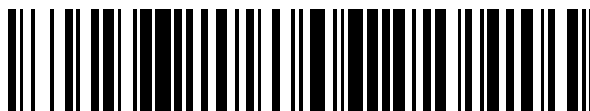


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 638 855**

51 Int. Cl.:

G01R 33/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2012** **E 12155146 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017** **EP 2508906**

54 Título: **Disposición y procedimiento para caracterización de sistemas magnéticos**

30 Prioridad:

14.02.2011 US 442417 P

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

24.10.2017

73 Titular/es:

**MAGCAM NV (100.0%)
Romeinse Straat 18
3001 Heverlee, BE**

72 Inventor/es:

VERVAEKE, KOEN

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 638 855 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

Disposición y procedimiento para caracterización de sistemas magnéticos

5 CAMPO TÉCNICO DE LA INVENCIÓN

La siguiente invención se sitúa en el campo de las mediciones e inspección magnéticas, investigación, desarrollo y control de calidad de imanes, montajes magnéticos, materiales magnéticos (todos los cuales se denominan "sistemas magnéticos") y productos que utilicen dichos sistemas magnéticos. Más específicamente, la presente
 10 invención se refiere a un procedimiento para extraer información desde un mapeo bidimensional del campo magnético de un sistema magnético. Este mapeo magnético puede, en una realización, obtenerse a partir de un sistema de "cámara de campo magnético", que puede registrar mapas de campo magnético 2D de alta resolución a altas velocidades, lo que hace posible aplicar el proceso en por ejemplo, el control de calidad rápida de sistemas magnéticos. La extracción de información desde el mapa del campo magnético se realiza comparando los datos de
 15 medición con datos simulados o calculados de un sistema magnético, en base a un modelo magnético. Los parámetros de entrada del modelo magnético varían y se optimizan para obtener un mejor ajuste a los datos medidos. Los parámetros de entrada optimizados resultantes luego proporcionan la información extra que se busca.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

20 Las técnicas de medición magnética existentes mayormente miden un parámetro particular de un imán o sistema magnético. Un Gaussímetro por ejemplo mide el campo magnético en una posición en el espacio. Una bobina de Helmholtz por ejemplo mide el momento magnético integrado de un imán. Recientemente se inventó un nuevo procedimiento y aparato de medición magnética, llamado una "cámara de campo magnético", que puede registrar
 25 mapas de campo magnético 2D de alta resolución a altas velocidades. Este sistema consiste en un chip semiconductor con un conjunto 2D de sensores de campo magnético integrados, que cada uno mide independientemente el campo magnético local. Los sensores en el conjunto están poco espaciados a distancias relativas muy bien definidas, debido al proceso estándar de fabricación de chips bien controlado. El número grande de píxeles que miden de forma independiente el campo magnético resulta en una gran cantidad de información
 30 contenida dentro del mapa del campo magnético resultante, que no es evidente a primera vista y solo puede extraerse usando análisis de datos avanzado, como el procedimiento descrito en la presente invención.

Por otro lado, las simulaciones del campo magnético se utilizan ampliamente para investigar, desarrollar y diseñar imanes y sistemas magnéticos. Existen muchos paquetes de software de simulación de campo magnético
 35 disponibles comercialmente. La mayoría de ellos utilizan un algoritmo de modelado de elemento finito (MEF), que permite la simulación de formas y combinaciones complejas de imanes y sistemas magnéticos, y de materiales no magnéticos. Aparte de estos algoritmos basados en MEF, también existen expresiones analíticas para un número de formas de imanes geométricas altamente simétricas y simples, como bloques, esferas, esferoides y elipsoides. Los modelos analíticos pueden calcular más rápido que los modelos MEF, pero están restringidos en el tipo de sistemas
 40 magnéticos que pueden simular. Por ejemplo, pueden simular solamente imanes con magnetización uniforme. Además, no pueden simular sistemas que tengan permeabilidades relativas distintas a la unidad.

Los modelos analíticos existen, por ejemplo, para esferas magnetizadas uniformemente, imanes en bloques (véase R. Engel-Herbert y T. Hesjedal, 'Calculation of the magnetic stray field of a uniaxial magnetic domain', JOURNAL OF
 45 APPLIED PHYSICS 97, 074504, 2005) y esferoides (véase M. Tejedor, H. Rubio, L. Elbaile, y R. Iglesias, 'External Fields Created by Uniformly Magnetized Ellipsoids and Spheroids', IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS. VOL. 31, Nº I., ENERO 1995). Otras geometrías, como cilindros, anillos, segmentos, etc., pueden crearse construyéndolos a partir de varias de estas geometrías elementales. Puede aproximarse cualquier geometría mediante un número de bloques lo suficientemente grande. Ya que los campos magnéticos de un grupo de imanes son aditivos, las
 50 distribuciones del campo magnético de todos los bloques pueden simplemente añadirse para obtener la distribución completa del campo magnético. Documentos adicionales relevantes para la descripción técnica de esta patente son US 2006/097718 y JP2007163372.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

55 Los aspectos de la presente invención se definen en las reivindicaciones adjuntas. A continuación se realizan ciertas declaraciones no limitativas sobre las realizaciones de la presente invención.

En un aspecto la presente invención proporciona un procedimiento para adaptar un modelo de simulación teórica a
 60 un conjunto de datos medidos optimizando un conjunto de parámetros del modelo, caracterizado porque todo o parte

del trabajo de cálculo del modelado se realiza antes de que se inicie el procedimiento de optimización real ("precálculo" o "datos precalculados"). Los datos medidos pueden ser, por ejemplo, valores del campo magnético. En una realización preferida, los datos medidos son valores del campo magnético obtenidos a partir de un dispositivo de cámara de campo magnético.

5

Para proporcionar la ventaja de velocidad de cálculo, el modelo de simulación teórica puede ser un modelo analítico.

Alternativamente, el modelo de simulación teórica puede ser un modelo de método de elemento finito (MEF).

10 El esquema de optimización puede usar un algoritmo de ajuste de datos lineal o un algoritmo de ajuste de datos no lineal.

Los parámetros del modelo pueden incluir algunos o todos los siguientes: componentes de vector de magnetización, coordenadas de posición, tamaños.

15

En una realización, el precálculo implica calcular un conjunto de distribuciones de campo magnético.

Son posibles una variedad de opciones para el procedimiento de optimización, como:

20 realizar combinaciones lineales de los conjuntos de datos precalculados, algoritmos de interpolación sobre los datos precalculados. El esquema de optimización puede resultar en un conjunto de datos simulados mejor ajustado y un conjunto de datos residual que es la diferencia entre el conjunto de datos mejor ajustado y el conjunto de datos medido.

25 La presente invención puede aplicarse de forma ventajosa para la inspección y/o control de calidad de imanes permanente, para la inspección y/o control de calidad de imanes permanentes con magnetización uniaxial, para la inspección y/o control de calidad de imanes permanentes con magnetización multipolar, para la inspección y/o control de calidad de materiales ferromagnéticos, paramagnéticos, diamagnéticos, magnetostrictivos y/o superconductores, y/o materiales con otras formas de respuesta magnética, para la inspección y/o control de calidad de electroimanes, para la inspección y/o control de calidad de montajes magnéticos, para la inspección y/o control de calidad de soldaduras, entre otras y sin carácter exhaustivo, soldaduras por puntos, soldaduras por proyección, otras soldaduras de resistencia, soldaduras por láser, soldadura por haz de electrones, soldaduras por arco.

30 En un aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento rápido de combinar mapas de campo magnético medido y simulaciones teóricas del sistema magnético medido para extraer información sobre las propiedades del sistema magnético medido que no puede obtenerse mediante la medición únicamente o la simulación únicamente. Se asume que el sistema magnético físico puede ser simulado, o al menos aproximado, por el modelo de simulación, ya sea este último un modelo MEF, un modelo analítico u otro tipo de modelo.

40 Se asume que el modelo de simulación necesita un conjunto de parámetros de entrada desde el cual calcular o simular una distribución de campo magnético que puede compararse con la distribución del campo magnético medido. Estos parámetros de entrada generalmente son propiedades físicas del sistema magnético, como por ejemplo, y sin carácter exhaustivo, geometría, tamaño, posición, vector de magnetización o estructura, etc. Cuando se aplica un procedimiento de optimización, los parámetros de entrada normalmente tienen valores iniciales desde

45 los cuales se inicia el procedimiento de optimización. El objetivo del procedimiento de optimización es minimizar la diferencia general entre la distribución del campo magnético calculada o simulada y la distribución del campo magnético medido. Esto se realiza variando los parámetros de entrada del modelo de acuerdo con un esquema de optimización, que permite encontrar un mínimo local o global (si existe) en la diferencia general entre las distribuciones del campo magnético medidas y simuladas. Esta diferencia general puede expresarse como la suma

50 de cuadrados de las diferencias en cada punto de dato o como otro parámetro. Este esquema de optimización puede ser lineal o no lineal. Ejemplos de esquemas de optimización no lineal son los algoritmos "trust-region-reflective" y "Levenberg-Marquardt", que por ejemplo se utilizan en la función "lsqnonlin" en Matlab. Los valores finales de los parámetros de entrada del modelo tras completarse la optimización, son aproximaciones de los parámetros físicos reales del sistema magnético, y por tanto pueden considerarse como los resultados de la

55 medición.

La presente invención se refiere a un procedimiento para acelerar considerablemente el procedimiento general anterior de ajustar los datos calculados o simulados a los datos de medición. El procedimiento de ese modo utiliza los datos de simulación precalculados que deben ser calculados solo una vez para una configuración del sistema magnético particular. Durante el procedimiento de optimización, los datos precalculados se tratan usando algoritmos

60

rápidos como por ejemplo y sin carácter exhaustivo, combinaciones lineales y esquemas de interpolación para obtener el mejor ajuste a los datos medidos. Los parámetros de entrada del modelo por tanto se optimizan sin la necesidad de volver a simular el sistema completo en cada iteración en el procedimiento de optimización.

- 5 Cuando se completa un esquema de optimización como el descrito anteriormente, y se conocen todos los parámetros deseados para el modelo teórico, se eliminan los siguientes datos: la distribución del campo magnético medido; la distribución del campo magnético simulado de mejor ajuste; la distribución del campo magnético residual, es decir, la diferencia entre la distribución del campo magnético medido y la distribución teórica de mejor ajuste; los parámetros optimizados del modelo. Estos datos contienen mucha información sobre el sistema físico medido que
10 puede evaluarse y analizarse más fácilmente que sin el análisis de optimización.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 15 La Figura 1 muestra un imán cilíndrico con magnetización axial colocada sobre un dispositivo de medición de cámara de campo magnético con sensores de campo magnético Hall.
La Figura 2 ilustra una distribución del campo magnético medido del imán mostrado en la Fig. 1. El componente del campo magnético medido es el componente B_z , perpendicular al sensor de la cámara de campo magnético.
La Figura 3 muestra los resultados de un procedimiento de optimización de acuerdo con la presente invención para
20 el imán de las Figs. 1 y 2.
La Figura 4 muestra una distribución de campo magnético teórica de mejor ajuste del imán de la Fig. 1 y de la Fig. 2.
La Figura 5 muestra una distribución del campo magnético residual (ajuste-datos medidos), que resulta a partir del análisis en las figuras anteriores.
La Figura 6 muestra una distribución del campo magnético medido de un imán en bloque con $a = b = 5$ mm y $c =$
25 2 mm. El componente del campo magnético medido es el componente B_z , perpendicular al sensor de la cámara de campo magnético.
La Figura 7 muestra los resultados de un procedimiento de optimización de acuerdo con la presente invención para el imán de la Fig. 6.
La Figura 8 muestra una disposición esquemática del motor de procesamiento o un sistema informático que puede
30 ser utilizado con la presente invención.

REALIZACIONES DE LA INVENCION

- En una realización de la presente invención, el procedimiento de optimización puede implementarse de la siguiente
35 forma. Vamos a considerar un imán magnetizado de forma uniforme con una cierta forma geométrica, por ejemplo, un bloque con tres lados a , b y c a lo largo de las direcciones X , Y y Z respectivamente de un sistema de coordenadas cartesianas. El imán se coloca con su centro en el origen del sistema de coordenadas. Un dispositivo de cámara de campo magnético (es decir, un sensor de campo magnético que comprende un conjunto de sensores de campo magnético) se dispone bajo el imán para registrar la distribución del campo magnético del imán en el
40 plano XY a una distancia d bajo el imán (d está en la dirección Z). La cámara de campo magnético tiene un área sensible de $A = L \cdot W$ en el plano XY y registra (en esta realización) solo el componente Z del campo magnético, es decir $B_z(x,y,z)$, donde z es fijo debido a la naturaleza 2D de la cámara de campo magnético. Se asume que los ejes X - e Y - del sistema de coordenadas son paralelos a las filas y columnas del conjunto de sensores en la cámara de campo magnético. El objetivo es encontrar, entre otros parámetros (véase más adelante), el vector de magnetización
45 M del imán de bloque físico, que tiene componentes M_x , M_y y M_z a lo largo de los tres ejes de coordenadas respectivamente. Cuando se conocen otros parámetros de entrada del modelo (aproximadamente), excepto M , puede aplicarse el siguiente procedimiento. Se asume que la distribución del campo magnético de un imán con magnetización $M = (M_x, M_y, M_z)$ puede expresarse como una combinación lineal de tres distribuciones del campo magnético, cada una generada por un imán con una magnetización que se corresponde con un componente de M :
50

$$\begin{aligned} B_z(x,y,z)(M_x, M_y, M_z) &= B_z(x,y,z)(M_x, 0, 0) + B_z(x,y,z)(0, M_y, 0) + B_z(x,y,z)(0, 0, M_z) \\ &= M_x * B_z(x,y,z)(1, 0, 0) + M_y * B_z(x,y,z)(0, 1, 0) + M_z * B_z(x,y,z)(0, 0, 1) \quad (1) \end{aligned}$$

- con $B_z(x,y,z)(M_x, M_y, M_z)$ el componente z del vector del campo magnético en la posición (x,y,z) generado por un imán con vector de magnetización $M = (M_x, M_y, M_z)$. En (1) se asume una relación lineal entre B y M , es decir, $B(M) =$
55 $M * B(1)$, donde $B(M)$ es el campo magnético generado por un imán con magnetización M .

Aunque los parámetros desconocidos en el procedimiento de optimización son M_x , M_y y M_z , los valores (distribuciones) de $B_z(x,y,z)(1, 0, 0)$, $B_z(x,y,z)(0, 1, 0)$ y $B_z(x,y,z)(0, 0, 1)$ pueden calcularse de antemano, es decir, antes

de iniciarse el procedimiento de optimización. Estos valores son de hecho distribuciones completas del campo magnético que pueden requerir mucho tiempo para calcularse, especialmente cuando se utilizan modelos MEF y/o cuando se cubre un área grande y cuando la resolución espacial es grande. Además, estas distribuciones del campo magnético solo necesitarán calcularse una vez para cada geometría del imán de la configuración del sistema magnético. La optimización entonces solo implica encontrar los valores óptimos de M_x , M_y y M_z para los cuales se optimiza la combinación lineal (1) con respecto a la distribución del campo magnético medido. Este procedimiento permite realizar por ejemplo inspecciones en línea rápidas de muchos imanes similares, para lo cual solo es necesario realizar el precálculo una vez.

- 5
- 10 En otra realización de la invención, cuando otros parámetros son también desconocidos, el esquema de optimización rápida anterior puede aplicarse de la siguiente forma. Supongamos que los siguientes parámetros son desconocidos para la misma configuración que en la realización previa: $M = (M_x, M_y, M_z)$, a , b , $X_position$, $Y_position$, $Alpha_position$,

15 donde

$M = (M_x, M_y, M_z)$ es el vector de magnetización del imán medido;

a y b son los tamaños laterales del imán medido;

$X_position$ e $Y_position$ son la posición exacta en el plano XY del centro del imán medido;

- 20 $Alpha_position$ es la posición angular del imán medido en el plano XY, es decir, el ángulo que los ejes a - y b - forman con los ejes X- e Y- del sistema de coordenadas (que son paralelos a los ejes del sensor en el conjunto de la cámara).

Cuando los parámetros anteriores son desconocidos, las distribuciones precalculadas del campo magnético pueden usarse para realizar una optimización rápida sin tener que volver a calcular o volver a simular cualquier campo magnético. Esto puede conseguirse usando una optimización secuencial y/o una optimización simultánea de (un subconjunto de) los diferentes parámetros. Aquí describimos el procedimiento general para realizar la optimización para cada parámetro por separado. En la práctica se optimizan más parámetros simultáneamente para obtener mejores resultados.

30

Supongamos que ya se ha encontrado una primera aproximación para $M = (M_x, M_y, M_z)$. Generalmente, el imán físico no estará posicionado en el origen exacto del sistema de coordenadas, sino que tendrá su centro en una posición desconocida ($X_position$, $Y_position$) en el plano XY. Supongamos que los mapas del campo magnético calculados $B_z(x,y,z)(1,0,0)$, $B_z(x,y,z)(0,1,0)$ y $B_z(x,y,z)(0,0,1)$ se calculan sobre un área más grande que el área del sensor de la cámara de campo magnético. Utilizando los valores aproximados M_x , M_y , M_z ya encontrados, el mapa del campo magnético para el imán en el origen del sistema de coordenadas se conoce aproximadamente. El mapa del campo magnético calculado, sin embargo, tiene un desvío en el plano XY relativo al mapa calculado. El procedimiento ahora consiste en cambiar el mapa calculado sobre un vector (X_shift , Y_shift) y encontrar los valores para X_shift e Y_shift para los cuales la superposición de los mapas medidos y calculados es óptima. En la práctica, esto se hace de la siguiente forma. Para un cambio general (X_shift , Y_shift) del mapa calculado sobre el mapa medido, las posiciones de los puntos de datos de ambos mapas no coincidirán.

35

40

Por tanto, el mapa teórico se interpola para calcular los valores teóricos del campo magnético en los puntos que se corresponden con los puntos de datos en el mapa medido. Esto permite sustraer directamente los mapas teóricos y medidos y calcular la suma de cuadrados. Un punto esencial aquí es que interpolar es un proceso mucho más rápido que simular el campo magnético. Por tanto, este proceso de interpolación puede realizarse secuencialmente para varios cambios (X_shift , Y_shift) hasta que se encuentre el óptimo. Los valores optimizados de (X_shift , Y_shift) = ($X_position$, $Y_position$) entonces indican la posición física del imán.

45

50

En la práctica, (X_shift , Y_shift) puede optimizarse simultáneamente con M_x, M_y, M_z .

En otra realización de la invención, es entonces sencillo extender el proceso anterior al parámetro $Alpha_position$ de la siguiente forma. Generalmente, el imán físico no tendrá sus ejes a - y b - exactamente alineados con los ejes X- e Y-, sino que girará sobre un ángulo $Alpha_position$ en el plano XY. Una vez que ($X_position$, $Y_position$) se conoce, el mapa calculado puede girarse alrededor del punto ($X_position$, $Y_position$) sobre un ángulo $Alpha$ para encontrar una superposición optimizada con el mapa medido. Puede aplicarse en este caso un esquema de interpolación similar a la de la anterior realización.

55

Cuando se encuentra el óptimo, el valor optimizado de $Alpha$ se corresponde con $Alpha_position$, es decir, el ángulo de rotación del imán en el plano XY. En la práctica, $Alpha_position$ se optimiza simultáneamente con M_x, M_y, M_z y posiblemente de nuevo con ($X_position$, $Y_position$) para obtener resultados óptimos. Ya que los parámetros iniciales

60

de la iteración anterior (sin Alpha) son ya aproximaciones buenas, llevar estos parámetros a la optimización de nuevo no añade mucho tiempo de cálculo al algoritmo.

5 En otras realizaciones de la invención, para ir un paso más allá, una vez que se encuentran los valores optimizados para M_x, M_y, M_z $X_position$ y $Alpha_position$, también pueden optimizarse las dimensiones laterales del imán (en este caso a y b) para un mejor ajuste. Este procedimiento, sin embargo, no produce resultados exactos y es una aproximación, ya que para las dimensiones cambiadas del imán, la distribución del campo magnético necesitaría, en principio, volver a calcularse. Para pequeñas desviaciones desde los valores iniciales, sin embargo, este método funciona de forma suficientemente precisa y es mucho más rápido que volver a calcular las distribuciones completas del campo magnético. El procedimiento para optimizar las dimensiones del imán se explica en lo que sigue. Con los otros parámetros mencionados anteriormente optimizados y conocidos, los parámetros a y b pueden optimizarse "estirando" o "comprimiendo" los mapas calculados del campo magnético para que coincidan mejor con el mapa medido. Esto se realiza aplicando factores de escala (en las direcciones X e Y) a la cuadrícula de cálculo. Son estos factores de escala los que de hecho se optimizan. Dividir los valores a y b iniciales (u otros valores dimensionales) por los factores de escala optimizados, da como resultado dimensiones optimizadas.

En otra realización se pueden elegir qué parámetros incluir en el procedimiento de optimización y cuáles mantener constantes en sus valores iniciales.

20 Cuando se completa un esquema de optimización como el descrito en las realizaciones anteriores, y se conozcan todos los parámetros deseados para el modelo teórico, se dispone de los siguientes datos: la distribución del campo magnético medido; la distribución del campo magnético simulado de mejor ajuste; la distribución del campo magnético residual, es decir, la diferencia entre la distribución del campo magnético medido y la distribución teórica de mejor ajuste; los parámetros optimizados del modelo. Estos datos contienen mucha información sobre el sistema físico medido. A continuación se describen varias realizaciones de la presente invención donde estos datos resultantes se utilizan para ciertas aplicaciones.

En una realización, se pueden utilizar los parámetros optimizados como características medidas del sistema físico. Por ejemplo, el vector de magnetización optimizado $M = (M_x, M_y, M_z)$, da información sobre su tamaño: tamaño(M) = $\sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$. También da información sobre su desviación desde el eje de magnetización geométrico. Supongamos que el imán se magnetiza supuestamente a lo largo del eje c (en la dirección Z). El procedimiento de optimización descrito anteriormente puede resultar en $M = (M_x, M_y, M_z)$ en el cual M_z será más grande, pero con algunos valores no cero para M_x y M_y . Al convertir (M_x, M_y, M_z) desde coordenadas esféricas cartesianas (M, θ, ϕ) , se obtiene fácilmente la magnitud de M, además de su ángulo de desvío desde el eje c (θ) y el ángulo de su proyección en el plano XY (ϕ). En particular los valores para M y θ son características importantes que determinan la calidad de imanes permanentes magnetizados uniaxialmente y pueden, usando la presente invención, obtenerse y evaluarse fácilmente durante una inspección.

En otra realización de la invención, la posición optimizada (incluyendo la posición angular) del imán en el plano XY puede usarse para por ejemplo, realizar mediciones de posición precisas de un objeto, o para posicionar un objeto de forma activa usando el esquema de optimización como sistema de reacción.

En otra realización, la imagen residual puede analizarse para detectar imperfecciones en el imán físico o en su estructura de magnetización. Por ejemplo, las inhomogeneidades en la distribución del campo magnético que pueden no ser aparentes en el mapa del campo magnético medido original pueden volverse visibles en el mapa residual. Éstas pueden indicar fisuras o inclusiones internas en el imán, áreas donde las propiedades magnéticas son diferentes, defectos en la magnetización, etc. Sobre esta imagen residual podría realizarse un análisis estadístico de imagen arrojando parámetros cuantitativos que pueden usarse para por ejemplo, un control de calidad pasar/fallar.

50 En otra realización, un imán de referencia, que se considera un imán "bueno", puede analizarse usando el esquema de optimización de la presente invención. El mapa teórico resultante puede entonces ser usado con fines comparativos con otros imanes similares cuya calidad deba determinarse. En vez de comparar directamente con un imán "bueno pero no perfecto" (ningún imán es perfecto), el imán se hace perfecto buscando equivalente teórico que se ajuste mejor. En este equivalente teórico, las imperfecciones pueden eliminarse para hacer el imán de referencia aún más perfecto. Supongamos, por ejemplo, que el imán tiene una magnetización a lo largo de la dirección c (dirección z), pero el análisis de optimización muestra algunos componentes M_x y M_y . Estos componentes pueden eliminarse tras el análisis de optimización, manteniendo al mismo tiempo todos los otros parámetros optimizados constantes y volver a calcular la distribución del campo magnético, pero con M_x y M_y establecidos iguales a cero.

En otra realización, todo lo mencionado anteriormente se aplica a todas las formas de imanes distintas a imanes en bloque, incluyendo, pero sin limitación, imanes cilíndricos, imanes en anillo, imanes en segmentos de anillo, formas

más complejas, etc.

En otra realización, todo lo anterior se aplica a combinaciones de más de un imán, montajes magnéticos y sistemas magnéticos, productos que implican sistemas magnéticos, etc.

5

En otra realización, todo lo anterior se aplica a distribuciones de campo magnético medidas usando un dispositivo de cámara de campo magnético MagCam. La cámara de campo magnético MagCam puede registrar el mapa del campo magnético sin moverse, es decir, midiendo su área sensible, o puede escanearse mecánicamente para cubrir un área más grande.

10

En otra realización, todo lo anterior se aplica a las distribuciones de campo magnético medidas usando un sensor de campo magnético discreto que se escanea mecánicamente sobre el sistema magnético para obtener una distribución del campo magnético. El sensor del campo magnético discreto puede ser, pero no está limitado, uno de los siguientes tipos o combinación de los mismos: un sensor de efecto Hall, un sensor magnetoresistivo (AMR, GMR, TMR), un sensor SQUID, un sensor de saturación, un sensor NMR, etc.

15

En otra realización, el mapa de campo magnético medido se obtiene uniendo múltiples mapas de distribución de campo magnético usando algoritmos de unión de imagen.

20

En otra realización, lo anterior se aplica a materiales magnéticos blandos que se magnetizan usando un campo magnético externo.

En otra realización lo anterior se aplica a soldaduras en materiales magnéticos como, pero sin limitación, acero, níquel, cobalto. Las soldaduras pueden incluir, sin limitación, uno de los siguientes tipos: soldadura por puntos, soldaduras por proyección, otras soldaduras de resistencia, soldaduras por láser, soldaduras por haz de electrones, soldaduras de arco, etc.

25

En una realización de lo anterior, una soldadura por puntos se magnetiza usando un campo magnético DC y la distribución del campo magnético en la cercanía de la soldadura por puntos se mide usando una cámara de campo magnético u otro dispositivo de mapeo de campo magnético. Un algoritmo de optimización de acuerdo con la presente invención se aplica a este mapa de campo magnético medido. El modelo de simulación puede ser cualquier modelo capaz de calcular una distribución de campo magnético de una soldadura por puntos magnetizada. La soldadura por puntos puede magnetizarse a lo largo de cualquier dirección, incluyendo en el plano de la soldadura y perpendicular a la soldadura.

30

En otra realización, el principio de precalcular las distribuciones del campo magnético se aplica a otras propiedades físicas que pueden simularse y medirse.

35

EJEMPLOS

A continuación se muestran algunos ejemplos de la aplicación de la presente invención para imanes permanentes.

40

Figura 1: Imán magnético cilíndrico con magnetización axial colocado en el dispositivo de medición de la cámara de campo magnético con sensores de campo magnético Hall 128x128 sobre un área de 13mm*13mm (= 16384 sensores). El conjunto completo se mide en menos de un segundo.

45

Figura 2: Distribución del campo magnético medido del imán mostrado en la Fig. 1. El componente del campo magnético medido es el componente Bz, perpendicular al sensor de la cámara de campo magnético.

Figura 3: Resultados de un procedimiento de optimización de acuerdo con la presente invención para el imán de las Figuras 1 y 2. Los datos medidos se cargan usando el botón "Cargar datos". Para el análisis, la geometría del imán se selecciona en el cuadro desplegable de la derecha ("cilindro"). La primera columna de la tabla más grande ("valor inicial") muestra los valores iniciales (valores iniciales) para el procedimiento de optimización. En base a estos valores iniciales, las distribuciones del campo magnético simulado precalculadas se cargan desde una biblioteca, o se calculan si aún no existen. Los nombres del parámetro se muestran a la izquierda. La tercera columna ("Ajuste") permite seleccionar qué parámetros incluir en la optimización y cuáles mantener fijos. El procedimiento de optimización se inicia usando el botón "Analizar". Tras completarse el proceso, la columna "Valor ajustado" muestra los valores optimizados para los parámetros de ajuste seleccionados. En este ejemplo, los parámetros ajustados incluyen: el diámetro del cilindro ("Tamaño 1"), los componentes del vector de magnetización (Mx, My, Mz), y la posición del centro del imán en el plano XY ("x-position" e "y-position"). Debe tenerse en cuenta que el componente de magnetización más grande es Mz, con valores no cero para Mx y My. Estos valores no cero resultan en un ángulo de desviación (theta) del vector de magnetización desde el eje de magnetización principal (el eje Z). Esto se muestra

50

55

60

en la siguiente tabla más pequeña, donde el vector de magnetización se expresa en coordenadas esféricas. Los parámetros de ajuste optimizados cuantitativos (y los parámetros deducidos como las coordenadas esféricas del vector de magnetización), pueden incluirse en el análisis pasar/fallar donde un valor objetivo y un intervalo de tolerancia puede establecerse para cada parámetro (véanse las columnas "QC", "Objetivo", "Tol.", y "Pasar/fallar").

5 El análisis completo usando el esquema precalculado no lleva más de dos segundos.

Figura 4: Distribución de campo magnético teórica de mejor ajuste del imán de la Fig. 1 y de la Fig. 2. Los parámetros optimizados son aquellos de la Fig. 3. Ésta es una distribución de campo magnético teórica "perfecta".

10 Figura 5: Distribución del campo magnético residual (ajuste-datos medidos), que resulta a partir del análisis en las figuras anteriores. Este mapa residual muestra todas las "imperfecciones" en el imán medido, es decir, todas las características en la distribución del campo magnético que se desvían de la distribución "perfecta" de campo magnético simulado de la Fig. 4. Esta cifra residual permite dichos análisis como detección y caracterización de detección de defectos de materiales, análisis de (in)homogeneidad del campo magnético, etc. En relación con lo
15 último, ya que se elimina el fondo del campo magnético debido al imán "perfecto", las estadísticas de la imagen en la imagen residual proporcionan información relevante sobre la (in)homogeneidad del imán con respecto al imán perfecto, como se ve en el cuadro "Estadísticas" en la parte superior derecha. Los valores útiles que pueden usarse para por ejemplo un análisis pasar/fallar incluyen campos mínimos y máximos, rango, medio, desviación estándar, asimetría norte-sur, etc.

20

Figura 6: Distribución del campo magnético medido de un imán en bloque con $a = b = 5$ mm y $c = 2$ mm. El componente del campo magnético medido es el componente B_z , perpendicular al sensor de la cámara de campo magnético.

25 Figura 7: Resultados de un procedimiento de optimización de acuerdo con la presente invención para el imán de la Fig. 6. Los datos medidos se cargan usando el botón "Cargar datos". Para el análisis, la geometría del imán se selecciona en el cuadro desplegable de la derecha ("bloque"). La primera columna de la tabla más grande ("valor inicial") muestra los valores iniciales (valores iniciales) para el procedimiento de optimización. En base a estos valores iniciales, las distribuciones del campo magnético simulado precalculadas se cargan desde una biblioteca, o
30 se calculan si aún no existen. Los nombres del parámetro se muestran a la izquierda. La tercera columna ("Ajuste") permite seleccionar qué parámetros incluir en la optimización y cuáles mantener fijos. La columna "Valor ajustado" muestra los valores optimizados para los parámetros de ajuste seleccionados. En este ejemplo, los parámetros ajustados incluyen: los componentes del vector de magnetización (M_x, M_y, M_z), la posición del centro del imán en el plano XY ("x-position" e "y-position"). Debe tenerse en cuenta que el componente de magnetización más grande es M_z , con valores no cero para M_x y M_y . Estos valores no cero resultan en un ángulo de desviación (theta) del vector de magnetización desde el eje de magnetización principal (el eje Z), como se muestra en la siguiente tabla más pequeña, donde el vector de magnetización se expresa en coordenadas esféricas. Los parámetros de ajuste optimizados cuantitativos (y los parámetros deducidos como las coordenadas esféricas del vector de magnetización), pueden incluirse en el análisis pasar/fallar donde un valor objetivo y un intervalo de tolerancia puede establecerse
40 (véanse las columnas "QC", "Objetivo", "Tol.", y "Pasar/fallar"). El análisis completo usando el esquema precalculado no lleva más de dos segundos. Estos métodos descritos anteriormente de acuerdo con las realizaciones de la presente invención pueden implementarse en un sistema de procesamiento 200, como el mostrado esquemáticamente en la Fig. 8. La Fig. 8 muestra una configuración del sistema de procesamiento 200 que incluye al menos un procesador personalizable o programable 41 acoplado a un subsistema de memoria 42 que incluye al
45 menos un formato de memoria, por ejemplo, RAM, ROM, etcétera. Debe tenerse en cuenta que el procesador 41 o procesadores pueden ser un procesador de uso general, un procesador de uso especial, y puede ser para su inclusión en un dispositivo, por ejemplo, un chip que tiene otros componentes que realizan otras funciones. Por tanto, uno o más aspectos del procedimiento de acuerdo con las realizaciones de la presente invención puede implementarse en circuito electrónico digital, o en hardware informático, firmware, software, o una combinación de
50 los mismos. El sistema de procesamiento puede incluir un subsistema 43 que tiene al menos una unidad de disco y/o unidad CD-ROM y/o una unidad DVD. En algunas implementaciones puede proporcionarse un subsistema de interfaz de usuario 44 para que un usuario introduzca manualmente información o ajuste la operación. Más elementos como conexiones de red, interfaces a varios dispositivos, etcétera, pueden incluirse en algunas realizaciones, pero no se ilustran en la Fig. 8. En particular, se proporciona una interfaz para recibir el resultado de una cámara de campo magnético como se ha descrito anteriormente. Los diferentes elementos del sistema de
55 procesamiento 40 pueden conectarse de diferentes formas, incluyendo mediante un subsistema bus 45 mostrado en la Fig. 8 para simplicidad como un bus único, pero aquellos expertos en la técnica comprenderán que incluye un sistema de al menos un bus. La memoria del subsistema de memoria 42 puede en algún momento tener parte o todo (en cualquier caso mostrado como 46) de un conjunto de instrucciones que cuando se ejecutan en el sistema
60 de procesamiento 40 implementa los pasos de las realizaciones del procedimientos descritas en el presente.

La presente invención también incluye un producto de programa informático que proporciona la funcionalidad de cualquiera de los procedimientos de acuerdo con las realizaciones de la presente invención cuando se ejecutan en un dispositivo de computación. Dicho producto de programa informático puede integrarse tangiblemente de forma no transitoria en un medio portador que porte código legible por máquina para su ejecución por un procesador programable. La presente invención por tanto se refiere a un medio portador que porte un producto de programa informático que, cuando se ejecuta en medios de computación, proporciona instrucciones para ejecutar cualquiera de los procedimientos descritos anteriormente. El término "medio portador" se refiere a cualquier medio que participe en proporcionar instrucciones a un procesador para su ejecución. Dicho medio puede tener diversos formatos, incluyendo, pero sin limitación, medios no volátiles, y medios de transmisión. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos o magnéticos, como un dispositivo de almacenamiento que es parte de un almacenamiento masivo. Los formatos comunes de medios legibles por ordenador incluyen un CD-ROM, un DVD, un disco flexible o disco floppy, una cinta, un chip de memoria o cartucho, o cualquier otro medio desde el cual un ordenador puede leer. Pueden participar diferentes formatos de medios legibles por ordenador para portar una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador para su ejecución. El producto de programa informático también puede transmitirse por medio de una onda portadora en una red, como una LAN, una WAN o Internet. El medio de transmisión puede tener la forma de ondas acústicas o luminosas, como aquellas generadas durante las comunicaciones por onda de radio o por datos infrarrojos. El medio de transmisión incluye cables coaxiales, cable de cobre y fibra óptica, incluyendo los cables que forman un bus en un ordenador.

Por tanto, la presente invención también incluye un producto de software que cuando se ejecuta sobre un dispositivo de computación adecuado realiza cualquiera de los procedimientos de la presente invención. El software adecuado puede obtenerse programando en un lenguaje adecuado de alto nivel como C y compilándose sobre un compilador adecuado para el procesador del ordenador de destino. El procesador del ordenador de destino puede ser (por ejemplo, pero sin limitación): el procesador de uso general (CPU) en un sistema informático, un procesador gráfico (como una GPU) de un sistema informático, un procesador de uso general presente en un sistema de visualización, un procesador gráfico (como una GPU) presente en un sistema de visualización, un procesador integrado presente en un sistema de visualización, un procesador presente en un panel como un panel LCD o un panel OLED o un panel de plasma, un procesador presente en el sistema de controlador de un panel de pantalla de cristal líquido.

Por tanto, la presente invención proporciona un producto de programa informático para caracterizar sistemas magnéticos en base a un conjunto inicializado de parámetros de entrada del sistema magnético, segmentos de código, cuando se ejecuta en un motor de procesamiento, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, puede adaptarse para permitir medir la distribución del campo magnético y para determinar una distribución óptima de campo magnético esperado del sistema magnético.

En otro aspecto la presente invención se proporciona un producto de programa informático para un procedimiento para adaptar un modelo de simulación teórica a un conjunto de datos medidos optimizando un conjunto de parámetros del modelo, caracterizado porque todo o parte del trabajo de cálculo del modelado se realiza antes de que se inicie el procedimiento de optimización real ("precálculo" o "datos precalculados"). Los datos medidos pueden ser, por ejemplo, valores del campo magnético. En una realización preferida, los datos medidos son valores del campo magnético obtenidos a partir de un dispositivo de cámara de campo magnético. El producto de programa informático puede almacenarse opcionalmente en un medio de almacenamiento no transitorio. Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir determinar dicha distribución esperada del campo magnético, para incluir:

- i) determinar una distribución calculada de campo magnético usando un modelo de simulación teórica,
- ii) comparar dicha distribución esperada del campo magnético con dicho valor de distribución del campo magnético medido,
- iii) usar un esquema de optimización para obtener la distribución esperada del campo magnético del sistema magnético,
- iv) repetir pasos i), ii) y iii) hasta que la distribución esperada del campo magnético sea igual al valor de distribución del campo magnético medido dentro de una tolerancia. Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el modelo de simulación teórica sea un modelo analítico.

Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el modelo de simulación teórica sea un modelo de método de elemento finito.

Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el esquema de optimización utilice un algoritmo de ajuste de datos lineal.

Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el esquema de optimización utilice un algoritmo de ajuste de datos no lineal.

5 Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el esquema de optimización utilice algoritmos de interpolación.

Los segmentos de código, cuando se ejecutan en un motor de procesamiento, pueden adaptarse para permitir que el esquema de optimización utilice combinaciones lineales de los conjuntos de datos precalculados.

REIVINDICACIONES

1. Una disposición para caracterizar la distribución del campo magnético de un sistema magnético basado en un conjunto inicializado de parámetros de entrada del sistema magnético, comprendiendo los parámetros 5 vectores de magnetización, comprendiendo la disposición:
- medios para medir la distribución del campo magnético y
 - medios para determinar una distribución esperada óptima del campo magnético del sistema magnético, **caracterizados porque**
- 10 - los medios para medir la distribución del campo magnético es un dispositivo de cámara de campo magnético y donde
- los medios para determinar dicha distribución esperada óptima del campo magnético incluyen
- i) medios para determinar una distribución calculada del campo magnético usando un modelo de simulación teórico, 15 haciendo uso de datos de simulación precalculados que solo necesitan ser calculados una vez para una configuración particular del sistema magnético;
- ii) medios para comparar dicha distribución esperada del campo magnético con dicho valor de distribución del campo magnético medido, y
- iii) medios usar un esquema de optimización para obtener la distribución óptima esperada del campo magnético del 20 sistema magnético;
- iv) medios para repetir los pasos del procedimiento ejecutados por los medios de i), ii) y iii) hasta que la distribución esperada del campo magnético sea la misma que el valor de distribución del campo magnético medido dentro de una tolerancia.
- 25 2. Una disposición de acuerdo con la reivindicación 1, en la cual los parámetros de entrada incluyen al menos uno de los siguientes: componentes de vector de magnetización, coordenadas de posición o dimensiones.
3. Una disposición de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2 en la cual el modelo de simulación teórica se selecciona del grupo que comprende un modelo analítico y un modelo de método de elemento 30 finito.
4. Una disposición de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en la cual el esquema de optimización utiliza cualquiera de los siguientes: un algoritmo lineal de ajuste de datos, un algoritmo no lineal de ajuste de datos, algoritmos de interpolación y combinaciones lineales de conjuntos de datos precalculados.
- 35 5. El uso de una disposición de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 para la inspección y/o control de calidad de cualquiera de los siguientes: imanes permanentes, imanes permanentes con magnetización uniaxial, imanes con magnetización multipolar, materiales ferromagnéticos, paramagnéticos, diamagnéticos, magnetostrictivos, y/o materiales superconductores y/o materiales con otras formas de respuesta magnética, 40 electroimanes, montajes magnéticos o para la inspección y/o el control de calidad de soldaduras, incluyendo, entre otras, soldaduras por puntos, soldaduras por proyección, otras soldaduras de resistencia, soldaduras por láser, soldaduras por haz de electrones y soldaduras de arco.
6. Procedimiento para caracterizar la distribución del campo magnético de un sistema magnético basado 45 en un conjunto inicializado de parámetros de entrada del sistema magnético, comprendiendo los parámetros vectores de magnetización, comprendiendo el procedimiento los pasos de:
- medir la distribución del campo magnético y
 - determinar una distribución esperada óptima del campo magnético del sistema magnético, **caracterizado porque**
- 50 - la medición de la distribución del campo magnético se realiza midiendo los valores del campo magnético con un dispositivo de cámara de campo magnético, y
- determinar la distribución óptima esperada del campo magnético comprende:
- i) desde dicho conjunto inicializado de parámetros de entrada, determinar una distribución calculada del campo magnético usando un modelo de simulación teórico, haciendo uso de datos de simulación precalculados que solo 55 necesitan ser calculados una vez para una configuración particular del sistema magnético;
- ii) comparar dicha distribución esperada del campo magnético con dicho valor de distribución del campo magnético medido;
- iii) usar un esquema de optimización para obtener la distribución óptima esperada del campo magnético del sistema 60 magnético, y

iv) repetir los pasos i), ii) y iii) hasta que la distribución esperada del campo magnético sea la misma que el valor de distribución del campo magnético medido dentro de una tolerancia.

7. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual los parámetros de entrada incluyen al menos uno de los siguientes: componentes de vector de magnetización, coordenadas de posición o dimensiones.
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7 en el cual el modelo de simulación teórica se selecciona de entre un modelo analítico y un modelo de método de elemento finito.
- 10 9. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7 en el cual el esquema de optimización utiliza cualquiera de los siguientes: un algoritmo lineal de ajuste de datos, un algoritmo no lineal de ajuste de datos, algoritmos de interpolación y combinaciones lineales de conjuntos de datos precalculados.
10. El uso de un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9 para la inspección y/o control de calidad de cualquiera de los siguientes: imanes permanentes, imanes permanentes con magnetización uniaxial, imanes permanentes con magnetización multipolar, materiales ferromagnéticos, paramagnéticos, diamagnéticos, magnetoestrictivos, y/o materiales superconductores y/o materiales con otras formas de respuesta magnética, electroimanes, montajes magnéticos, soldaduras, soldaduras por puntos, soldaduras por proyección, otras soldaduras de resistencia, soldaduras por láser, soldaduras por haz de electrones y soldaduras de arco.
- 20 11. Un producto de programa informático para caracterizar sistemas magnéticos en base a un conjunto inicializado de parámetros de entrada del sistema magnético, segmentos de código, cuando se ejecuta sobre un motor de procesamiento (200), **caracterizado porque** se adapta para permitir la medición de la distribución del campo magnético y para determinar una distribución esperada óptima del campo magnético del sistema magnético y configurado para ejecutar todos los pasos del procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6.
- 25

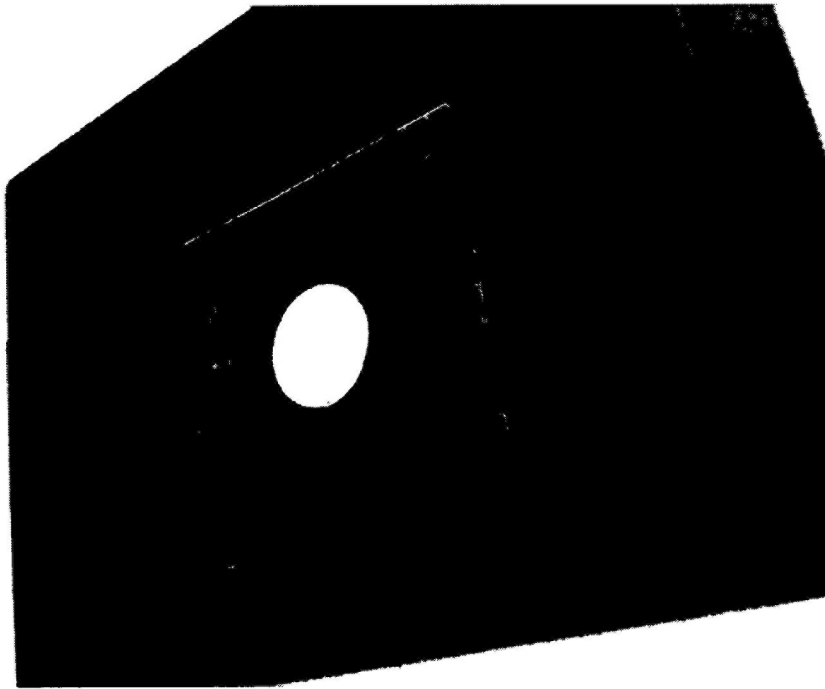


Fig. 1

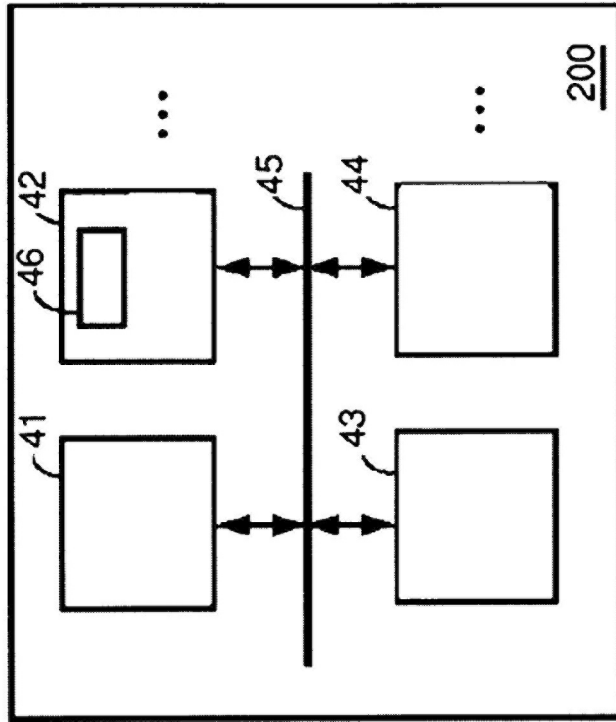


Fig. 8

Parámetro	Valor inicial	Unidad	Ajuste	Valor fijado	Unidad	QC	Objetivo	Unidad	Total	%	Pasar/fallar
Tamaño 1	12	mm	x	11,94810	mm		5	mm	0,2		-
Tamaño 2	0	mm		0	mm		5	mm	0,2		-
Tamaño 3	0,5	mm		0,5	mm		2	mm	0		-
Tamaño 4	0	mm		0	mm		0	mm	0		-
Mx	0	T	x	-0,01913	T		0	T	0	x	-
My	0	T	x	0,02811	T		0	T	0		-
Mz	0	T	x	1,00316	T		0	T	0		-
X-position	6,4	mm	x	6,30782	mm		0	mm	0		-
Y-position	6,4	mm	x	6,35765	mm		0	mm	0		-
Med. Altura	0,37	mm		0,37	mm		0	mm	0		-
Orient. Alpha	0	°		0	°		0	°	0		-

Geometr: Cilindro

Parámetro	Resultado	Unidad	QC	Objetivo	Unidad	Total	%	Pasar/fallar
Dirección M	3	-		0	-	0		-
M	1,0037	T		1	T	10	x	-
Theta	1,9411	°		0	°	0		-
phi	124,2337	°		0	°	0		-

Datos de carga

Fig. 3

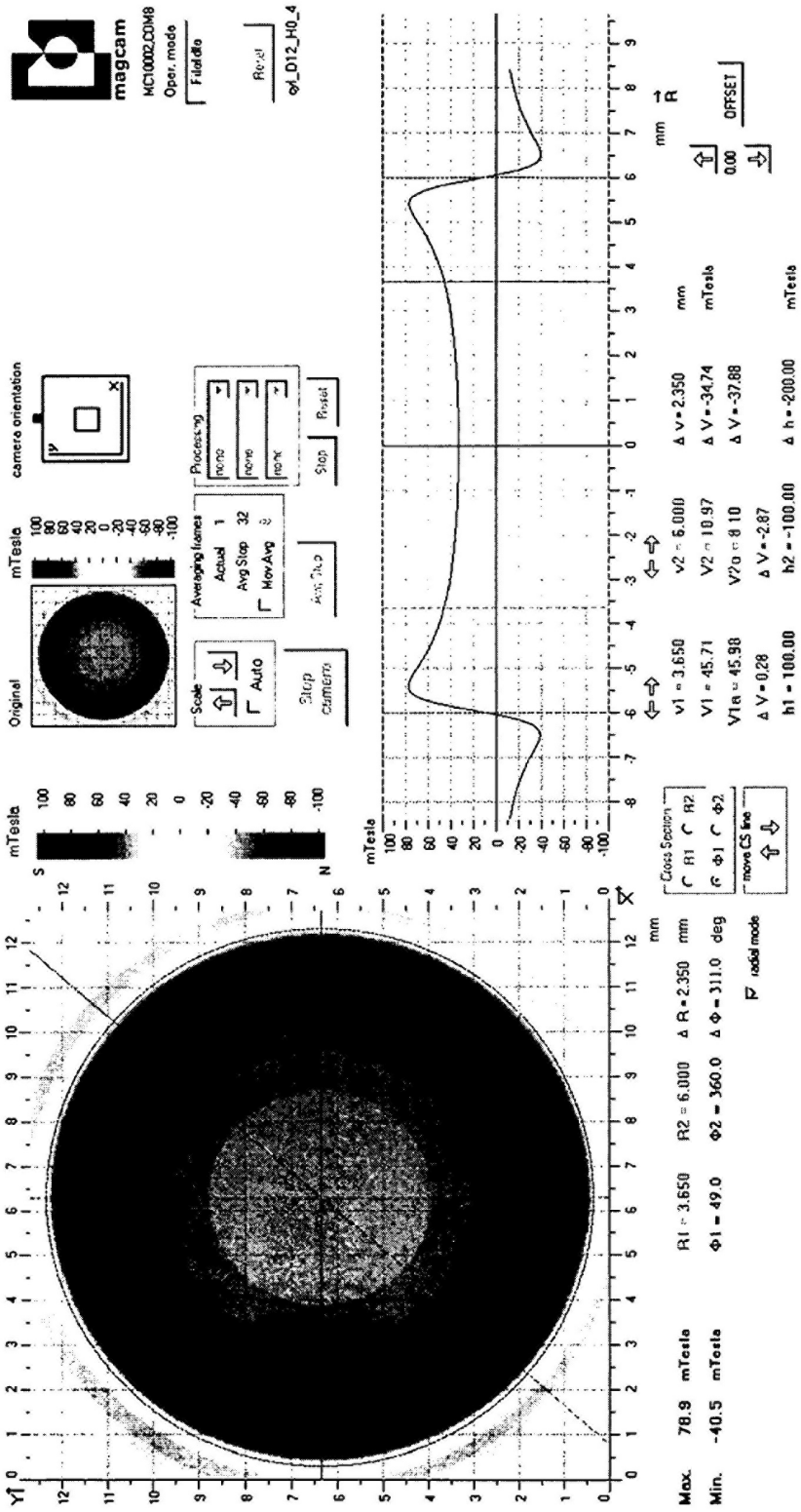


Fig. 4

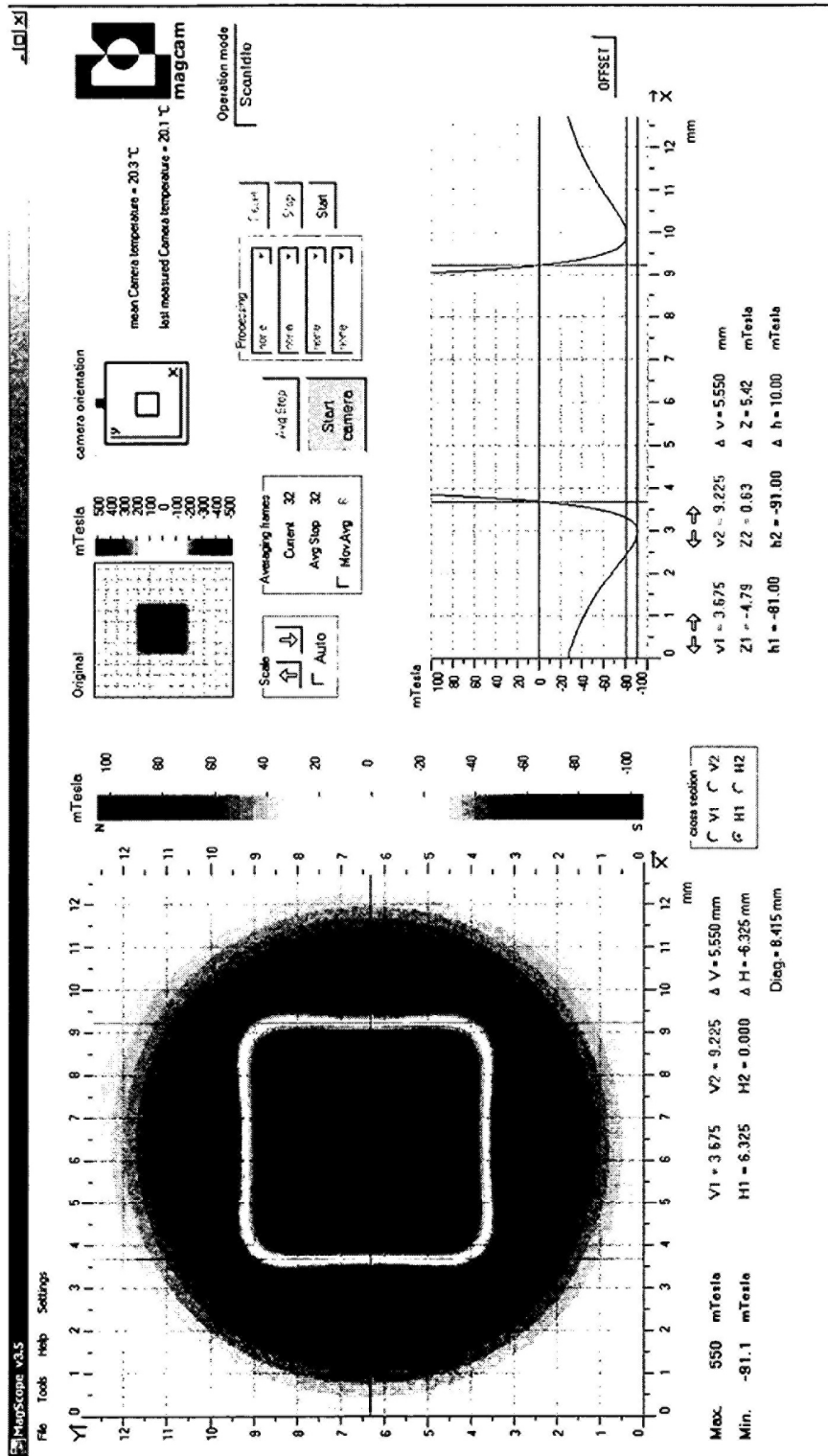


Fig. 6

Parámetro	Valor inicial	Unidad	Ajuste	Valor fijado	Unidad	QC	Objetivo	Unidad	Total	%	Pasar/fallar
Tamaño 1	5	mm		5	mm		5	mm	0,2		-
Tamaño 2	5	mm		5	mm		5	mm	0,2		-
Tamaño 3	2	mm		2	mm		2	mm	0		-
Tamaño 4	0	mm		0	mm		0	mm	0		-
Mx	0	T	x	-0,0227	T		0	T	0	x	-
My	0	T	x	-0,0546	T		0	T	0		-
Mz	0	T	x	-1,2961	T		0	T	0		-
X-position	6,4	mm	x	5,5715	mm		0	mm	0		-
Y-position	6,4	mm	x	6,0251	mm		0	mm	0		-
Med. Altura	1	mm	x	1,1036	mm		0	mm	0		-
Orient. Alpha	0	°	x	26,9164	°		0	°	0		-

Geometr: Cilindro

Parámetro	Resultado	Unidad	QC	Objetivo	Unidad	Total	%	Pasar/fallar
Dirección M	-3	-		0	-	0		-
M	1,2975	T		1	T	10	x	-
Theta	2,6112	°		0	°	0		-
phi	112,5550	°		0	°	0		-

Datos de carga

Analizar

Fig. 7