto ejemplo con 0,001 por ciento en masa del lubricante 140 inorgánico se compactó para formar compactos con forma de anillo como en el quinto ejemplo. Se fabricaron múltiples tipos de compactos con diferentes condiciones de compactación variando la presión aplicada. Entonces, el compacto se calentó durante 1 hora a una temperatura de 400 °C. Las características magnéticas se midieron como en el quinto ejemplo para el compacto antes del calentamiento y después del calentamiento. Por tanto, la densidad se midió para el compacto después del calentamiento, y la relación de llenado del compacto se calculó según el procedimiento descrito para las realizaciones.

15 Los valores obtenidos de estas mediciones se muestran en la Tabla 5, y estos valores están representados en la Fig. 16.

[Tabla 5]

Presión aplicada (ton/cm ²)	Densidad (g/cm ³)	Relación de llenado (%)	Densidad de flujo magnético B100(T)	Pérdida de hierro (peso/kg)	
				Antes del calentamiento	Después del calentamiento
8	7,32	93,1	1,389	189,1	155,5
9	7,43	94,5	1,483	184,2	151,2
10	7,57	96,3	1,529	158,4	136,1
11	7,65	97,3	1,576	156,2	133,7
12	7,69	97,8	1,603	154,1	134,4

20 Como se muestra en la Tabla 5 y la Fig. 16, podría obtenerse una relación de llenado de al menos el 95 por ciento usando una presión de compactación de al menos 980 MPa (10 ton/cm²). Esto hizo posible reducir significativamente la pérdida de hierro del compacto.

(Octavo ejemplo)

25 En este ejemplo se prepararon polvos mixtos añadiendo lo siguiente al polvo de hierro de Hoganas Corp. Usado en el cuarto ejemplo: una proporción predeterminada de una resina basada en nailon que sirve de lubricante; una proporción predeterminada del nitruro de boro hexagonal usado en el cuarto ejemplo como lubricante; y proporciones predeterminadas del nitruro de boro hexagonal usado en el cuarto ejemplo como un lubricante y poli(sulfuro de fenileno) (PPS) como resina termoplástica.

30 Usando estos polvos mixtos se fabricaron compactos con forma de anillo como en el quinto ejemplo, y estos compactos se calentaron a diferentes condiciones de temperatura. Las temperaturas de calentamiento fueron 200 °C, 300 °C y 400 °C. Como en el quinto ejemplo, las características magnéticas se midieron para el compacto antes del calentamiento y los compactos se calentaron a diferentes temperaturas. Por tanto, se midió la densidad del compacto calentado a 400 °C.

Los valores obtenidos de estas mediciones se muestran en la Tabla 6 y estos valores están representados en la Fig. 17.

[Tabla 6]

Lubricante	Resina termoplástica	Densidad (g/cm ³)	Densidad de flujo magnético B100 (T)	Pérdida de hierro (peso/kg)			
				Antes del calentamiento	Después del calentamiento 200 °C	Después del calentamiento 300 °C	Después del calentamiento 400 °C
Resina basada en nailon (0,1 % en masa)	0	7,49	1,510	161,1	153,7	154,9	201,5
Nitruro de boro (0,0010 % en masa)	0	7,65	1,576	156,2	145,8	141,7	133,7
Nitruro de boro (0,0010 % en masa)	Poli(sulfuro de fenileno) (PPS) (0,05 % en masa)	7,56	1,532	152,7	143,4	137,9	122,9

5 Como se muestra en la Tabla 6 y la Fig. 17, la pérdida de hierro podría reducirse aumentando la temperatura de calentamiento cuando se usó el polvo mixto que contenía nitruro de boro hexagonal. Cuando se usó el polvo mixto que contenía la resina basada en nailon, la pérdida de hierro aumentó cuando la temperatura de calentamiento aumentó a 400 °C. Se cree que la resina basada en nailon, que tiene baja resistencia al calor, experimentó descomposición térmica durante el calentamiento.

10 Aplicabilidad industrial

La presente invención puede usarse, por ejemplo, en la fabricación de núcleos de motor, válvulas electromagnéticas, reactores y partes electromagnéticas en general que se forman compactando polvo magnético blando.

REIVINDICACIONES

1. Un material magnético blando usado para fabricar núcleos magnéticos de polvo que comprende:
 - (i) partículas magnéticas de material compuesto formadas por un recubrimiento aislante que contiene fosfato y/u óxido de sal metálica y que rodea la superficie de las partículas magnéticas metálicas; y
 - 5 (ii) basándose en las partículas magnéticas de material compuesto (i),
 - 0,001 - 0,025 % en peso de un lubricante particulado fino que incluye un jabón metálico y que tiene un diámetro de partícula medio de $\leq 2,0 \mu\text{m}$; o
 - 0,001 - 0,1 % en peso de un lubricante particulado fino que incluye un lubricante inorgánico que tiene una estructura cristalina hexagonal y que tiene un diámetro de partícula medio de $\leq 2,0 \mu\text{m}$.
- 10 2. El material magnético blando de la reivindicación 1 que comprende además 0,001 - 0,1 % en peso basado en las partículas magnéticas de material compuesto (i) de una resina termoplástica interpuesta entre las partículas magnéticas de material compuesto (i).
3. Un núcleo magnético de polvo fabricado usando el material magnético blando de la reivindicación 1.
- 15 4. El núcleo magnético de polvo de la reivindicación 3, en el que la tasa de llenado (densidad) es al menos el 95 %.

FIG. 1

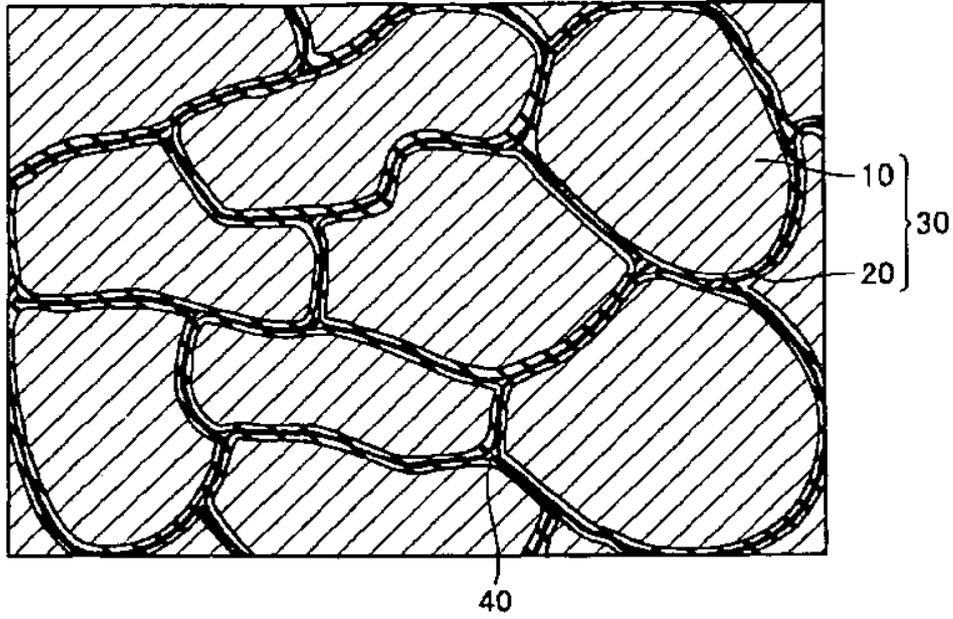


FIG. 2

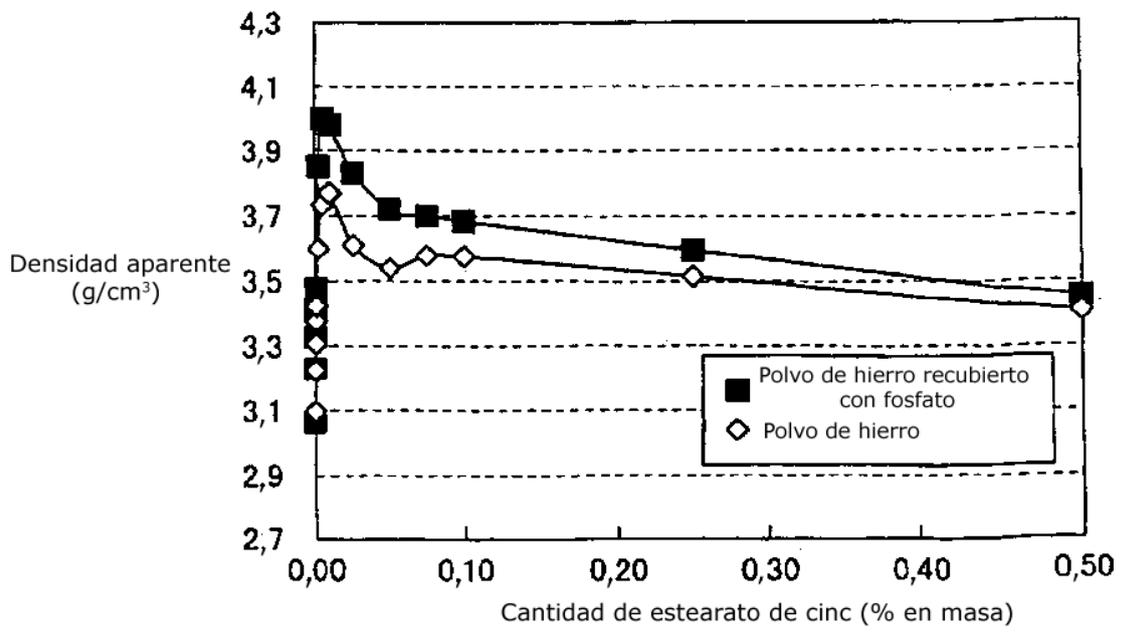


FIG. 3

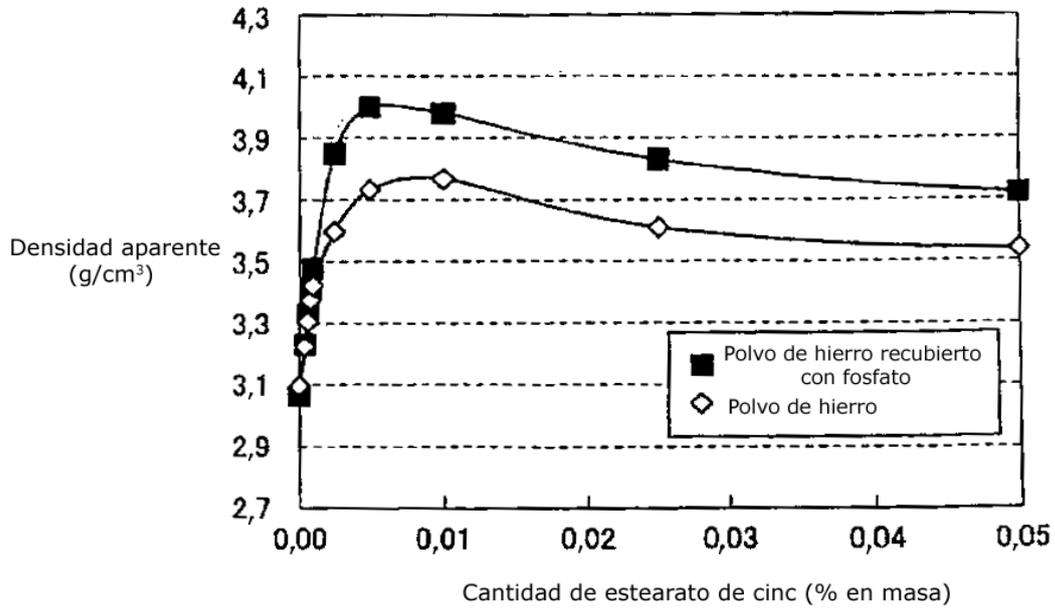


FIG. 4

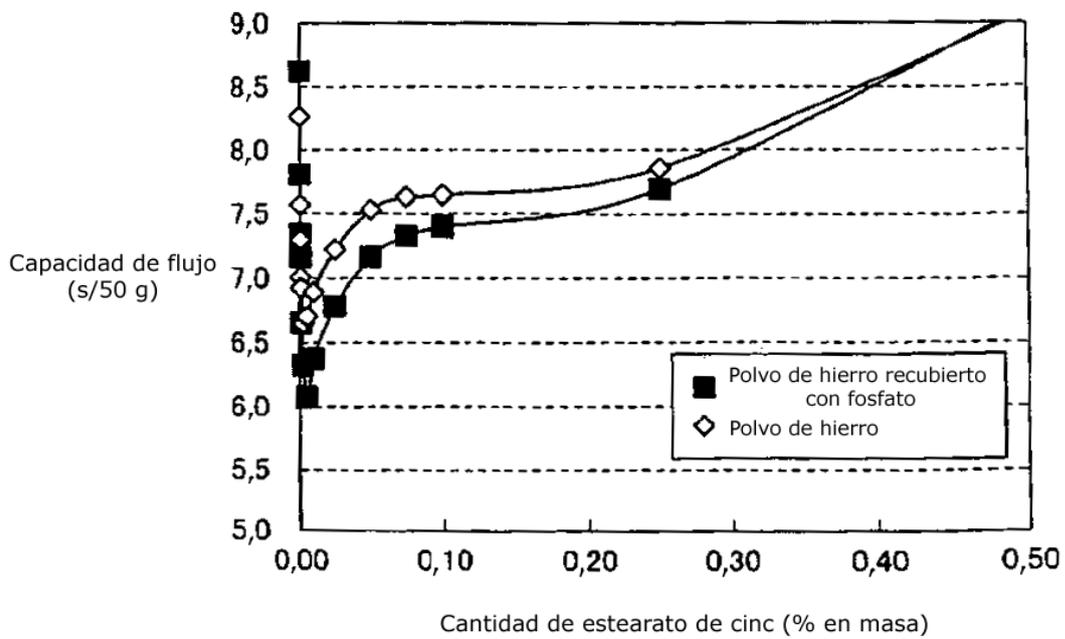


FIG. 7

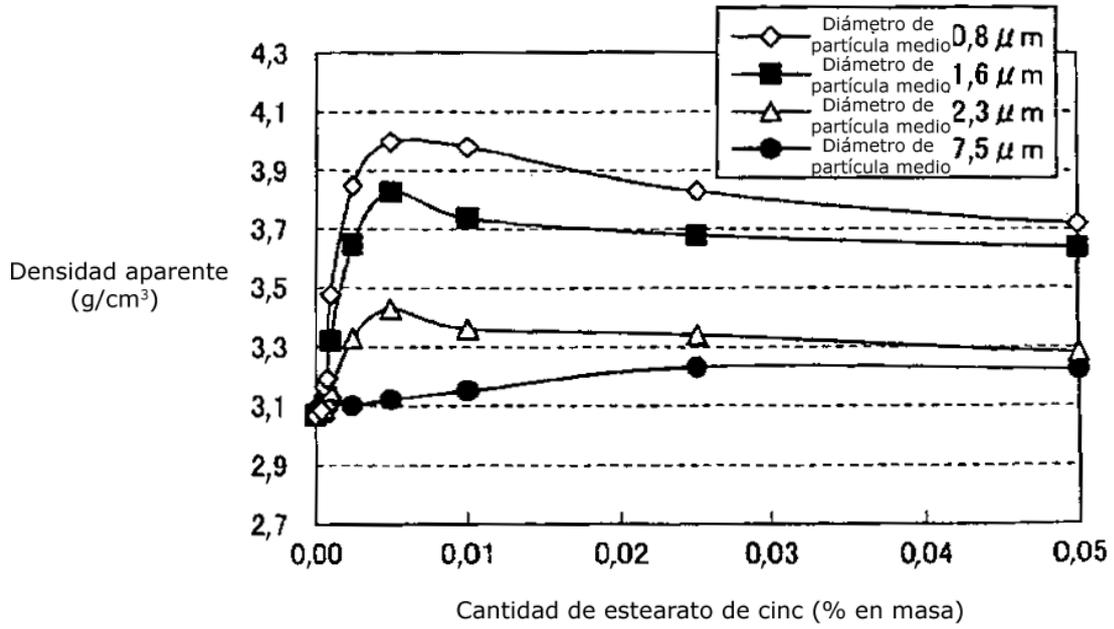


FIG. 8

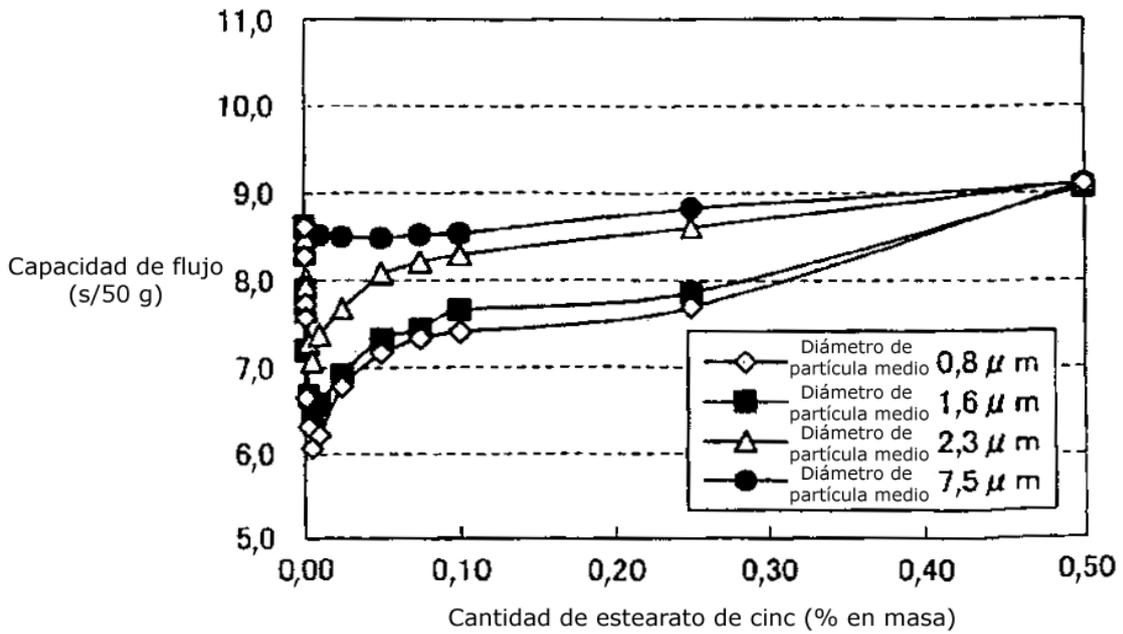


FIG. 9

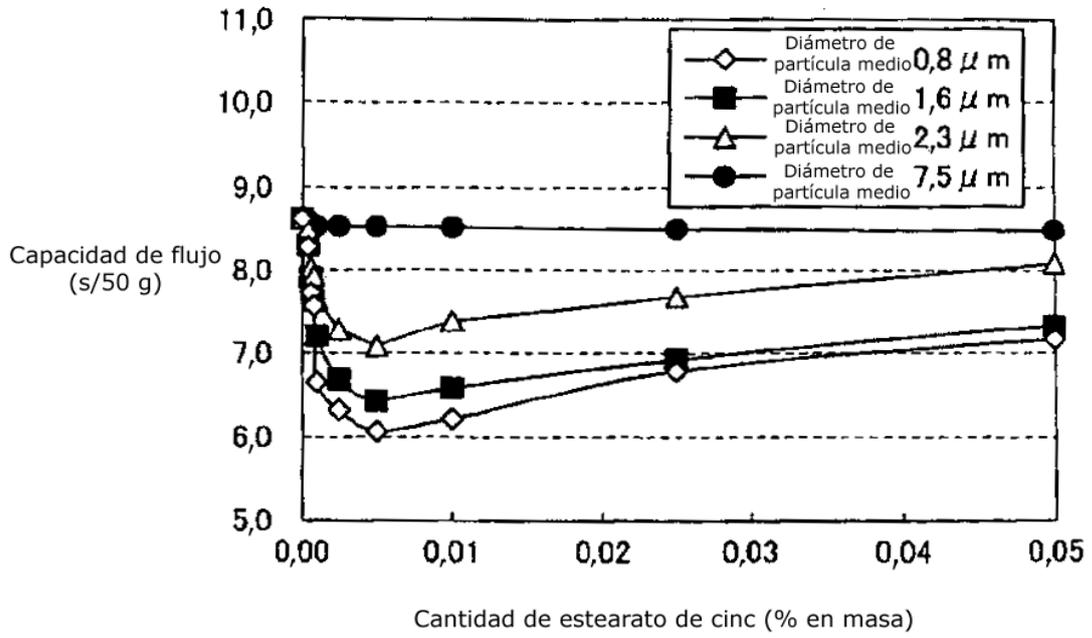


FIG. 10

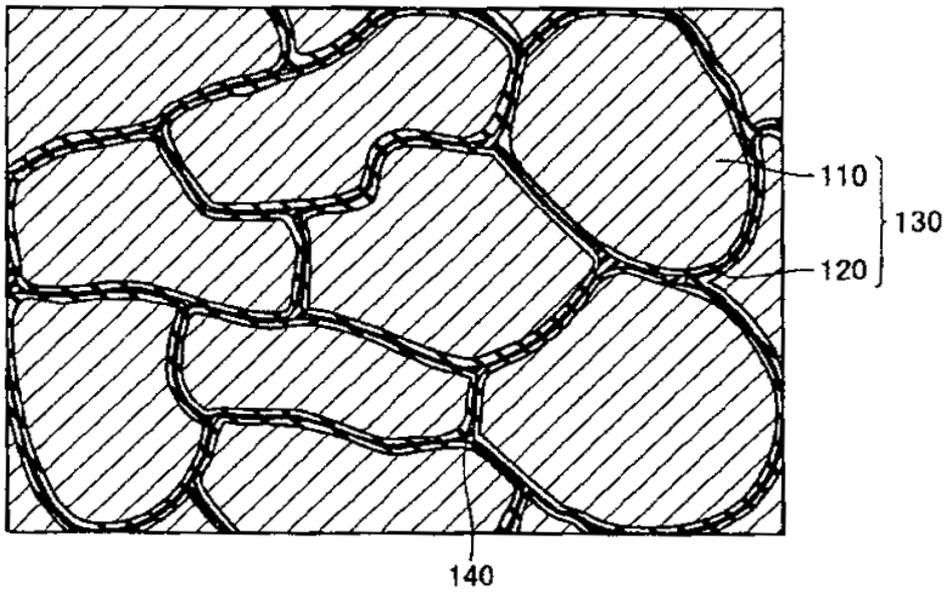


FIG. 11

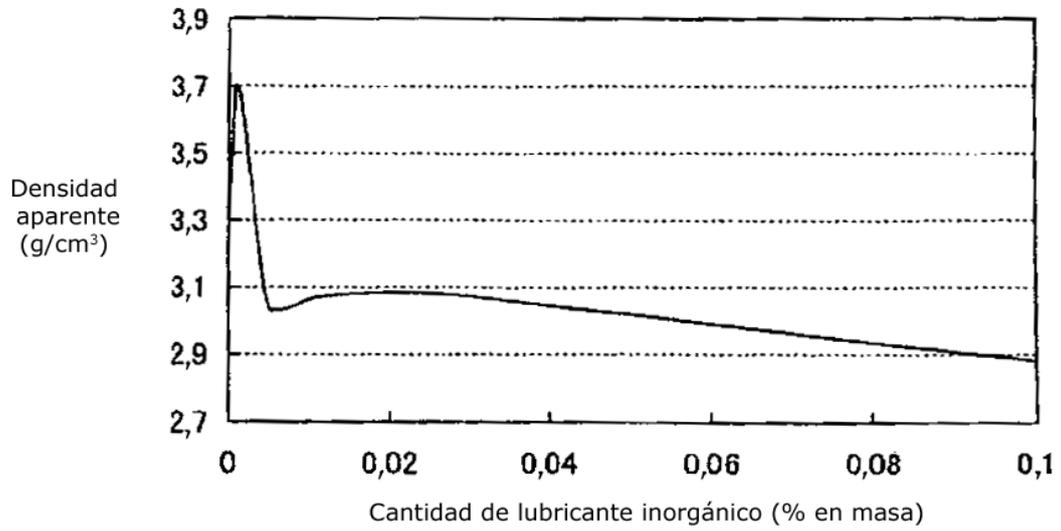


FIG. 12

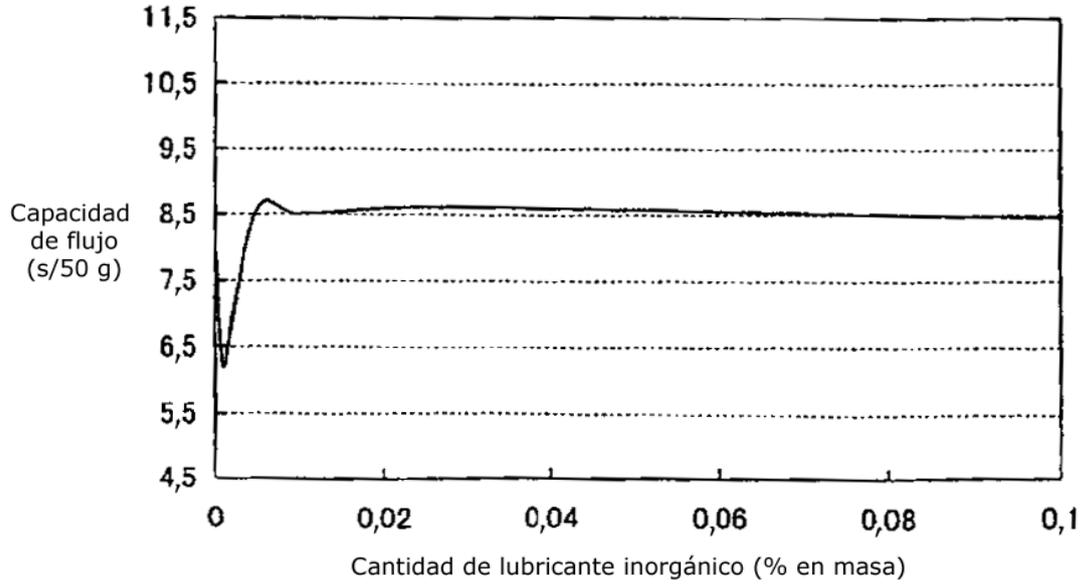


FIG. 13

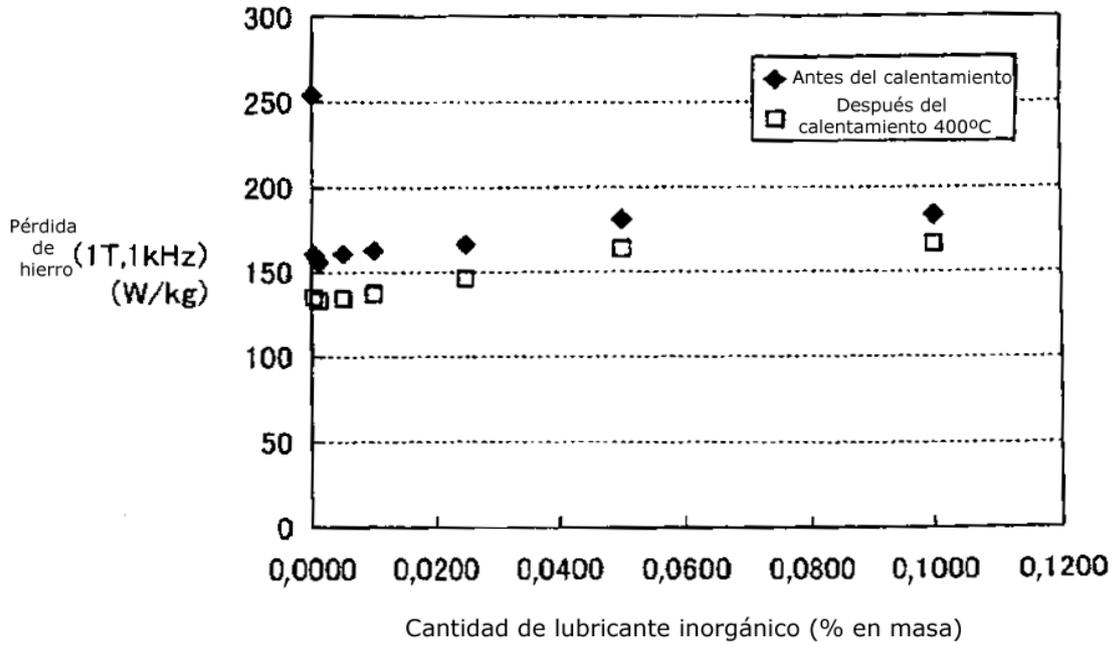


FIG. 14

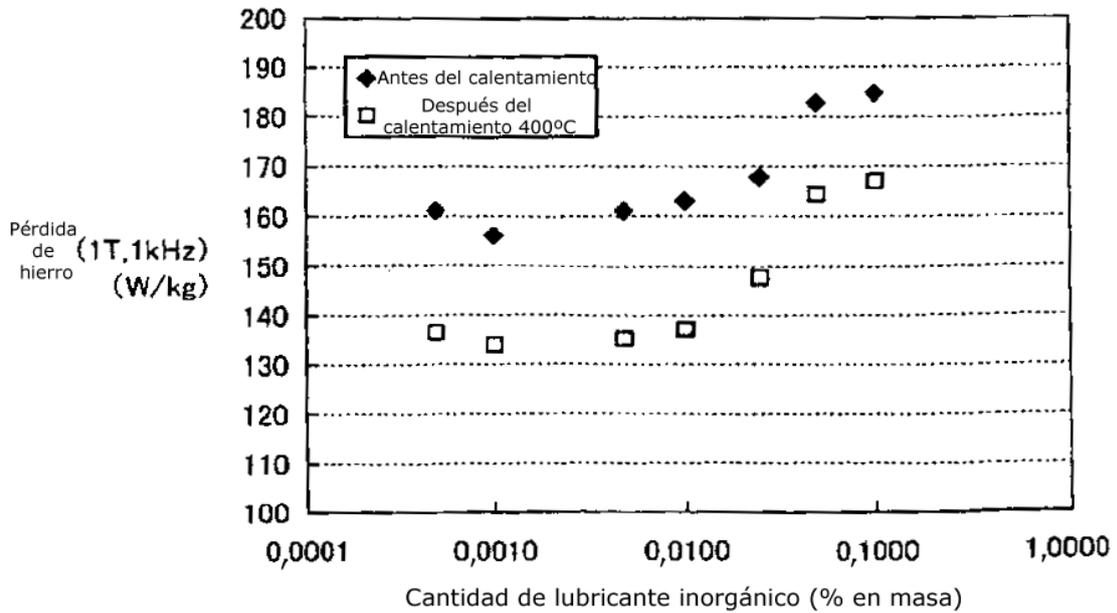


FIG. 15

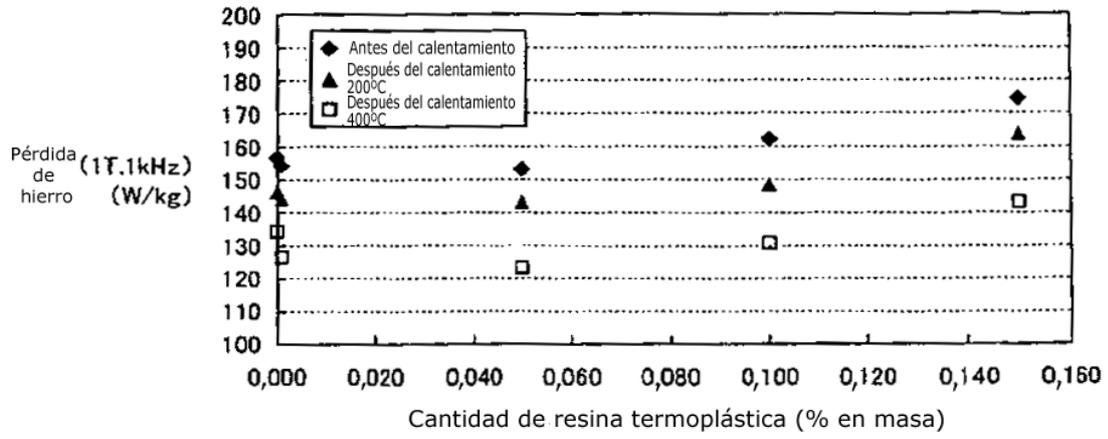


FIG. 16

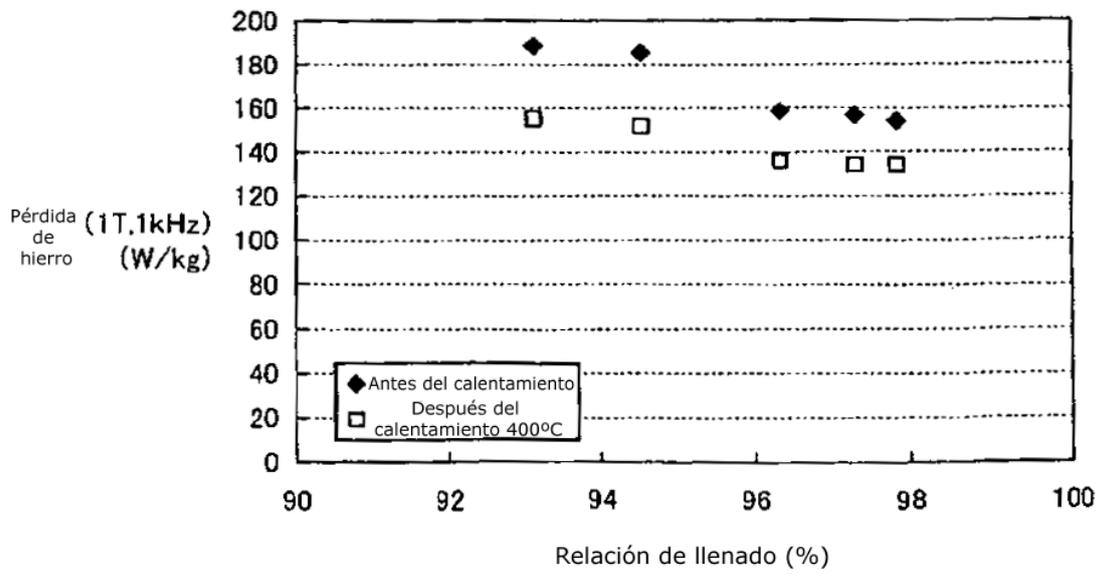


FIG. 17

