



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 297 737**

(51) Int. Cl.:  
**G01B 7/06** (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **05766821 .2**

(86) Fecha de presentación : **23.06.2005**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1774254**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **18.04.2007**

(54) Título: **Procedimiento para la determinación sin contacto del espesor de una capa de material conductor eléctrico.**

(30) Prioridad: **15.07.2004 DE 10 2004 034 081**

(73) Titular/es: **ROBERT BOSCH GmbH**  
**Postfach 30 02 20**  
**70442 Stuttgart, DE**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.05.2008**

(72) Inventor/es: **Hachtel, Hansjörg y**  
**Meyer, Stefan**

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.05.2008**

(74) Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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**

Procedimiento para la determinación sin contacto del espesor de una capa de material conductor eléctrico.

**5 Estado de la técnica**

La presente invención se basa en el procedimiento conocido por la memoria DE 196 52 750 C2 para la determinación sin contacto del espesor de una capa de material conductor eléctrico, especialmente una capa de cromo. El procedimiento se basa en una combinación de principio de inductividad y de corriente en remolino. Para la realización del procedimiento de medición, mediante un resorte se presiona un sensor, compuesto por una bobina y un cuerpo de bobina, contra la superficie de un componente de construcción a ser medido. Varios pasos de medición y evaluación, en los que una corriente alterna fluye por la bobina y cuya modificación de inductividad es evaluada, conducen a la determinación del espesor de la capa. Los errores de medición que se presentan en este procedimiento, ocasionados, por ejemplo, por variaciones de la composición material del componente de construcción, o por diferencias en la distancia, ocasionadas por suciedad o abrasión, entre la bobina y el componente de construcción, pueden ser reducidos a través de la introducción de un valor normal. De ese modo también se garantiza una asignación unívoca del valor de inductividad medido y el correspondiente espesor de capa.

La memoria WO- A- 99 58 923 describe un procedimiento para la determinación del espesor de una capa conductora de un sustrato ferromagnético, mediante una bobina por la cual fluye una corriente alterna. En él primero se mide la inductividad de la bobina a una frecuencia determinada respecto de un sustrato no revestido, y luego la inductividad de la bobina en la misma frecuencia respecto del sustrato revestido. Estos valores de medición son convertidos a un valor no dimensional que mediante una curva de ajuste se convierte en el espesor de capa.

**25 Ventajas de la invención**

El procedimiento acorde a la invención para la determinación del espesor de una capa de material conductor eléctrico con las características de la reivindicación independiente, tiene la ventaja de que se posibilita una medición sin contacto. De ese modo se facilita un procedimiento rápido y cuidadoso para el objeto de medición. Además se elimina el peligro de un daño del sensor y/o de la superficie.

Además, en las mediciones con contacto conocidas hasta ahora, el objeto de medición con la capa a ser analizada se coloca sobre un cuerpo de bobina alojado con resorte y se lo presiona contra él, para garantizar un contacto plano-paralelo del objeto de medición con el cuerpo de bobina. En ese procedimiento los cables conectores de la bobina que conducen a la bobina acompañan inevitablemente al movimiento y por ello pueden quebrarse tras repetidas mediciones por un fuerte desgaste. En caso de una medición sin contacto acorde a la invención se evita un movimiento del cuerpo de bobina y con ello un quiebre de los cables conectores de la bobina.

En el caso de una medición sin contacto, en principio puede ser problemática una tolerancia de terminación no despreciable del objeto de medición. A causa de una tolerancia de terminación no igual a cero posiblemente entre medición y medición varía la luz, es decir, la distancia entre el cuerpo de bobina y con ello la bobina y el objeto de medición. Una adulteración de los resultados de medición originada por ello es reducida ampliamente por el procedimiento acorde a la invención, de modo que el objeto de medición no debe ser presionado contra el cuerpo de bobina en cada ciclo de medición, para evitar una variación de la distancia.

A su vez el procedimiento presenta también todas las ventajas que brinda el procedimiento del estado de la técnica. Especialmente las piezas fabricadas en una producción masiva pueden ser evaluadas en un procedimiento de medición continuo.

Por las medidas mencionadas en las reivindicaciones dependientes, son posibles otros ventajosos perfeccionamientos y mejoras del procedimiento indicado en la reivindicación independiente.

**Dibujo**

Un ejemplo de ejecución de la invención está representado en el dibujo y comentado en las siguientes descripciones.

La figura 1 muestra una construcción esquemática del dispositivo de medición.

En la figura 2 está representado el desarrollo de la inductividad  $L$  de la bobina exploradora en el espesor  $a$  de la capa a ser determinada a diferentes distancias y en diferentes composiciones materiales  $\alpha$  o  $\beta$  del material que se encuentra debajo de la capa a ser determinada.

En la figura 3 está representada la relación de las diferentes distancias utilizadas en la figura 2, entre la bobina exploradora y el objeto de medición.

La figura 4 muestra la dependencia de la inductividad de la bobina de la luz (distancia entre el cuerpo de bobina y el objeto de medición), del espesor de la capa y de la frecuencia aplicada.

En la figura 5 está trazada la inductividad de la bobina y el parámetro en la distancia cuerpo de bobina-objeto de medición.

La figura 6 muestra un haz de curvas de ajuste con múltiples curvas de ajuste, en dicho haz cada una se aplica a una distancia  $d$  concreta y diferente entre sí.

### Descripción del ejemplo de ejecución

El procedimiento de medición acorde a la invención se basa en el denominado principio de inductividad y de corriente en remolino. Un posible dispositivo para la realización del procedimiento es conocido por la memoria DE 196 52 750 C2. En la figura 1 está representada la construcción de un sensor 10 utilizado para dicho procedimiento. En esta representación un componente de construcción 17 está colocado sobre un cuerpo de bobina 13, contrario a esto, en el procedimiento acorde a la invención es posible una medición in contacto. El sensor 10 está dispuesto en la muesca 11 de un cuerpo base 12 y consiste en un cuerpo de bobina 13 sobre el cual está dispuesta una bobina 14 a través de la cual fluye una corriente alterna. La bobina 14 puede, ejemplo, estar configurada como bobina plana o bobina anular. El cuerpo de bobina 13 consiste preferentemente en material no conductor eléctrico ni ferromagnético, por ejemplo, plástico, y es introducido casi sin rozamiento en la muesca 11. El componente de construcción 17 a ser controlado está insertado en un cuerpo guía 18, que posiciona entre sí al componente de construcción 17 y a la bobina 14. Mediante un resorte 19 el cuerpo de bobina 13, y con ello la bobina 14, son presionados contra la superficie del componente de construcción 17, lo cual no es necesario en el procedimiento acorde a la invención. La superficie presenta la capa a ser determinada 20. En el caso del componente de construcción 17 se puede tratar, por ejemplo, de la tubuladora de una válvula de inyección, asimismo la capa 20 representa en ese caso una capa de cromo. Si a través de la bobina 14 fluye una corriente alterna, entonces se genera un campo magnético alterno, que atraviesa tanto la capa de cromo tanto como la capa de material que se encuentra debajo, de material ferromagnético del componente de construcción 17.

En la capa de cromo sólo actúa entonces el efecto de remolino, mientras que en el material ferromagnético del componente de construcción 17 actúan los efectos inductivo y de remolino. A continuación se detallan individualmente los efectos de medición respectivos que se presentarían si la otra pieza respectiva no estuviera presente. Si a través de la bobina 14 fluyera una corriente alterna y el campo magnético alterno de la bobina 14 detectara un buen material conductor eléctrico pero no ferromagnético, es decir, sólo la capa de cromo fuera detectada por el campo magnético alterno de la bobina 14, actúa sólo el denominado efecto de remolino. A causa de los remolinos que se forman en el buen material conductor eléctrico pero no ferromagnético, se obtiene una reducción de la inductividad de la bobina 14.

A continuación se describirá el efecto del campo magnético de la bobina 14 atravesada por una corriente alterna sobre el material ferromagnético que se halla frente a ella, es decir, en el material del componente de construcción 17. El campo magnético alterno de la bobina 14 a través de la cual fluye una corriente alterna detecta el material del componente de construcción 17. Cabe mencionar que en caso del material ferromagnético conductor eléctrico actúa tanto el efecto ferromagnético como así también el efecto de remolino. Mientras que el efecto de remolino provoca una reducción de la inductividad de la bobina exploradora 14, el efecto ferromagnético, también denominado efecto inductivo en esta memoria, produce un incremento de la inductividad de la bobina exploradora 14. Cuál de los dos efectos predomina, depende en primer lugar de la frecuencia de la corriente alterna que fluye por la bobina 14, y de la composición material del componente de construcción 17. Si se transmiten estos dos efectos de medición al componente de construcción 17 con la capa de cromo, se puede determinar que cuanto más gruesa es la capa de cromo, con mayor debilidad se forma el campo magnético, y por ello es más débil la inductividad de la bobina 14. En la figura 2 está indicada con  $\alpha 1$  una curva de medición correspondiente, que representa el recorrido decreciente de la inductividad de la bobina exploradora 14 en el espesor  $a$  de la capa de cromo que se incrementa.

Sin embargo, el recorrido de la curva de medición de la inductividad  $L$  en el espesor de la capa  $a$  depende de la composición material del componente de construcción 17, es decir, por ejemplo, de la resistencia eléctrica, la permeabilidad del material y de la distancia entre el cuerpo de bobina 13 o la bobina 14 y la superficie que debe medirse. Si, por ejemplo, se modifica la distancia entre la bobina exploradora 14 y la capa de cromo, condicionada a causa de suciedad o por desgaste, se obtienen diferentes curvas características del recorrido de la inductividad  $L$  en el espesor de la capa  $a$ . En la figura 2 están representados diferentes ejemplos. Las curvas características  $\alpha 1$ ,  $\alpha 2$ ,  $\alpha 3$  y  $\alpha 4$  representan aquí el recorrido de la inductividad  $L$  en el espesor de la capa  $a$  en caso de diferentes distancias entre la bobina exploradora 14 y la capa de cromo a ser evaluada, pero con la misma composición material del componente de construcción 17. En la figura 3 está representada la amplitud de la distancia  $\alpha$  entre la bobina 14 y la capa de cromo a ser evaluada. Se puede observar que la distancia de  $\alpha 1$  a  $\alpha 4$  es cada vez mayor. Las curvas características  $\beta 1$  a  $\beta 4$  significan, a su vez, una variación de la distancia entre la bobina exploradora y la capa de cromo a ser evaluada, con una segunda composición material del componente de construcción 17. A partir de un diagrama acorde a la figura 2 se puede reconocer que a un valor de inductividad  $L$  medido se le pueden asignar múltiples espesores de capa posibles.

Se conoce por el estado de la técnica la realización de una normalización de los valores de inductividad, que arroja como resultado un valor de medición asignable unívocamente y elimina los errores de medición descritos anteriormente. En total se realizan para ello tres mediciones: Respectivamente una medición previa y una posterior con del objeto de medición y una medición para la normalización exclusivamente respecto de una capa de material conductor eléctrico. No es necesario realizar la medición para la normalización para cada ejemplar. En principio alcanza, en su lugar, realizar sólo una medición para la normalización en un cambio de sensor y eventualmente ajustar temporalmente a intervalos los equipos de medición.

El procedimiento acorde a la invención ahora también posibilita una medición sin contacto. Un problema fundamental en una medición sin contacto es la variación de la distancia entre el cuerpo de bobina 13 y con ello, de la bobina y el objeto de medición. En esta memoria la distancia cuerpo de bobina 13 - objeto de medición también es denominada "distancia" o "luz". En la variación de la distancia influye la tolerancia de terminación diferente a cero del componente de construcción como objeto de medición. En la práctica la tolerancia de terminación es igual a, por ejemplo, 0,2 mm., en el caso de tubuladoras de válvulas de inyección. Suponiendo que la disposición de medición posee una tolerancia mínima de 0,1 mm., entonces la luz, es decir, la distancia entre el cuerpo de bobina 13 y el componente de construcción 17 puede variar entre uno y otro ejemplar de 0,1 mm. a 0,3 mm. La distancia mínima es entonces aquí igual a 0,1 mm. y la distancia máxima, a 0,3 mm. Si para la determinación sin contacto de un espesor de la capa el procedimiento se lleva a cabo acorde a los pasos de medición y evaluación conocidos por el estado de la técnica, las desviaciones de distancia, en condiciones de medición favorables, sólo pueden empeorar levemente la exactitud de la medición. Sin embargo, debe realizarse la medición para la formación en cada medición, incluyendo las mediciones previa y posterior. Con las siguientes explicaciones del método de doble frecuencia se demuestra cómo el espesor de la capa puede ser determinado con suficiente exactitud pese a las desviaciones de la luz, sin tener que posicionar en el sensor una pieza normalizada en cada ciclo de medición y realizar una medición para la normalización.

El procedimiento acorde a la invención para la determinación del espesor de una capa se lleva a cabo, como se conoce por el estado de la técnica, en varios pasos de medición y evaluación. Antes del revestimiento del componente de construcción 17 se determina, en una denominada primera medición previa, un valor de inductividad  $L_{0,d,f1}$  de la bobina 14. En este caso el primer factor "0" en el valor de inductividad  $L_{0,d,f1}$  se refiere al espesor del revestimiento (0 = sin revestimiento), el segundo factor "d" el valor actual de la distancia entre el cuerpo de bobina 13 y el componente de construcción 17 (d a ser determinado), y finalmente el tercer factor "f1" la primera frecuencia de corriente alterna f1, que fluye a través de la bobina 14 (f1 se ajusta). Durante la medición la bobina 14 está orientada hacia la superficie del componente de construcción 17 orientada hacia la bobina 14 (superficie de medición), asimismo entre el cuerpo de bobina 13 y la superficie del componente de construcción 17 se conforma una distancia d. El valor exacto d de la distancia aún no es conocido en este momento y por ello todavía debe ser determinado. se lleva a cabo una medición sólo respecto del material del componente de construcción 17. La frecuencia de corriente alterna f1 con que se alimenta a la bobina 14, es una frecuencia del campo de la alta frecuencia, un valor adecuado es, por ejemplo, 4 MHz. El valor de inductividad  $L_{0,d,f1}$  depende también de la composición del componente de construcción 17, especialmente de sus características magnéticas y eléctricas. Esta composición del componente de construcción 17 puede variar en una fabricación en serie. Por ello debe determinarse el valor de inductividad  $L_{0,d,f1}$  al comienzo del procedimiento de medición para cada uno de los componentes de construcción 17 y también debe almacenarse en una memoria de datos, de modo que pueda ser asignado.

La primera medición previa de alta frecuencia sirve para la determinación de un primer valor normalizado. Como complemento para esto ahora se realiza, difiriendo del procedimiento acorde al estado de la técnica, una segunda medición previa con una segunda corriente alterna f2. La segunda frecuencia de corriente alterna f2 es una frecuencia del campo de la baja frecuencia, un valor adecuado es, por ejemplo, 5 KHz. La primera y la segunda medición previa son realizadas con la misma disposición prácticamente al mismo tiempo, dado que el cambio de la frecuencia de corriente alterna f1 a la frecuencia de corriente alterna f2 se realiza en fracciones de segundos. El valor de inductividad  $L_{0,d,f2}$  obtenido sirve para la determinación de la distancia d entre el cuerpo de bobina 13 y el componente de construcción 17.

La selección de las dos frecuencias de diferentes campos de frecuencia para diferentes fines se explica a partir de la figura 4. En la figura 4 reconocemos la dependencia de la inductividad L de la bobina 14 de la distancia entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición, del espesor de la capa a y de la frecuencia de corriente alterna aplicada f. Los pares de curvas 1, 2, 3 y 4 muestran el desarrollo de los valores de inductividad en el caso de diferentes valores de distancia d = 0 mm., 0,1 mm., 0,2 mm. y 0,3 mm. Para cada valor de distancia d se llevaron a cabo mediciones sin revestimiento y con revestimiento de a = 7 cromo PM, asimismo en la figura 4 las curvas, que representan las mediciones sin revestimiento, están provistas de puntos o marcas similares en las curvas. El desarrollo de los valores de inductividad de la bobina 14 en un amplio campo de frecuencias en el caso cuatro diferentes distancias d, respectivamente con componentes estructurales 17 sin revestimiento y con revestimiento con 7 cromo PM deja en claro que mayoritariamente en el campo de la baja frecuencia, por ejemplo, 30 kHz, una modificación en la distancia genera una carrera de medición grande, y en el campo de alta frecuencia, por ejemplo, 3 MHz, una modificación del espesor de capa origina una carrera de medición grande.

A modo de ejemplo fueron trazadas la carrera de medición 5 originada por una modificación del espesor de capa en el caso de una distancia de d = 0 mm. y la carrera de medición 6 en el caso de otra distancia d = 0,3 mm. Para simplificar un intercambio de sensores es conveniente y útil no convertir el valor de inductividad obtenido en la segunda medición previa  $L_{0,d,f2}$  directamente a un valor de distancia, sino pasarlo primero, mediante un algoritmo a un valor característico no dimensional k. Este valor característico K es luego convertido a un valor de distancia d concreto, mediante una curva característica de distancia, previamente tomada y almacenada. El valor característico K es determinado mediante la ecuación 1:

$$K = A \cdot \frac{L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}}{L_{0,min,f2} + L_{0,max,f2}} \quad [1]$$

## ES 2 297 737 T3

en donde:

$L_{0,d,f2}$  = valor de inductividad de la segunda medición previa

5  $L_{0,min,f2}$  = valor de inductividad en caso de una distancia mínima entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición

$L_{0,max,f2}$  = valor de inductividad en caso de una distancia máxima entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición

10  $A$  = coeficiente constante.

Ambos valores de inductividad extremos  $L_{0,min,f2}$  y  $L_{0,max,f2}$  de la bobina 14 se obtienen en una distancia  $d$  mínima o máxima respectivamente, entre el cuerpo de bobina 13 y el componente de construcción 17 o en general, de un objeto de medición. Por ejemplo, la distancia mínima puede ser igual a 0,1 mm., y la distancia máxima, a 0,3 mm. En la figura 5 la inductividad  $L$  de la bobina 14 y del valor característico  $K$  determinado por la ecuación 1 es aplicada en la distancia  $d$ . Como podemos ver en el desarrollo de la inductividad 7 o de la curva característica de distancia 8, la inductividad o el valor característico es mayor en el caso de una distancia mínima y se reduce de manera constante al aumentar la distancia.

20 Si en el caso de la segunda medición previa el valor de la distancia  $d$  es igual a la distancia máxima, entonces naturalmente desaparece la diferencia  $L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}$  y el valor característico es igual a cero. Una vez tomada la curva característica de distancia, siempre puede ser utilizada para la conversión de un valor característico  $K$  a un valor de la distancia  $d$ . No es necesario, especialmente en el caso de un intercambio de sensor 10, y con él de la bobina 14, tomar nuevamente una curva característica de distancia si las medidas de bobina geométricas, relevantes para la técnica de medición, sólo difieren dentro de ciertos límites. En un caso así es suficiente si se llevan a cabo las mediciones para la determinación de  $L_{0,max,f2}$  y  $L_{0,min,f2}$  y almacenar los valores. El factor constante  $A$  puede ser cualquier cifra positiva, prácticamente,  $A$  es un múltiplo de 10, por ejemplo, 100.

30 Posteriormente se provee al componente de construcción 17 de una capa de cromo en un equipo de revestimiento correspondiente. Después se realiza una tercera medición, es decir, una denominada medición posterior, que se lleva a cabo en el mismo lugar del componente de construcción 17 que la medición previa mencionada anteriormente. El dispositivo de medición, a su vez, debe constituirse de modo que la distancia  $d$  sea la misma en las mediciones previa y posterior. Así se obtiene un valor de inductividad  $L_{x,d,f1}$  de la bobina exploradora 14, asimismo el primer factor “ $x$ ” se refiere al valor a determinarse del espesor de la capa  $a$ , el segundo factor “ $d$ ” a la distancia entre el cuerpo de bobina 13 y el componente de construcción revestido 17 y el tercer factor “ $f1$ ” a la frecuencia de corriente alterna  $f1$  aplicada a la bobina 14. El valor de inductividad  $L_{x,d,f1}$  es determinado entre otros por el espesor de la capa de cromo y por la composición material del componente de construcción 17. Debe asegurarse que ambos valores de inductividad obtenidos  $L_{0,d,f1}$ ,  $L_{x,d,f1}$  sean asignables cada uno unívocamente al mismo componente de construcción 17.

40 Estos dos valores de inductividad  $L_{0,d,f1}$ ,  $L_{x,d,f1}$  son convertidos en un valor normalizado mediante un algoritmo, es decir, en una cifra característica no dimensional asignable a un correspondiente espesor de la capa. Este valor normalizado se denomina aquí valor de medición  $M_e$ . Para poder realizar esta configuración del valor normalizado, deben ser determinados los valor de inductividad  $L_{\infty,AB,f1}$  y  $L_{0,AB,f1}$  o ya se han medido y almacenado. El valor de inductividad  $L_{\infty,AB,f1}$  se obtiene cuando en un objeto de medición se lleva a cabo una medición exclusivamente respecto de la capa de cromo, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición es igual a  $AB$ . La superficie del objeto de medición debe, a su vez, presentar una capa de cromo tan ancha que cubre prácticamente todo el campo magnético de la bobina 14, de modo que la materia prima ferromagnética del objeto de medición no puede verse afectada ni por el efecto inductivo ni por el efecto remolino. En el objeto de medición eventualmente también se podría utilizar como reemplazo otro material conductor eléctrico, pero no ferromagnético, en lugar de cromo. El valor de inductividad  $L_{0,AB,f1}$  se obtiene cuando se lleva a cabo una medición exclusivamente respecto de en un objeto de medición de material ferromagnético, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición es igual a  $AB$ . Para ambos valores de inductividad  $L_{\infty,AB,f1}$  y  $L_{0,AB,f1}$  se aplica la alta frecuencia de corriente alterna  $f1$ . Correspondientemente a la ecuación 2 se determina el valor nominal o el valor de medición  $M_e$ :

$$M_e = B \cdot \frac{L_{x,d,f1} - L_{0,d,f1}}{L_{\infty,AB,f1} - L_{0,AB,f1}} \quad [2]$$

en donde:

$L_{x,d,f1}$  = valor de inductividad de la medición posterior

65  $L_{0,d,f1}$  = valor de inductividad de la primera medición previa

## ES 2 297 737 T3

$L_{\infty,AB,fl}$  = valor de inductividad de la bobina 14 en una medición, exclusivamente respecto de un objeto de medición de material conductor eléctrico, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición es igual a  $AB$ .

5  $L_{0,AB,fl}$  = valor de inductividad de la bobina 14 en una medición, exclusivamente respecto de un objeto de medición de material ferromagnético, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición es igual a  $AB$ .

10  $B$  = coeficiente constante.

El coeficiente constante  $B$  puede ser cualquier cifra positiva, en la práctica  $B$  es un múltiplo de 10, por ejemplo 1000. Como un valor posible  $AB$  de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición se puede seleccionar la mitad del valor de la suma de la distancia mínima y máxima entre el cuerpo de bobina 13 y el objeto de medición. Un valor típico en la práctica es igual a  $AB = 0,2$  mm. Acorde a la ecuación anterior (2), con estos valores concretos para el coeficiente constante  $B$  y  $AB$  y los valores de inductividad medidos, y contrariamente al procedimiento de medición convencional del estado de la técnica con sólo una curva de ajuste, se toman múltiples curvas de ajuste, que se aplican, cada una, para una distancia  $d$  concreta diferente entre sí. Como parámetro sirve aquí, a su vez, la distancia. La totalidad de las, por ejemplo, doce curvas de ajuste, conforma un haz de curvas de ajuste representado en la figura 6. Cada una de las curvas de ajuste representa un valor de distancia determinado y muestra, para este valor de distancia, el desarrollo del espesor de la capa  $a$  en un área de los valores normalizados. En la conversión del valor de medición  $Me$  en un espesor de la capa  $a$ , naturalmente se selecciona, del haz de curvas de ajuste, aquella curva de ajuste cuyo valor de parámetro de distancia presenta la menor desviación respecto de la distancia  $a$  a ser determinada  $d$ . En el caso ideal la desviación menor es igual a cero.

25 Este procedimiento de medición puede ser aplicado si las características eléctricas y magnéticas de los componentes a medir son lo suficientemente constantes respecto de cada ejemplar. Se recomienda verificar esta constancia.

En las mediciones inductivas del espesor de la capa con corriente alterna, la posición de medición debe estar dispuesta de modo tal que no se origine una adulteración de la señal de medición a través de impedancias de acople inductivas o capacitivas, en caso de que se haga contacto con ella, o ella es modificada por un acople electromagnético (se debe prestar atención a la problemática de la conexión a tierra). Depende del tipo de construcción del equipo de medición y de la frecuencia de la portadora, si se configura una falla relevante de medición por contacto. En ese caso se aplica tendencialmente: cuanto mayor la frecuencia de la portadora, tanto mayor es el peligro de que se originen fallas por contacto. (Estas relaciones también se aplican para los procedimientos de medición descritos en la memoria DE 196 52 750 C2 y en otras memorias, que trabajan con el mismo principio básico físico).

Respecto de esto cabe mencionar aún la siguiente advertencia: No sólo el contacto directo de los dispositivos de medición y del sensor pueden conducir a fallas en la medición, sino también el contacto indirecto. Un ejemplo para el contacto indirecto: Los cables de alimentación del dispositivo de medición al sensor se encuentran sobre o cerca de una placa de metal. Si se toca esa placa de metal, esto puede conducir a fallas en la medición, aún en caso de que el punto de contacto se encuentre relativamente lejos de las posiciones de los cables. Si fuera necesario se debe evitar la generación de este tipo de fallas en la medición mediante métodos conocidos.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la determinación sin contacto del espesor de una capa (20) de material conductor eléctrico, dispuesto sobre un componente de construcción (17) de material ferromagnético, asimismo, mediante al menos una bobina exploradora (14) por la cual fluye una corriente alterna, y dispuesta sobre un cuerpo de bobina (13), cuyas modificaciones de inductividad son evaluadas, se llevan a cabo los siguientes pasos de medición:

- determinación del valor de inductividad  $L_{0,d,f1}$  de la bobina (14) en una medición, exclusivamente respecto de un componente de construcción (17) como objeto de medición de material ferromagnético, asimismo a la bobina (14) le es suministrada una primera frecuencia de corriente alterna  $f1$  y la distancia entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición es igual a  $d$ ,
- determinación del valor de inductividad  $L_{0,d,f2}$  de la bobina (14) en una medición, exclusivamente respecto de un componente de construcción (17) como objeto de medición de material ferromagnético, asimismo a la bobina (14) le es suministrada una segunda frecuencia de corriente alterna  $f2$  y la distancia entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición es igual a  $d$ ,
- conversión del valor de inductividad obtenido  $L_{0,d,f2}$  en un valor característico no dimensional  $K$ ;
- conversión del valor característico  $K$  mediante una curva característica de distancia al valor de la distancia  $d$ ;
- determinación del valor de inductividad  $L_{x,d,f1}$  de la bobina (14) en una medición respecto de la capa a ser determinada (20), asimismo a la bobina (14) le es suministrada una primera frecuencia de corriente alterna  $f1$  y la distancia entre el cuerpo de bobina (13) y el componente de construcción revestido (17) es igual a  $d$ ,
- conversión de los valores de inductividad obtenidos  $L_{0,d,f1}$  y  $L_{x,d,f1}$  en un valor de medición no dimensional  $M_e$ ;
- conversión del valor de medición  $M_e$  mediante un haz de curvas de ajuste, bajo consideración del valor obtenido de la distancia  $d$  en un valor de espesor de capa  $a$ .

2. Procedimiento acorde a la reivindicación 1, **caracterizado** porque el valor característico no dimensional  $K$  se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K = A \cdot \frac{L_{0,d,f2} - L_{0,max,f2}}{L_{0,min,f2} + L_{0,max,f2}} \quad [1]$$

en donde:

$L_{0,d,f2}$  = valor de inductividad de la segunda medición previa

$L_{0,min,f2}$  = valor de inductividad en caso de una distancia mínima entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición

$L_{0,max,f2}$  = valor de inductividad en caso de una distancia máxima entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición

$A$  = coeficiente constante.

3. Procedimiento acorde a la reivindicación 2, **caracterizado** porque el coeficiente  $A$  es igual a 100.

4. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque el valor de medición no dimensional  $M_e$  se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M_e = B \cdot \frac{L_{x,d,f1} - L_{0,d,f1}}{L_{\infty,AB,f1} - L_{0,AB,f1}} \quad [2]$$

en donde:

$L_{x,d,f1}$  = valor de inductividad de la medición posterior

$L_{0,d,f1}$  = valor de inductividad de la primera medición previa

## ES 2 297 737 T3

$L_{\infty,AB,f1}$  = valor de inductividad de la bobina (14) en una medición, exclusivamente respecto de un objeto de medición de material conductor eléctrico, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición es igual a  $AB$ .

5  $L_{0,AB,f1}$  = valor de inductividad de la bobina (14) en una medición, exclusivamente respecto de un objeto de medición de material ferromagnético, asimismo el valor de la distancia  $d$  entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición es igual a  $AB$ .

10  $B$  = coeficiente constante.

5. Procedimiento acorde a la reivindicación 4, **caracterizado** porque el coeficiente constante  $B$  es igual a 1000.

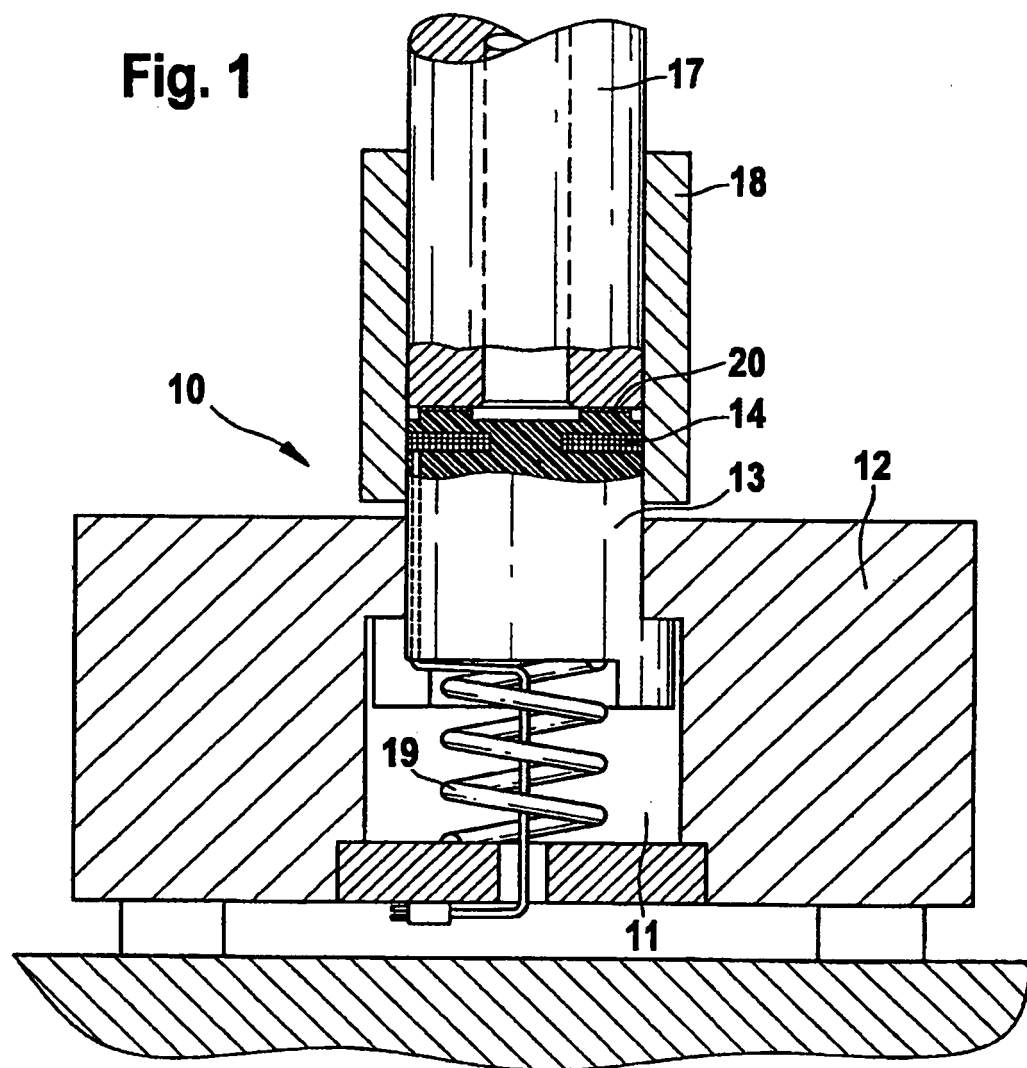
15 6. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque la primera frecuencia de corriente alterna  $f1$  es una frecuencia del campo de la alta frecuencia, por ejemplo, 4 MHz.

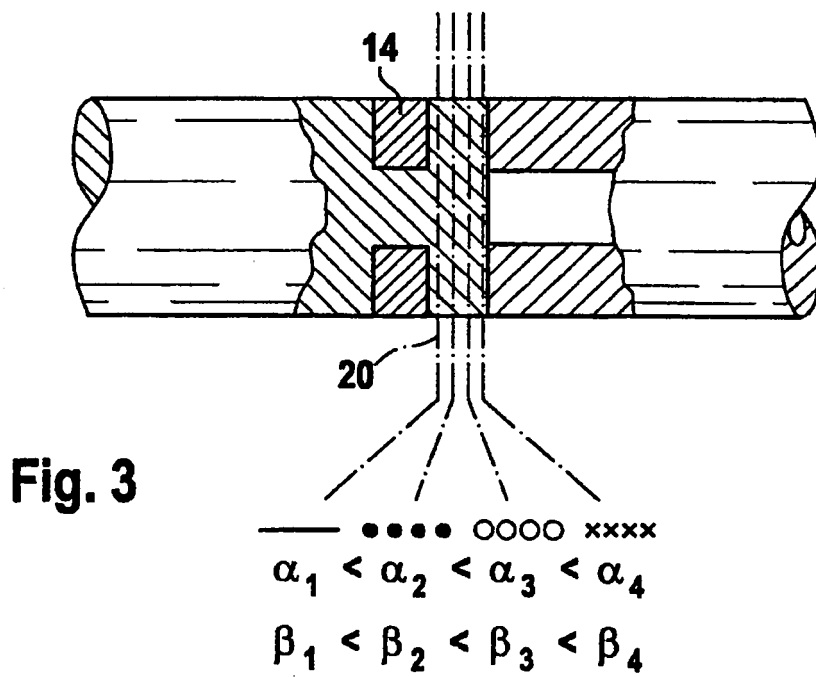
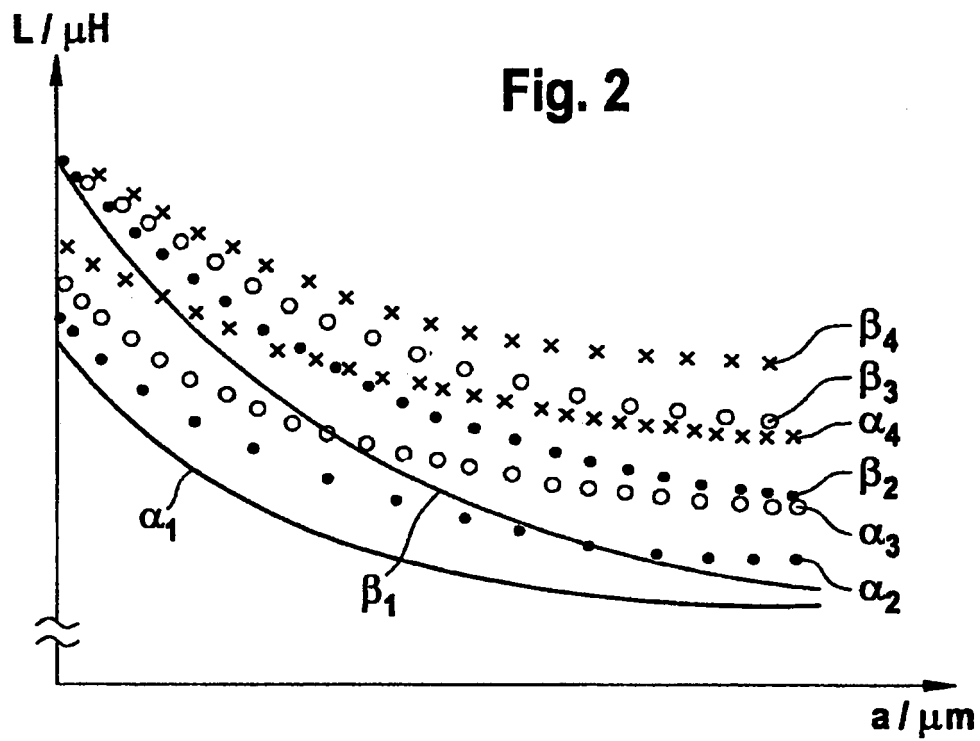
7. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado** porque la segunda frecuencia de corriente alterna  $f2$  es una frecuencia del campo de la baja frecuencia, por ejemplo, 5 KHz.

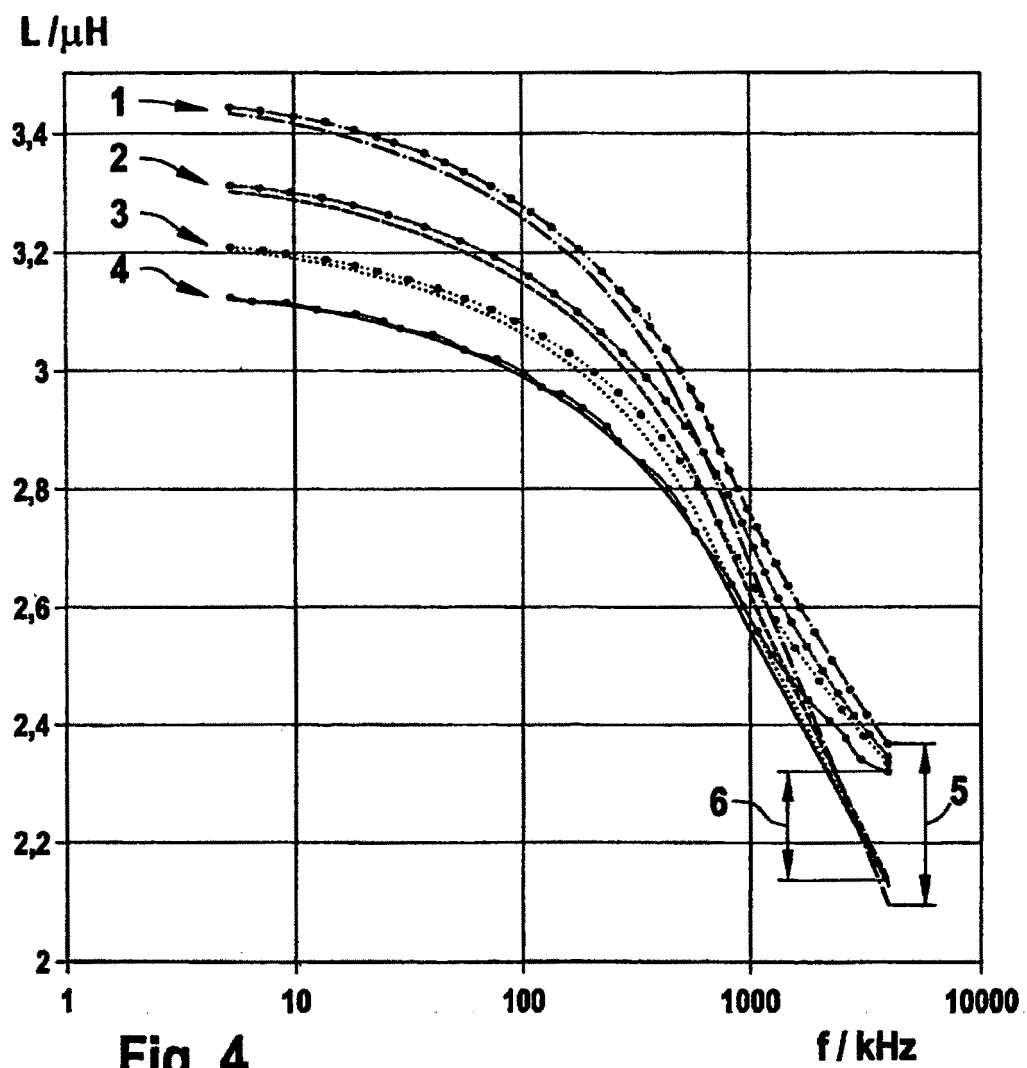
20 8. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado** porque como valor  $AB$  de la distancia  $d$  se selecciona la mitad del valor de la suma de la distancia mínima y máxima entre el cuerpo de bobina (13) y el objeto de medición.

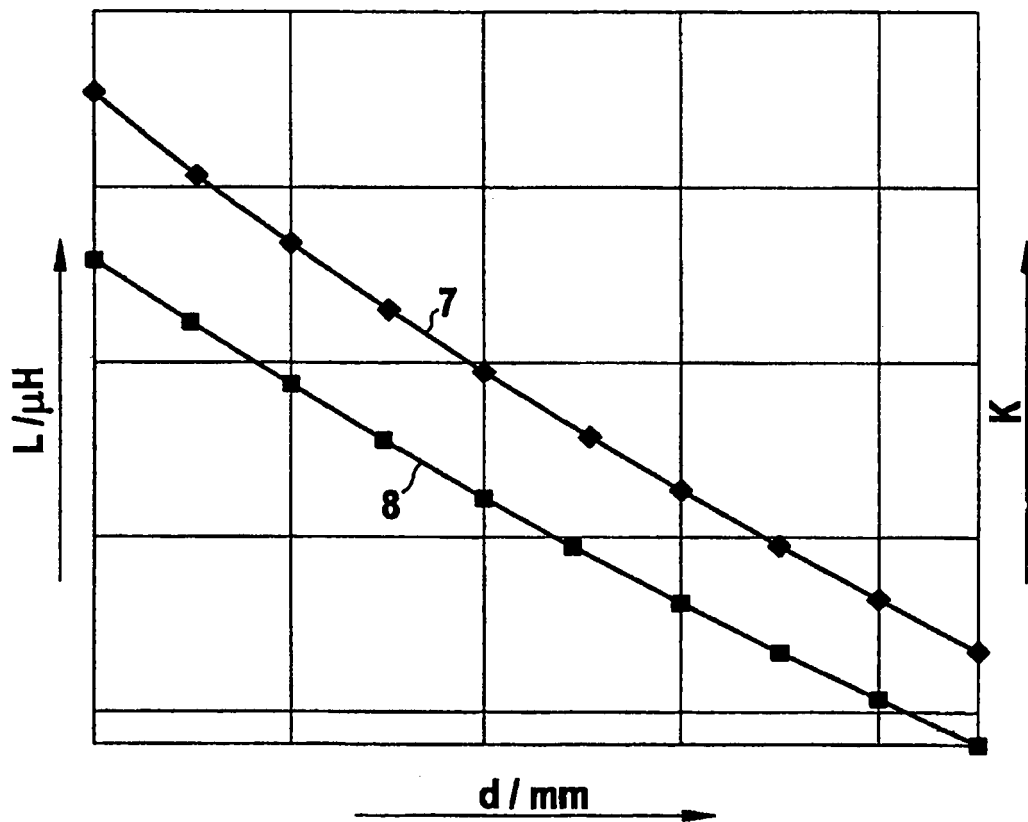
25 9. Procedimiento acorde a una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado** porque el haz de curvas de ajuste presenta múltiples curvas de ajuste, que se aplican respectivamente a una distancia concreta, diferentes entre sí.

30 10. Procedimiento acorde a la reivindicación 9, **caracterizado** porque para la conversión del valor de medición  $Me$  se selecciona, del haz de curvas de ajuste, aquella curva de ajuste en un valor de espesor  $a$ , cuyo valor de parámetro de distancia presenta la menor desviación respecto de la distancia a ser determinada  $d$ .

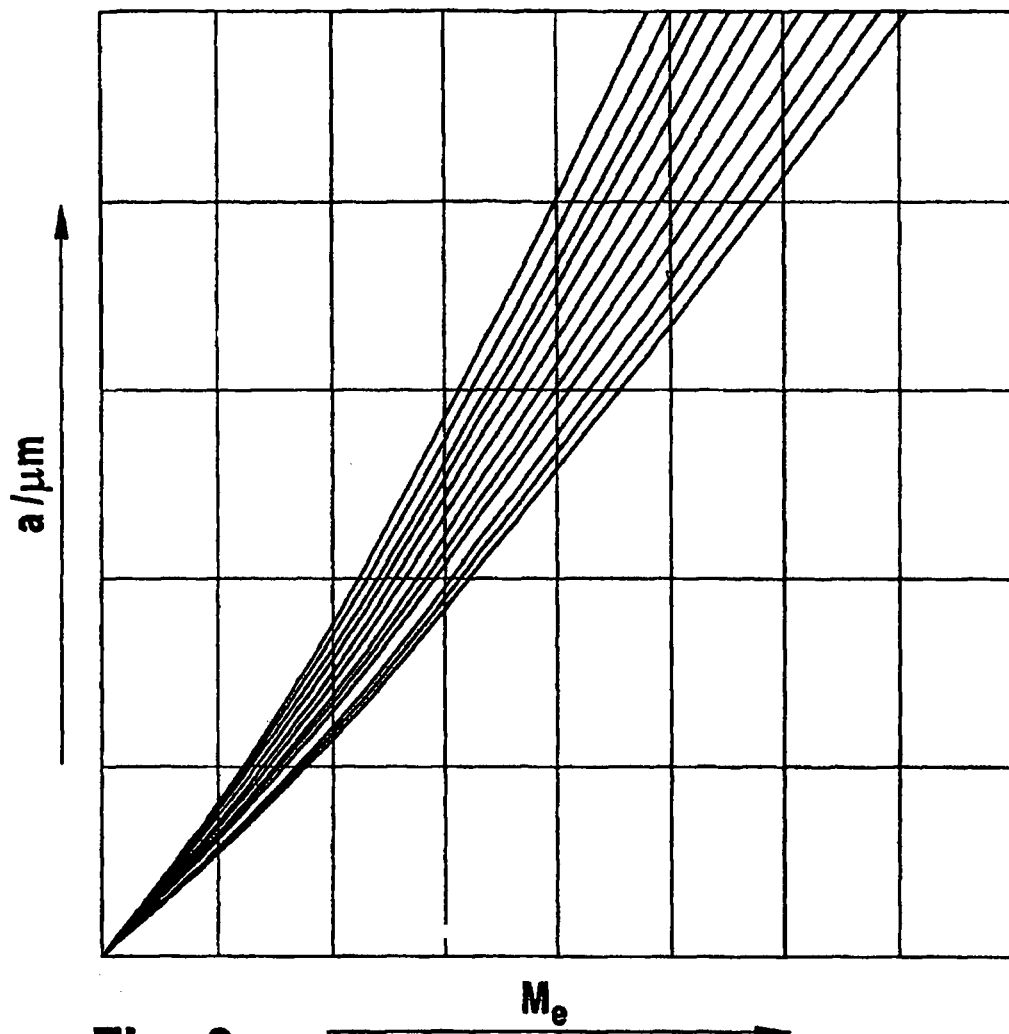








**Fig. 5**



**Fig. 6**