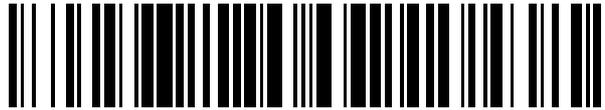


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 923**

51 Int. Cl.:

G01N 27/87 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2009 E 09732339 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.10.2012 EP 2269049**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la detección de defectos cercanos a la superficie mediante medición de flujo de dispersión**

30 Prioridad:

16.04.2008 DE 102008020194

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

01.03.2013

73 Titular/es:

**INSTITUT DR. FOERSTER GMBH & CO. KG
(100.0%)**

**In Laisen 70
72766 Reutlingen, DE**

72 Inventor/es:

BRAUN, HEINRICH

74 Agente/Representante:

TOMAS GIL, Tesifonte Enrique

ES 2 396 923 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

Procedimiento y dispositivo para la detección de defectos cercanos a la superficie mediante medición de flujo de dispersión

5

[0001] La invención se refiere a un procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie en una pieza de prueba consistente al menos parcialmente en material ferromagnético y a un dispositivo adecuado para la realización del procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie.

10

[0002] Procedimientos de flujo de dispersión magnéticos son un componente importante en el control de producto semielaborado en cuanto a defectos cercanos a la superficie para la supervisión de calidad en el procedimiento de fabricación de los productos. Los procedimientos de flujo de dispersión magnéticos son menos sensibles frente a algunas características molestas de producto semielaborado, como por ejemplo rugosidad de la superficie o capa descascarillada, menos de como por ejemplo el procedimiento de corriente de torbellino o el ensayo ultrasónico.

15

Así resulta una proporción mejor entre señal de uso y señal de interferencia (relación U/I), lo que permite una identificación de error más fiable.

20

[0003] Con un dispositivo para la detección de defectos cercanos a la superficie mediante medición de flujo de corriente es magnetizado un volumen de control de la pieza de prueba mediante un dispositivo de magnetización y con ayuda de al menos una sonda (sonda de flujo de dispersión) de control sensible al campo magnético para la captación de campos de dispersión magnéticos causados por los defectos.

25

[0004] El flujo magnético producido en la pieza de prueba por un dispositivo de magnetización se reparte esencialmente espacialmente de forma homogénea en el material sin defectos. Las grietas u otros defectos actúan como áreas de resistencia magnética aumentada, de modo que componentes de campo próximos a un defecto se desvían del defecto y se empujan hacia fuera también del metal en la zona cercana a la superficie. Los componentes de campo empujados hacia fuera se detectan en el procedimiento de flujo de dispersión para la acreditación de los defectos. Con una medición de flujo de dispersión es detectable un defecto cercano a la superficie (también llamado defecto de superficie) cuando los componentes de campo empujados de la pieza de prueba llegan hasta la zona de la sonda de control y tienen allí una intensidad de campo suficiente para la detección.

30

35

[0005] Los defectos de la superficie se pueden clasificar p.ej. según su posición en el material. Hay defectos cercanos a la superficie, que llegan hasta la superficie de la pieza de prueba, entonces por ejemplo grietas que van de la superficie al interior del material o rechupes abiertos hacia la superficie o similares. Estos se puede denominar o "defectos abiertos" o "defectos visibles". Hay sin embargo también defectos, que pueden estar escondidos bajo superficies que aparecen de forma más o menos continua, es decir por ejemplo grietas en la profundidad del material, como fisuras de tensión, o grietas, que en una fase de fabricación llegan por cierto hasta la superficie, en un proceso de laminación sucesivo no fueron cerradas sin embargo nuevamente a través de deformación cercana a la superficie. Estos errores se pueden designar "defectos escondidos", con designados en piezas de prueba de material macizo también "errores fundamentales" y en piezas de prueba tubulares se designan "defectos de pared".

40

45

[0006] Los procedimientos de control de flujo de dispersión o dispositivos de control son desglosados en procedimientos o dispositivos con magnetización de campo eléctrico constante (control de flujo de dispersión DC) y procedimientos o dispositivos con magnetización de campo alterno (control de flujo de dispersión AC).

50

[0007] Los procedimientos con magnetización de campo eléctrico constante se utilizan en el control de tubos, registrándose tanto errores externos, es decir errores en el lado externo del tubo, como también errores internos, es decir, errores en el lado interior tubular. Se usa aquí una ventaja esencial de la magnetización del campo eléctrico constante, es decir, la profundidad de penetración grande, de modo que también pueden registrarse errores internos. Por el contrario, en defectos que discurren de manera muy estrecha y/o oblicua se logran a menudo sólo resultados de control insatisfactorios.

55

[0008] Una ventaja esencial de procedimientos de flujo de dispersión con magnetización de campo alterno es la resolución muy alta para errores más pequeños en la superficie exterior, es decir para errores abiertos. Por lo tanto la magnetización de campo alterno se aplica generalmente entonces, cuando son probados sólo errores situados fuera, lo que es por ejemplo frecuentemente el caso de material macizo como tochos cilíndricos, tochos cuadrados o barra de acero. Es desventajoso, que a través de la poca profundidad de penetración del campo alterno frecuentemente no se reconozcan de forma satisfactoria o a menudo de ninguna manera los (errores escondidos).

60

[0009] El documento DE 10 2004 035 174 B4 describe un procedimiento y un dispositivo para el control antidestructivo de tubos de acero ferromagnéticos mediante flujo de dispersión, donde el tubo (la pieza de prueba) se magnetiza mediante campo eléctrico constante. Para permitir una mejor atribución de error entre superficie externa tubular y superficie interna tubular, se registra la amplitud que se modifica en la dirección vertical del componente del campo horizontal del flujo de dispersión magnético por una parte en una distancia cercana a la superficies de la superficie externa tubular y por otra parte en intervalo situado a gran distancia y las señales detectadas se ponen en relación entre sí mediante formación diferencial, detectándose también la amplitud del componente del campo vertical del flujo de

65

dispersión magnético adicionalmente y se pone en relación con la amplitud cercana a la superficies y/o a la amplitud del componente del campo horizontal situada a gran distancia de este.

5 [0010] El documento DE 10 2006 019 128 A1 describe un aparato de medida de flujo de dispersión para la detección de defectos cercanos a la superficie y distanciados de la superficie en piezas de prueba ferromagnéticas mediante medición de flujo de corriente, donde la pieza de prueba también se magnetiza por un campo magnético constante. A fin de lograr que los errores escondidos debajo de la superficie del material de la pieza de prueba se puedan detectar mejor mediante la observación directa del flujo de dispersión, sin que se reduzca la sensibilidad respecto a errores cercanos a la superficie, en el lado de la sonda de control está prevista una combinación de al menos una bobina o sonda situada de manera plana y al menos una bobina o sonda orientada de manera vertical.

15 [0011] El artículo especializado "magnetic Fields of surface flaws with combined magnetization of products" de A. 1. Pashagin, V. E. Shcherbinin y S. A. Donskoi en: Soviet Journal of Nondestructive Testing USA, vol. 19, Nr. 2, febrero 1983 (1983-02) pp. 144 hasta 150, describe un procedimiento y un dispositivo para la detección de defectos cercanos a la superficie en piezas de prueba magnetizables, donde se escanea un volumen de control de la pieza de prueba mediante un campo eléctrico magnético constante y simultáneamente se magnetiza mediante un campo magnético alterno traspasado al campo eléctrico constante y se registra un volumen de control de la pieza de prueba para el registro de campos de dispersión magnéticos causados por defectos. La pieza de prueba es llevada de manera fija a un imán, que produce el campo eléctrico constante. Otra disposición magnética produce un campo magnético alterno con frecuencias de campo alterno de la zona entre 0,5 kHz y 5 kHz. El electroimán para la producción del campo alterno se mueve junto al convertidor para el registro de campos de dispersión mueve sobre la superficie de la pieza de prueba fija.

Objetivo y solución

25 [0012] Es una tarea de la invención proporcionar un procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie mediante medición de flujo de corriente así como un dispositivo correspondiente, que permitan, detectar con alta sensibilidad tanto errores abiertos hacia la superficie, así como también errores escondidos.

30 [0013] Para la solución de esta tarea la invención proporciona un procedimiento con las características de la reivindicación 1 y un dispositivo con las características de la reivindicación 9. En las reivindicaciones dependientes son indicados perfeccionamientos ventajosos.

35 [0014] Con un procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie en una pieza de prueba consistente al menos parcialmente en material ferromagnético se magnetiza un volumen de control de la pieza de prueba mediante un dispositivo de magnetización y mediante al menos una sonda de control sensible al campo magnético para el registro de campos de dispersión causados por defectos. En este caso el volumen de control se magnetiza mediante un campo eléctrico magnético constante y simultáneamente mediante un campo magnético alterno solapado sobre el campo eléctrico constante.

40 [0015] El concepto "volumen de control" designa de esta manera un ámbito de volumen de la pieza de prueba, que se magnetiza con ayuda de los campos magnéticos (campo alterno y campo continuo) y en este caso está de tal manera simultáneamente en la zona de registro (como mínimo) de sonda de control sensible al campo magnético, que los campos de dispersión magnéticos, que se causan dentro de los defectos situados dentro del volumen de control, pueden ser registrados o detectados por la sonda de control.

45 [0016] Se utiliza por consiguiente una magnetización de campo alterno combinado (magnetización AC) y magnetización de campo eléctrico constante (magnetización DC). Se ha demostrado, que por medio de la magnetización combinada AC-DC se puede aumentar de manera considerable la profundidad de detección respecto a procedimientos de flujo de dispersión AC convencionales, sin influir de manera desventajosa en la precisión de detección y alta resolución para errores abiertos hacia la superficie. Con la elección del parámetro de magnetización apropiado procedimientos de flujo de dispersión AC pueden proveer por consiguiente resultados esencialmente mejorados, cuando la pieza de prueba por controlar es expuesta adicionalmente a un campo magnético igual de tamaño apropiado. La sensibilidad de detección mejorada sobre todo para defectos situados en zona más profunda se atribuye a que por medio del campo eléctrico constante además del campo magnético alterno, se desplaza el punto de trabajo del control magnético a la curva de histéresis específica de material a una zona más favorable. La fuerza del campo eléctrico magnético constante se dosifica en este caso ventajosamente de tal manera que el mecanismo de flujo de dispersión para el campo alterno, es decir, el mecanismo de acción del control del campo alterno, se mantiene en comparación con procedimientos AC convencionales.

60 [0017] En el estado de la técnica inicialmente mencionado se intenta mejorar características de detección del procedimiento de flujo de dispersión a través de construcciones costosas de las sondas de flujo de dispersión. Los límites se alcanzan cuando el campo de dispersión por registrar es demasiado débil. Al contrario, la invención sigue aquí otro camino, puesto que aquí se influye directamente en el origen del tamaño de medición, es decir, el campo de dispersión por detectar. Resultados de medición mejorados se pueden lograr por lo tanto independientemente del tipo de sondas.

[0018] El procedimiento y el dispositivo para la captación son de por el causado defectuoso campos de dispersión magnéticos dimensionado, entonces como procedimiento de control de flujo de dispersión o dispositivo de prueba de flujo de dispersión. Sondas correspondientes de control de flujo de dispersión se pueden dimensionar conforme a ello como sondas de flujo de dispersión (pasivas), que al contrario de las sondas de corriente torbellino alimentadas de forma activa, no son estimuladas y conforme a ello no producen por si mismas ningún campo magnético. Una sonda de flujo de dispersión sensible al campo magnético registra esencialmente solo las heterogeneidades del flujo magnético. La evaluación de las señales de sondas se rige por consiguiente conforme a la evaluación de señales de flujo de dispersión, de modo que no son evaluadas o no tienen que ser evaluadas p.ej. modificaciones de impedancia y/o modificaciones de la resistencia magnética. La producción del campo de magnetización se garantiza por medio de un dispositivo de magnetización desacoplado, separado de la sonda de control.

[0019] Para el control se produce un movimiento relativo entre la pieza de prueba y el campo eléctrico constante que actúa sobre la pieza de prueba y el campo alterno solapado sobre el campo eléctrico constante, con lo cual el movimiento relativo tiene un componente de velocidad relativo, que está orientado esencialmente en dirección de las líneas de campo magnéticas del campo eléctrico constante dentro de la pieza de prueba. En el caso de que el campo eléctrico constante magnético se introduzca en la pieza de prueba de manera que sus líneas de campo discurren dentro de la pieza de prueba aproximadamente en dirección perimetral y/o esencialmente vertical a un eje longitudinal de la pieza de prueba, se puede lograr el movimiento relativo con una rotación relativa entre la pieza de prueba y una unidad de magnetización del campo eléctrico constante. A través del movimiento relativo, particularmente con una rotación relativa de la pieza de prueba y del campo eléctrico constante por magnetizar, se puede lograr que se modifique periódicamente la fuerza del campo eléctrico magnético constante desde el "punto de vista" del volumen de control p.ej. periódicamente (sin cambiar en todo caso su polaridad). Por medio del campo eléctrico constante que se modifica con el tiempo se pueden producir en el material de control con conexión eléctrica corrientes torbellino, que impiden una entrada del campo eléctrico constante en la profundidad de la pieza de prueba y así procuran que se concentre el campo magnético constante (es decir, la inducción así producida en el material de la pieza de prueba) en la zona cercana a la superficie de la pieza de prueba, donde también es eficaz el campo magnético alterno, que por principio no tiene una profundidad de penetración demasiado grande en el material. La concentración del flujo de inducción procedente del campo eléctrico constante en la cercanía de la superficie de la pieza de prueba puede reducir la permeabilidad del material de la pieza de prueba de tal manera que esencialmente sólo el valor guía del material de la pieza de prueba pero no su permeabilidad, inhiba una penetración del campo alterno en el interior de la pieza de prueba. A causa de ello se puede agrandar la profundidad de penetración del campo alterno o del flujo de inducción procedente de allí respecto a un control sin magnetización simultánea del campo constante. Por medio de dicha superposición de campo magnético constante y campo magnético alterno cerca de la superficie de la pieza de prueba en la zona de detección de la sonda de control puede mejorarse la sensibilidad de detección para defectos cercanos a la superficie, particularmente para defectos cercanos a la superficie escondidos frente a defectos convencionales.

[0020] El valor mínimo de la velocidad relativa para el logro de una concentración ventajosa de la inducción magnética (o la densidad de flujo magnética) en cercanía inmediata a la superficie del material de pieza de prueba depende entre otras cosas de la permeabilidad del material de la pieza de prueba, de la geometría de la pieza de prueba y de la geometría de la disposición de control (p.ej. superficies de polo y distancia de polo de los polos de la unidad de magnetización del campo constante). El componente medido en dirección de las líneas de campo eléctrico de la velocidad relativa es de al menos 0,3 m/s. Valores especialmente favorables pueden estar por ejemplo en la zona de 1 m/s hasta 5 m/s, p.ej. alrededor de 3 m/s.

[0021] Una rotación relativa de la pieza de prueba y del campo magnético constante se puede lograr por ejemplo fijando los medios de magnetización del campo eléctrico constante a un cabezal de rotación de tal manera que se muevan alrededor de la pieza de prueba, donde la pieza de prueba no debe girar alrededor de su eje. También es posible que la pieza de prueba gire alrededor de su eje y los medios de magnetización del campo eléctrico constante se fijen de manera estática. También es posible una combinación de ambos movimientos. Con movimiento longitudinal simultáneo de la pieza de prueba por un cabezal de rotación es posible una detección helicoidal de la superficie de la pieza de prueba, que se puede utilizar con adaptación apropiada de la velocidad de circulación de la pieza de prueba y velocidad de rotación de un cabezal de rotación para un control sin lagunas.

[0022] La frecuencia del campo magnético alterno se puede optimizar particularmente en vista de la sensibilidad deseada para defectos cercanos a la superficie y del rendimiento de control deseado o la velocidad de exploración deseada. En la invención solicitada se produce un campo magnético alterno con una frecuencia de campo alterno de al menos 1 kHz. La frecuencia de campo alterno puede estar preferiblemente entre 3 kHz y 12 kHz, por ejemplo en la zona de aprox. 6 kHz hasta 8 kHz. Particularmente en la zona de entre 3 kHz y 12 kHz se pueden lograr respuestas de sensibilidades altas de superficie en caso de simultáneamente velocidades de exploración suficientemente grandes y conforme a ello rendimientos de control grandes en caso de control sin lagunas.

[0023] Se ha demostrado, que para funciones de control numerosas puede ser favorable que la intensidad del campo magnético H_{DC} del campo eléctrico constante en el volumen de control sea al menos la mitad de grande, particularmente al menos igual de grande que la intensidad del campo magnético H_{AC} del campo alterno. Generalmente no debe superarse 20 veces la intensidad del campo alterno H_{AC} . En algunos procedimientos puede ser ventajoso que se use una proporción de intensidad de campo H_{oc}/H_{AC} entre la intensidad del campo magnético del campo eléctrico

constante y la intensidad del campo magnética del campo alterno entre 1 y 20, particularmente entre 1 y 5. Factores influyentes decisivos para el ajuste de una proporción de intensidad del campo idóneo son entre otros la inducción de saturación del material de la pieza de prueba y la profundidad del error. Por ajuste de una proporción favorable de intensidad del campo H_{DC} / H_{AC} se puede aumentar la profundidad de detección del procedimiento de combinación, sin perjudicar esencialmente la resolución para errores externos.

[0024] En el caso de que se utilicen sistemas de bobinas eléctricamente idénticos o similares para la producción del campo alterno y del campo eléctrico constante, así se puede ajustar o definir la proporción de intensidad del campo H_{DC} / H_{AC} por medio de una proporción de corriente de excitación correspondiente I_{DC} / I_{AC} entre la intensidad de corriente I_{DC} de la corriente continua y la intensidad de corriente I_{AC} de la corriente alterna, de modo que así también puede ser válida la condición $0.5 \leq I_{DC} / I_{AC} \leq 20$, particularmente $1 \leq I_{DC} / I_{AC} \leq 5$. Las corrientes de excitación para campo continuo y campo alterno están generalmente en el área de uno o varios amperios, para garantizar una magnetización suficiente del volumen de control.

[0025] En algunas formas de realización la intensidad del campo magnética H_{DC} del campo eléctrico constante es de aprox. 10% y 95% de la intensidad de campo de saturación del material de la pieza de prueba en el volumen de control, preferiblemente entre aprox. 70% y aprox. 85% de la intensidad del campo de saturación. Por ello se pueden lograr en muchos casos resultados mejores que con saturación completa del material en el volumen de control.

[0026] Además, se ha demostrado como favorable que una suma de intensidades del campo $\Sigma H = H_{AC} + H_{DC}$ de la intensidad del campo magnética H_{DC} del campo eléctrico constante y de la intensidad de campo magnético H_{AC} del campo alterno en la zona intermedia está entre 10% y 100%, particularmente en la zona entre aprox. 70% y aprox. 85% de la intensidad del campo de saturación del material de la pieza de prueba. Esto presupone que por medio de la presuración combinada con campo magnético constante y campo magnético alterno en el material de la pieza de prueba surge una zona de saturación en el material de la pieza de prueba, que partiendo de la superficie profundiza más en el material que en el caso de magnetización pura de campo alterno. La calidad del material y la conformación de la superficie externa (p.ej. áspera y/o oxidada o lúcida) juegan un papel importante en el ajuste de intensidades de campo apropiadas o condiciones de la intensidad del campo.

[0027] En formas de realización preferidas el campo eléctrico continuo y el campo alterno son acoplados de tal manera en el volumen de control, que el flujo de inducción producido por el campo eléctrico continuo y el flujo de inducción producido por el campo alterno tienen esencialmente la misma alineación, es decir, pueden estar caracterizados esencialmente por líneas de campo orientadas igualmente. Esta superposición "en el mismo sentido" de campo magnético alterno (polaridad de cambio rápido en el tiempo) y campo magnético continuo (polaridad invariable, en su caso cambio temporal de la intensidad de campo eficaz en el volumen de control o la fuerza del flujo de inducción eficaz en el volumen de control y procedente del campo eléctrico constante) en el volumen de control ha resultado ser especialmente eficaz en vista de la mejora de la sensibilidad de detección.

[0028] Cuando el flujo de inducción inducido por el campo eléctrico constante está orientado transversalmente, particularmente de forma esencial verticalmente respecto al flujo de inducción inducido por el campo alterno, se puede lograr en primer lugar una mejora de la relación señal/sonido. Independientemente de los alineamientos relativos de campo constante y campo alterno puede ser lograda por el campo constante eficaz además del campo alterno una homogeneización del volumen de control en vista de las heterogeneidades de permeabilidad y del efecto de deformaciones locales en frío. De esta manera pueden resultar según la composición de obra y tipo del procedimiento de fabricación una reducción del motivo de interferencia o una mejora de la relación señal/sonido y una sensibilidad de detección aumentada relacionada con esto.

[0029] La misma alineación de campo magnético constante y campo magnético alterno puede ser lograda de forma constructiva por ejemplo usando para la producción del campo eléctrico constante y para la producción del campo alterno el mismo sistema de bobinas (dispositivo de bobinas AC/DC) del dispositivo de magnetización. Sin embargo es también posible, usar para la producción del campo alterno un dispositivo de bobina de campo alterno (dispositivo de bobina AC) y para la producción del campo eléctrico constante un dispositivo de bobina de campo eléctrico constante separado del dispositivo de bobina de campo alterno (dispositivo de bobina DC). Estos pueden ser dispuestos para la producción de alineaciones diferentes o la misma alineación de los flujos de inducción correspondientes.

[0030] Un dispositivo adecuado para la realización del procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie en una pieza de prueba consistente al menos parcialmente en material ferromagnético tiene un dispositivo de magnetización para la magnetización de un volumen de control de la pieza de prueba y al menos una sonda de control sensible al campo magnético para el registro de campos de dispersión magnéticos causados por defectos.

[0031] El dispositivo de magnetización comprende una unidad de magnetización de campo constante para la producción de un campo eléctrico magnético constante y simultáneamente una unidad de magnetización de campo constante activable con la unidad de magnetización de campo alterno para la producción de un campo magnético alterno solapado sobre el campo constante.

[0032] Un dispositivo de evaluación asignado, que elabora las señales de al menos una sonda de control sensible al

campo magnético, está dispuesto por medio de hardware y/o software adecuados, que evalúan las heterogeneidades registradas del flujo magnético y las trabajan en señales de error. Otras modificaciones de características en el área de la sonda de control, p.ej. modificaciones de la resistencia y/o modificaciones de impedancia, no son evaluadas con una evaluación pura del flujo de dispersión.

5

[0033] En algunas formas de realización el dispositivo de magnetización tiene al menos un sistema de bobinas AC-DC, que está conectado o es conectable eléctricamente de forma simultánea a una fuente de tensión alterna y a una fuente de corriente continua. Con ayuda del dispositivo de bobina AC/DC es posible lograr que en el volumen de control las líneas de campo del campo alterno discurren esencialmente en paralelo a las líneas de campo del campo eléctrico constante.

10

[0034] En algunas formas de realización el dispositivo de magnetización tiene al menos un dispositivo de bobina de campo alterno (dispositivo de bobina AC) y al menos un dispositivo de bobina de campo continuo (dispositivo de bobina DC) separado del dispositivo de bobina AC y conectable a una fuente de tensión continua. A causa de ello es posible cuando sea necesario, acoplar los campos solapados entre sí en el volumen de control en tal manera que las líneas de campo producidas por el campo alterno discurren transversalmente, por ejemplo esencialmente de forma vertical a las líneas de campo producidas por el campo eléctrico continuo. También es posible con sistemas de bobinas separados una alineación paralela de las líneas de campo del campo constante y campo alterno.

15

20

[0035] En algunas formas de realización el dispositivo de magnetización comprende al menos un yugo de magnetización con un núcleo de yugo, sobre el que es envuelto un dispositivo de bobina AC y un dispositivo de bobina DC. Se puede tratar en este caso para sistemas de bobinas espacialmente separados, que se conectan a fuentes de tensión desacopladas eléctricamente. Sin embargo también es posible, que se enrolle al menos sistema de bobinas AC-DC combinado el yugo de magnetización. En todo caso cuida el núcleo de yugo común de que el campo alterno y el campo constante solapado tengan esencialmente en el volumen de control la misma alineación.

25

[0036] Hay variantes numerosas variantes de la realización de un dispositivo para el control del flujo de dispersión AC/DC combinado. La unidad de magnetización de campo constante puede mostrar por ejemplo una fuente de tensión continua conectada de forma directa a una correspondiente disposición de bobinas DC. En algunas formas de realización la unidad de magnetización del campo eléctrico continuo tiene una fuente de tensión alterna y un rectificador conectado a una fuente de tensión alterna, en cuyas salidas se puede ajustar la tensión continua necesaria para el accionamiento de la disposición de bobinas DC. Con esta variante es posible, que se disponga un transmisor inductivo que funcione sin contacto (p.ej. transmisor de rotación) entre la fuente de tensión alterna y el rectificador. De tal modo es posible fijar de una manera sencilla la fuente de tensión para accionar la magnetización del campo eléctrico constante en una parte fija de un dispositivo de la pieza prueba y la disposición de bobinas DC a una parte móvil de la disposición de control, por ejemplo en un cabezal de rotación.

30

35

[0037] Con aparatos sencillos se puede trabajar con un ajuste fijo de la relación entre las intensidades de campo del campo magnético alterno y del campo magnético constante. En algunas formas de realización es previsto sin embargo, que la fuente de tensión alterna y la fuente de tensión continua sean ajustables de manera independiente. A causa de ello es posible una adaptación especialmente precisa de las intensidades de campo de campo alterno y campo continuo y también de la correspondiente intensidad del campo a la geometría de la pieza de prueba, con lo que se puede optimizar de manera individual la sensibilidad de detección para cada procedimiento de control.

40

[0038] Para el registro del flujo de dispersión en la magnetización AC/DC combinada se pueden usar todos los tipos conocidos de sondas de control de flujo de dispersión, particularmente sondas de control inductivas, sondas de sonido o GMR (magneto resistencia gigante) o combinaciones de estos, por ejemplo también sistemas de sondas de las construcciones citadas en la introducción.

45

[0039] Estas y otras características se deducen además de las reivindicaciones también de la descripción y los dibujos, donde las características individuales respectivamente por sí solas o varias en forma de combinaciones alternativas se pueden realizar en una forma de realización de la invención y aplicarse en otras áreas y pueden representar realizaciones ventajosas y patentables por sí mismas. Ejemplos de realización de la invención se representan en los dibujos y se detallan como sigue.

50

Descripción breve de las figuras

[0040]

55

Fig 1 muestra una vista esquemática de un sistema de cabezal giratorio para el control de flujo de dispersión de redondos continuos

Fig. 2 muestra esquemáticamente un sistema de medición de flujo de dispersión estático con magnetización AC/DC combinada para el control de piezas de prueba giratorias;

60

Fig. 3 muestra esquemáticamente una representación lateral de un sistema de control giratorio con magnetización de campo alterno que gira alrededor de la pieza de prueba y magnetización estática de campo eléctrico constante;

65

Fig. 4 muestra esquemáticamente una circuitería para una magnetización AC/DC combinada con dos yugos de magnetización idénticos, que soportan respectivamente un dispositivo de bobina AC/DC combinado;

Fig. 5 muestra la geometría de una pieza de prueba de ensayo con cuatro errores diferentes abiertos a la superficie y un error escondido;

5 Fig. 6 y 7 muestran representaciones de las amplitudes de error producidas por los errores en el plano de impedancia; y

Fig. 8 y 9 muestran representaciones referidas al perímetro de las amplitudes de error.

Descripción detallada de formas de realización preferidas

10

[0041] Fig. 1 muestra esquemáticamente una vista axial de componentes esenciales de un dispositivo 100 para la detección de defectos cercanos a la superficie en pieza de control ferromagnética mediante medición de flujo de corriente. El denominado en lo sucesivo dispositivo de prueba de flujo de dispersión o de forma abreviada dispositivo de prueba 100 puede utilizarse entre otras cosas para el control cercano a la producción sin destrucción de productos semielaborados extendidos longitudinalmente con sección circular, como p.ej. barra de acero o tochos cilíndricos o también para el control de tubos.

15

20

[0042] El dispositivo de la prueba 100 tiene un cabezal de rotación girable alrededor de un eje de cabezal de rotación 112 al que se pueden fijar en el caso del ejemplo dos sondas de control de flujo de dispersión 110A 110B dispuestas en medios de sujeción de sondas móviles de tal forma que al girar el cabezal de rotación alrededor de su eje 112 giran en órbitas circulares para girar la pieza de prueba 150 esencialmente paralela al eje de cabezal de rotación 112 a través del cabezal de rotación. El cabezal de rotación se puede girar según la realización de aparatos con números de revoluciones entre por ejemplo aprox. 100 min^{-1} y 3000 min^{-1} . La pieza de control es transportada normalmente simultáneamente con velocidades de hasta el 3m/s a través del cabezal de control. Con el movimiento de rotación las sondas de control 110A 110B lijan la superficie esencialmente cilíndrica 151 de la pieza de prueba y las detectan sin discontinuidad en este caso sobre vías helicoidales.

25

30

[0043] El dispositivo de control tiene un dispositivo de magnetización para la magnetización de volúmenes de control cercanos a la superficie de la pieza de prueba 150. Al dispositivo de magnetización pertenecen dos yugos de magnetización 110A 110B esencialmente en forma de U, diametralmente opuestos fijados al cabezal de rotación, cuyos extremos libres sirven como pieza polar y están orientados a poca distancia radial respecto a la superficie de la pieza de prueba esencialmente de forma radial respecto a la superficie de la pieza de prueba y dispuestos en ambos lados aproximadamente simétricamente de la sonda de control respectivamente asociada 110A 110B. Sobre cada de los yugos 120A 120B están enrollados dos sistemas de bobinas separados, es decir un dispositivo de bobina de campo eléctrico constante 135A 135B conectado a una fuente de tensión continua 130A 130B y un dispositivo de bobina de campo alterno 145A 145B conectado a una fuente de tensión alterna 140A 140B.

35

40

[0044] La fuente de tensión alterna está en la posición de producir tensiones alternas en el ámbito de aprox. 3 kHz hasta aprox. 12 kHz con potencias de corriente de hasta varios amperios, p.ej. hasta 20 amperios o más, siendo la frecuencia deseada y la intensidad de corriente deseada ajustables de forma continua dentro de estos ámbitos.

45

50

[0045] En el caso de que durante el servicio del dispositivo de control se envíe una corriente con un dispositivo de bobina de magnetización, así surge en el sistema de bobinas una tensión magnética, que es igual al producto de la corriente y el número de espiras del sistema de bobinas. Esta tensión magnética empuja un flujo de inducción por el yugo y sobre el espacio de aire formado entre las piezas polares y la superficie de la pieza de prueba también en áreas de volumen cercanas a la superficie de la pieza de prueba. De los círculos magnéticos cerrados en la zona del yugo de magnetización se muestran en la Fig. 1 esquemáticamente las líneas de campo magnético que van de las piezas polares a la superficie cercana a la pieza de prueba así como por el delineamiento las áreas de volumen magnetizadas cercanas a la superficies de la pieza de prueba.

55

60

[0046] En el material sin defectos se esparce el flujo magnético producido en el volumen de control esencialmente espacialmente de forma homogénea, como se muestra en la zona sin defectos cerca de la sonda de flujo inferior 110B. Aquí apenas sale flujo de dispersión de la pieza de prueba hacia fuera. Por el contrario las grietas u otros defectos en el material actúan como áreas de resistencia magnética aumentada, de modo que componentes de campo próximos a un defecto pueden evitar el defecto y en la zona cercana a la superficie también pueden ser empujados hacia la parte de fuera del material. Fig. 1 muestra a título de ejemplo que la pieza de prueba 150 muestra en la zona de la sonda superior 110A del flujo de dispersión un error externo 152 en forma de una grieta 152 que llega hasta la superficie suficiente. En el área de la grieta se empujan hacia fuera del material componentes de campo magnéticos como flujo de dispersión 155 y pueden ser detectados con la sonda de control 110A pasiva movida en relación a la superficie 151, y se transforman en señales eléctricos. Puesto que el principio de medición es conocido en sí mismo, se renuncia aquí a más aclaraciones.

65

[0047] Una particularidad del dispositivo de control 100 consiste en que el dispositivo de magnetización comprende una unidad de magnetización de campo constante para la producción de un campo eléctrico magnético constante en el volumen de control y además una unidad de magnetización de campo alterno simultáneamente activable para la producción de un campo alterno solapado sobre el campo continuo en el volumen de control. A la unidad de

magnetización de campo constante pertenecen las fuentes de tensión constantes 130A 130B y dispositivos de bobina de campos eléctricos constantes 135A 135B conectados a esta, mientras que la unidad de magnetización del campo alterno comprende las fuentes de tensión alterna 140A 140B con los dispositivos de bobina de campo alterno 145A 145B conectados. Puesto que se enrollan un dispositivo de bobina de campo eléctrico constante y un dispositivo de bobina de campo alterno respectivamente sobre un núcleo de yugo común, las líneas de flujo de inducción pertenecientes al campo alterno y las líneas de flujo de inducción pertenecientes al campo constante tienen esencialmente la misma alineación, es decir discurren esencialmente en paralelo recíprocamente por el yugo y la pieza de prueba. El flujo magnético se acopla esencialmente vertical respecto a la superficie de la pieza de prueba o esencialmente vertical respecto la dirección longitudinal de la pieza de prueba. Las líneas de flujo de inducción discurren en este caso particularmente también en paralelo recíprocamente por el volumen de control situado respectivamente en la zona de registro de la sonda de control. En la pieza de prueba se extiende el flujo de inducción en gran parte en dirección perimetral, por lo cual esta disposición adecúa especialmente bien para el registro de errores longitudinales, es decir, tales defectos, que discurren en paralelo o en ángulos relativamente pequeños en la dirección axial de la pieza de prueba.

[0048] Durante el control el dispositivo de control 100 es accionado al menos temporalmente de manera que tanto las fuentes de tensión continua como también las fuentes de tensión alterna son activadas y conectadas a los sistemas de bobinas respectivos, de modo que se magnetiza el volumen de control simultáneamente mediante un campo magnético constante y mediante un campo magnético alterno solapado sobre el campo constante.

[0049] El campo magnético alterno, que puede tener p.ej. una frecuencia de campo alterno de aprox. 6 kHz hasta 8 kHz, a causa del efecto pelicular sólo penetra a una profundidad de penetración relativamente pequeña en el material de control con conexión eléctrica. También para el campo magnético constante resulta una concentración de las líneas de flujo magnéticas en la zona cercana a la superficie de la pieza de prueba, como se indica en Fig. 1 esquemáticamente a través de las áreas sombreadas cercanas a la superficie. Este empuje hacia fuera del campo magnético constante (o del flujo de inducción correspondiente; del material de control resulta de que los medios de magnetización del campo eléctrico constante giran con componente de velocidad relativo alto en dirección perimetral alrededor de la pieza de prueba, de modo que las áreas de volumen cercanas a la superficie de la pieza de prueba también están sometidas a intensidades de campo magnético cambiantes de forma continua también en vista del campo magnético constante, que sin embargo al contrario que el campo magnético alterno, no cambian la polaridad. La velocidad de cambio de la magnetización del campo constante está determinada en primer lugar por el número de revoluciones de la rotación. Por medio del campo continuo que está cambiando constantemente en su intensidad son inducidas en la pieza de prueba corrientes torbellino, que contrarrestan una penetración del campo eléctrico constante en mayores profundidades que el material de la pieza de prueba. Esto da como resultado por consiguiente una concentración de campo eléctrico constante (concentración del flujo de inducción magnético del campo eléctrico constante) en la proximidad de la superficie en aquella zona, que está en la zona de detección de la sonda de control y que está influida también por el campo alterno de frecuencia más alta y por consiguiente está solapada en esta zona cercana a la superficie con el campo alterno.

[0050] En muchos ha resultado ventajoso que el volumen de control no sea magnetizado completamente hasta su límite de saturación específico de material, sino sólo hasta el punto de que la densidad de flujo de inducción dentro del volumen de control permanezca por debajo del límite de saturación. De esto resultan en los campos de los defectos 152 diferencias relativamente grandes de la permeabilidad relativa μ_r entre las zonas del defecto 152 y el material circundante, de modo que resulta un desplazamiento de campo relativamente fuerte y con ello una buena detectabilidad del defecto o los defectos. Frecuentemente pueden ser logrados resultados buenos, cuando la intensidad de campo magnético H_{DC} del campo eléctrico constante se ajusta de tal manera que se encuentra entre aprox. 70% y aprox. 90% de la intensidad de campo de saturación del material de la pieza de prueba. Con esta dosificación del campo eléctrico constante se mantiene aún en gran parte el mecanismo del campo de dispersión para el campo alterno. La proporción óptima entre la intensidad de campo del campo eléctrico constante y la intensidad de campo del campo alterno puede variar de pieza de control a pieza de control o de material a material y se constata generalmente en flujos de control idóneos. Para posibilitar un ajuste variable en el dispositivo de control, son ajustables de manera independiente entre sí la(s) fuente(s) de tensión continua(s) y la(s) fuente(s) de tensión alterna.

[0051] Fig. 2 muestra una vista esquemática de un dispositivo de prueba de flujo de dispersión estático 200 para el control de piezas de prueba giratorias, siendo la pieza de prueba 250 un tubo constituido de metal ferromagnético, que gira alrededor de su eje tubular. También son posibles piezas de prueba de material macizo. El dispositivo de magnetización para la magnetización de la pieza de prueba comprende un yugo de magnetización esencialmente en forma de U 220 aplicado de forma fija, cuyos extremos girados hacia la pieza de prueba están formados de forma cóncavo cilíndrica formada según la superficie externa cilíndrica de la pieza de prueba, de modo que entre las piezas polares formadas por los extremos y la superficie de la pieza de prueba se encuentra un espacio de aire estrecho con el espesor esencialmente uniforme. Para la producción electromagnética del campo de magnetización está previsto un dispositivo de bobina AC/DC combinado único 235, que comprende dos paquetes de espiral 235A 235B, conectados en serie, que están enrollados respectivamente en la proximidad de la pieza polar sobre el yugo de magnetización 220. El sistema de bobinas 235 está conectado a una fuente de corriente continua y fuente de tensión alterna 230, que está orientada para excitar el sistema de bobinas con una corriente continua I_{DC} y una corriente alterna solapada sobre la corriente continua I_{AC} .

[0052] Entre las piezas polares del yugo de magnetización se fija una sonda de control 210 alojada de forma móvil en dirección radial de la pieza de prueba y apretada mediante fuerza elástica a la superficie de la pieza de prueba, donde se puede tratar particularmente de una sonda de sonido, una sonda inductiva o una sonda GMR. Las líneas de flujo de inducción magnéticas representadas esquemáticamente discurren en la zona cercana a la superficie de la pieza de prueba esencialmente en paralelo a la superficie, de modo que las grietas dispuestas de forma radial u oblicua a la dirección radial en el volumen de control actúan como resistencias magnéticas, que causan un flujo de dispersión detectable por la sonda de control 210. También con este ejemplo de realización las líneas de flujo de inducción producidas por el campo continuo y las líneas de flujo de inducción producidas por el campo alterno simultáneamente eficaz discurren en la misma dirección, puesto que son producidas a través de uno y el mismo sistema de bobinas y el mismo yugo de magnetización.

[0053] En Fig. 2 se indica a través de las líneas de campo que se extienden en la pieza de prueba 250, que también en esta variante las líneas de flujo magnéticas que se extienden en el mismo sentido (en paralelo recíprocamente) del campo eléctrico constante y del campo alterno se concentran en la zona cercana a la superficie de la pieza de prueba, es decir en la zona opuesta a los medios de magnetización y no entran de forma muy profunda en el interior. Como descrito en la forma de realización anterior esto es comprensible para la proporción de campo alterno. Que también queda concentrada la proporción del campo constante, se debe sobre todo sustancialmente al movimiento relativo de la pieza de prueba que discurre (también) en dirección perimetral entre la pieza de prueba y el campo magnético constante que actúa sobre ésta. El componente de velocidad relativa que discurre en dirección perimetral de la pieza de prueba y por ello también en dirección del yugo de magnetización 220 debería comprender más de 0,3 m/s particularmente más de 1 m/s, para alcanzar una concentración de campo eléctrico constante eficaz en el área de la superficie.

[0054] En Fig. 3 se muestran partes esenciales de un dispositivo de prueba de flujo de dispersión 300 para la exploración del material redondo. El dispositivo de control tiene un cabezal de rotación que atraviesa la pieza de prueba 350, en el que están dispuestos yugos de magnetización 320A, 320B con extremos opuestos en posiciones diametralmente opuestas, que soportan respectivamente dispositivos de bobina AC 345A 345B, que están conectados en serie y acoplados a una fuente de tensión alterna común 340. El cabezal de rotación lleva además varias sondas de control de flujo de dispersión 310, que están dispuestas en un traslado de ángulo de 90° respecto a los polos dispuestos en el yugo de magnetización. En un componente fijo del dispositivo de prueba 300 está dispuesta una disposición de bobina circular 335 axialmente desplazada hacia el cabezal de rotación coaxial, que se conecta a una fuente de tensión continua 330. Con este sistema de control giratorio con magnetización estática DC y magnetización giratoria AC existe por consiguiente una separación espacial de la unidad de magnetización de campo constante y la unidad de magnetización de campo alterno. El gasto constructivo y los costes relacionados con este se pueden mantener de esta manera especialmente bajos. Puesto que el eje de bobinas céntrico del sistema de bobinas DC 335 está dispuesto coaxialmente respecto al cabezal de rotación y la pieza de prueba 350 se introduce sustancialmente de manera coaxial respecto a este eje común a través del dispositivo de la pieza de prueba, el dispositivo de bobina de campo eléctrico constante 335 produce con fuente de tensión activada de forma continua un campo magnético constante, cuyas líneas de flujo 336 discurren por lo menos en la cercanía del dispositivo de bobina de campo eléctrico constante 335 esencialmente en paralelo respecto al eje longitudinal de la pieza de prueba. Por el contrario las líneas de flujo de inducción 346 del campo magnético alterno producidas por los dispositivos de bobina de campo alterno 320A 320B discurren esencialmente al mismo nivel vertical respecto al eje longitudinal de la pieza de prueba y de esta manera también esencialmente de forma vertical respecto a las líneas de flujo de inducción del campo magnético constante.

[0055] En Fig. 4 se muestra una forma de realización de una disposición de circuitería para un dispositivo de magnetización de un dispositivo de control de flujo de dispersión con magnetización combinada de campo constante y campo alterno. El dispositivo de magnetización tiene dos yugos de magnetización 420A 420B contruidos de forma idéntica, estando enrollado en cada uno de los yugos un dispositivo de bobina AC/DC 435A o 435B para la producción del campo de magnetización. Paralelas a las inductancias del sistema de bobinas 435A 435B, 435B están conectadas capacidades respectivas (simbolizadas por los condensadores 436A 436B), de forma que los sistemas de bobinas 435A 435B se insertan respectivamente en un circuito oscilante. Los yugos de magnetización, de forma similar a la forma de realización de la Fig. 1, están fijados a un cabezal de rotación 410, que es giratorio frente a una parte estática 420 del dispositivo de control para un eje de cabezal de rotación.

[0056] Para la alimentación eléctrica del dispositivo de magnetización están alojadas dos fuentes de tensión alterna ajustables 440A 440B de forma continua una independientemente de la otra en la parte fija 420 del dispositivo de control. La conexión eléctrica entre las fuentes de tensión alterna en la parte fija 420 y los componentes eléctricos del cabezal de rotación 410 se logra por medio de los transmisores de rotación inductivos 445A 445B. La primera fuente de tensión alterna 440A se conecta al bobinado primario 446A del primer transmisor de rotación 445A, y la segunda fuente de tensión alterna 440B al bobinado primario 446B del segundo transmisor de rotación 445B. El bobinado secundario 447A del primer transmisor de rotación 445A se conecta a un lado sobre un condensador 448 respectivamente a un lado del sistema de bobinas 435A 435B conectado de forma paralela respecto a la tensión alterna. La otra conexión del bobinado secundario 447A está conectado respectivamente eléctricamente a la conexión opuesta del sistema de bobinas 435A o 435B.

[0057] La segunda fuente de tensión alterna 440B se conecta por medio de un segundo transmisor de rotación 445B

con bobinado primario 446B y bobinado secundario 447B a las partes giratorias de la disposición eléctrica. Los extremos del bobinado secundario 447B se conectan respectivamente a las entradas de un rectificador 449, cuyas salidas forman por consiguiente las salidas de una fuente de tensión continua 430, que comprende la segunda fuente de tensión alterna 440B, el segundo transmisor de rotación 445B y el rectificador 449. Desde la salida "+" - de la fuente de tensión continua 430 lleva un circuito de corriente continua a través del sistema de bobinas 435A del primer yugo 420A, el sistema de bobinas 435B conectado en serie en relación a la corriente continua del segundo yugo de magnetización 420B hacia la salida "-" de la fuente de tensión continua 430. Un condensador 451 conectado entre las salidas de la fuente de tensión continua cuida de que los dispositivos de bobina AC/DC 435A 435B estén conectados en serie respecto a la corriente continua y en paralelo entre sí respecto a la corriente alterna.

[0058] Durante la activación simultánea de la primera y segunda fuentes de tensión alterna 440A 440B se extiende a través del ambos sistemas de bobinas 435A 435B una corriente continua I_{DC} , sobre la que se solapa una corriente alterna I_{AC} . En este caso es puesta a disposición la proporción de corriente continua I_{DC} por la fuente de corriente alterna 430, mientras que la proporción de corriente alterna I_{AC} es puesta a disposición por medio del primer transmisor de rotación 445A directamente por la primera fuente de tensión alterna 440A. Por ajuste de la relación de potencia entre las fuentes de tensión alterna 440A 440B se puede ajustar de manera continua la proporción de las potencias de corriente entre corriente alterna y corriente continua y por consiguiente también la relación de las intensidades de campo de magnetización de campo eléctrico continuo y campo eléctrico alterno. Los circuitos oscilantes con los sistemas de bobinas 435A o 435B se sintonizan respectivamente como circuitos oscilantes resonantes, de modo que solo debe ser alimentada corriente de pérdida.

[0059] Las fuentes de tensión alterna 440A 440B pueden ser activadas naturalmente también de forma alterna, de modo que el dispositivo de magnetización también puede ser puesto en servicio como puro dispositivo de magnetización de campo eléctrico constante o como puro dispositivo de magnetización de campo alterno.

[0060] En lo sucesivo se explican por medio de algunos ejemplos ventajas esenciales de la magnetización combinada de campo eléctrico constante/campo alterno. Como se mencionó al principio, un dispositivo de prueba con magnetización combinada AC y DC tiene profundidad de penetración esencialmente mayor en el material de control frente a una magnetización pura de campo alterno. De esta manera se puede lograr que defectos de material muy profundos, como p.ej. fisuras de tensión, que no están abiertas en la superficie, o defectos, que fueron de manera cerrados a través del proceso de acabado, emitan señales con una amplitud de señal, que son comparables a un error abierto a la superficie. Además se observó, que puede aparecer por el campo continuo eficaz adicional al campo alterno una homogeneización de las piezas de control en vista de las heterogeneidades de permeabilidad y el efecto de deformaciones locales en frío. Por ello se puede lograr según la composición de obra y tipo del procedimiento de fabricación una reducción del subsuelo de interferencia. Estas ventajas son visibles con ayuda de resultados de las pruebas siguientes.

[0061] Para la comprobación de los efectos de una magnetización simultánea AC/DC sobre la calidad de las señales de error se fabricó una pieza de control de prueba explicada en la Fig. 5 La pieza de control de material de acero deformado en frío tenía una sección transversal cilíndrica circular (Fig. 5B) con un diámetro de 40 mm y una longitud 400 mm. En el perímetro de la pieza de control se introdujeron por cortes de sierra en total cinco errores longitudinales (alineación de error en paralelo al eje longitudinal de la pieza de prueba) de la manera que se ve en la Fig. 5A. Las características de todos los errores se pueden deducir de la tabla A que sigue:

Tabla A

Magnitud del error				Dirección	Fabricación
Nº.	Profundidad [mm]	Anchura [mm]	Longitud [mm]	a lo largo	serrada
1	0,1	0,2	50	X	X
2	0,3	0,2	50	X	X
3	1,0	0,2	50	X	X
4	8,1	0,2	60	X	X
5	8,1	0,2	60	X	X cerrado

[0062] Los errores tenían respectivamente la misma anchura (0,2 mm) y profundidades y longitudes parcialmente diferentes, donde los errores nº. 1 hasta 4 según la Fig. 5C eran errores abiertos hacia la superficie de la pieza de prueba, mientras que el error nº. 5 estaba formado como corte de sierra aplastado por rodadura, es decir, como error escondido, cuyas zonas de interferencia llenas de aire no alcanzan del todo hasta la superficie, porque después de la producción de la muesca siguió una fase de enrollado, que llevó a un cierre superficial del corte de sierra. El error escondido Nr. 5 tiene por lo demás las mismas dimensiones que el error abierto nº. 4. La pieza de control se guió con una velocidad de aprox. 0,2 m/seg por un dispositivo de prueba de flujo de dispersión AC/DC combinado y fue girada alrededor de su eje longitudinal, p.ej. a velocidades de rotación de entreo 300 U_{min}^{-1} y 2400 U_{min}^{-1} . La fuente de tensión alterna estaba ajustada a una frecuencia de 7.5 kHz, lo que se encuentra en la zona de las frecuencias típicas para mediciones de flujo de dispersión AC (aprox. 3kHz hasta aprox. 12 kHz). Por medio de las fuentes de corriente

continua y corriente alterna se ajusta una corriente continua de $I_{DC} \approx 20$ a y una relación de corriente de excitación I_{DC} / I_{AC} entre la intensidad de corriente I_{DC} de corriente continua y la intensidad de corriente I_{AC} de la corriente alterna de aprox. 4:1.

5 Se usó un dispositivo de bobina de campo alterno-campo continuo combinado, de modo que en el material de control se dio una relación correspondiente de intensidad de campo $H_{DC} / H_{AC} \approx 4:1$.

[0063] La Fig. 6 y 7 muestran representaciones respectivas de las amplitudes de error producidas a través de los errores en el plano de impedancia. En este caso la longitud de la señal alargada representa las amplitudes de error, mientras que la alineación de la señal en el plano de impedancia representa la fase relativa de las amplitudes de error en relación con una posición de referencia representada. Fig. 6 muestra los resultados para el error Nr. 2 (errores abiertos, 0,3 mm de profundidad, 0,2 mm ancho), mientras que Fig. 7 muestra los resultados para el error Nr. 5 (error escondido, 8,1 mm de profundidad, 0,2 mm ancho, véase la Fig 5D). Las figuras respectivas de la izquierda Fig 6A y Fig 7A muestran respectivamente la señal en caso de magnetización pura de corriente alterna con $I_{AC} \approx 5A$ y $I_{DC} = 0A$. Las figuras respectivas de la derecha 6B 7B muestran las señales de magnetización combinada campo alterno-campo continuo, donde sobre el campo alterno inmutado ($I_{AC} \approx 5A$) estaba solapado un campo magnético continuo, que fue producido con corriente continua de $I_{DC} \approx 20 A$.

[0064] La comparación de las señales en las figuras 6A y 6B muestra que el error abierto relativamente pequeño con la magnetización combinada de campo eléctrico constante/campo alterno (Fig. 6B) tiene esencialmente las mismas amplitudes de error y situación de fases que el estímulo de campo alterno puro (Fig. 6A). La magnetización adicional del campo eléctrico constante no conduce por tanto a un empeoramiento de la sensibilidad del procedimiento con magnetización de campo alterno. Por lo contrario resultan diferencias claras en el error nº 5 escondido cerrado a la superficie. Mientras que el control con estímulo de campo alterno puro (Fig. 7A) muestra una señal de error relativamente pequeña, cuya evaluación fiable requiere una separación minuciosa de la señal de error verdadera del subsuelo de interferencia, la magnetización combinada de campo eléctrico constante/campo alterno (Fig. 7B) trae una señal de error clara con múltiple mayores amplitudes de error. Se muestra por consiguiente, que la magnetización combinada de campo continuo-campo alterno aporta precisamente en errores abiertos que no llegan hasta la superficie ventajas considerables frente a la magnetización pura de campo alterno. Por lo demás la comparación de las amplitudes del error nº. 5 en Fig. 7B y del error nº 2 en Fig. 6B de enfrente de menos profundidad muestra que la amplitud del error depende mucho de la profundidad del error.

[0065] Las Fig. 8 y 9 muestran representaciones referidas al perímetro de las amplitudes de error, donde las figuras parciales de la izquierda 8A, 9A muestran respectivamente los resultados de la magnetización pura de campo alterno y las figuras parciales 8B, 9B de la derecha muestran respectivamente los resultados de la magnetización combinada de campo constante/campo alterno. Las representaciones en la Fig. 9 resultan de un registro con sensibilidad reducida en comparación con las representaciones de la Fig. 8, siendo sin embargo comparables entre sí. De las representaciones de la Fig. 8 resulta que la magnetización combinada AC-DC en comparación con la magnetización pura de campo alterno en caso de errores abiertos a la superficie trae amplitudes de error prácticamente idénticas, de modo que no son de temer pérdidas en la capacidad de resolución. La comparación de los errores nº 4 (error abierto) y nº 5 (error escondido, cerrado) en la Fig. 9 muestra en cambio que la magnetización combinada de campo constante/campo alterno (Fig. 9B) aporta para el error cerrado nº 5 una amplitud de error mucho mayor que la magnetización pura de campo alterno (Fig. 9A). La señal de error destaca de manera notable del subsuelo de interferencia, de lo que se deduce que la magnetización combinada de campo constante/campo alterno aporta ventajas considerables especialmente en la detección de errores escondidos frente a la magnetización pura de campo alterno, sin que resulten desventajas en los errores abiertos a la superficie.

[0066] La invención es aplicable a diferentes tipos de piezas de prueba, por ejemplo a piezas de prueba tubulares así como a piezas de prueba de material macizo. Una pieza de prueba puede tener una sección transversal circular, con lo que es posible de manera particularmente fácil una rotación relativa de pieza de prueba y sonda de control, que puede ser llevada a cabo por rotación de la pieza de prueba, por rotación de la parte del dispositivo de control que contiene la(s) sonda(s) y/o por una combinación de estas rotaciones. También pueden ser controladas las piezas de prueba con sección transversal no circular, por ejemplo tochos de tres bordes o tochos cuadrado o tochos con otras secciones transversales poligonales, así como piezas de prueba con sección transversal elíptica, donde puede en su caso producirse el movimiento relativo entre pieza de prueba y sonda de control esencialmente a través del movimiento de la pieza de prueba en relación a un dispositivo de control estático.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la detección de defectos cercanos a la superficie en una pieza de prueba (150, 250, 350) consistente al menos parcialmente en material ferromagnético, donde un volumen de control de la pieza de prueba es magnetizado y detectado para el registro de campos de dispersión magnéticos causados por defectos, siendo el volumen de control magnetizado mediante un campo magnético constante y simultáneamente mediante un campo magnético alterno solapado sobre el campo continuo, **caracterizado por el hecho de que** se produce un campo magnético alterno con una frecuencia de campo alterno de al menos 1 kHz y de que se produce un movimiento relativo entre la pieza de prueba y el campo magnético continuo que actúa sobre la pieza de prueba y el campo alterno solapado sobre el campo continuo, que tiene un componente de velocidad relativo, que está dirigido hacia la dirección de las líneas de campo magnéticas del campo constante dentro de la pieza de prueba, siendo el componente de la velocidad relativa de al menos 0,3 m/s.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, estando el componente medido de la velocidad relativa en dirección de las líneas de campo del campo constante en el área de 1 m/s hasta 5 m/s.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde la frecuencia de campo alterno está entre 3 kHz y 12 kHz.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, pudiendo ser acoplados el campo continuo y el campo alterno en el volumen de control de tal manera que el flujo de inducción producido por el campo continuo y el flujo de inducción producido por el campo alterno tienen esencialmente la misma orientación.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, estando acoplado el campo magnético constante de tal manera en la pieza de prueba, que las líneas de campo del campo magnético constante discurren dentro de la pieza de prueba por secciones aproximadamente en dirección perimetral y/o esencialmente en vertical respecto a un eje longitudinal de la pieza de prueba, siendo alcanzado el movimiento relativo preferiblemente a través de una rotación relativa entre la pieza de prueba (150,250) y una unidad de magnetización del campo constante.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde la intensidad de campo magnético H_{DC} del campo constante en el volumen de control comprende al menos la mitad del tamaño, particularmente al menos el mismo tamaño que la intensidad de campo magnético H_{AC} del campo alterno y/o no más de 20 veces la intensidad de campo magnético del campo alterno, estando preferiblemente una relación de intensidad de campo H_{DC}/H_{AC} entre la intensidad de campo magnético H_{DC} del campo constante y la intensidad de campo magnético H_{AC} del campo alterno entre 1 y 5.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde la intensidad de campo magnético H_{DC} del campo constante comprende aprox. 10% y aprox. 95% de la intensidad de campo de saturación del material de muestra en el volumen de control, preferiblemente entre aprox. 70% y aprox. 85% de la intensidad de campo de saturación y/o donde una suma de la intensidades de campo $\Sigma H = H_{AC} + H_{DC}$ de la intensidad de campo magnético H_{DC} del campo constante y de la intensidad de campo magnético H_{AC} del campo alterno comprende aprox. entre 10% y aprox. 100% de la intensidad de campo de saturación del material de la pieza de prueba en el volumen de control, preferiblemente entre aprox. 70% y aprox. 85% de la intensidad de campo de saturación.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, donde los campos de dispersión magnéticos se registran con ayuda de al menos una sonda de flujo de dispersión sensible al campo magnético y se explica una evaluación de señales de sondas de las sondas de flujo de dispersión para la evaluación de señales de flujo de dispersión, siendo evaluada particularmente una amplitud de señal de sondas para la caracterización de defectos.
9. Dispositivo para para la detección de defectos cercanos a la superficie en una pieza de prueba (150, 250,350) consistente al menos parcialmente en material ferromagnético con:
un dispositivo de magnetización para la magnetización de un volumen de control de la pieza de prueba y al menos una sonda de control sensible al campo magnético (110A, 110B, 210, 310), para el registro de campos de dispersión magnéticos causados por defectos, comprendiendo el dispositivo de magnetización una unidad de magnetización de campo constante para la producción de un campo magnético constante y una unidad de magnetización de campo alterno para la producción de un campo alterno solapado sobre el campo constante en el volumen de control, **caracterizado por el hecho de que** se dimensiona una fuente de tensión alterna del dispositivo de magnetización del campo alterno para producir tensión alterna con una frecuencia de al menos 1 kHz y por que están previstos dispositivos para la producción de un movimiento relativo entre la pieza de prueba (150, 250,350) y el campo magnético constante que actúa sobre la pieza de prueba, donde el movimiento relativo tiene un componente de velocidad relativo que está esencialmente orientado hacia la dirección de las líneas de campo magnéticas del campo constante dentro de la pieza de prueba, donde este componente de la velocidad relativa comprende al menos 0,3 m/s, de modo que el dispositivo para la realización del procedimiento se configura según las reivindicaciones 1 hasta 8.
10. Dispositivo según la reivindicación 9, donde el dispositivo de magnetización presenta al menos un dispositivo de bobinas de campo alterno-campo continuo (235,435A, 435B), que está conectado o es conectable simultáneamente a una fuente de tensión alterna y a una fuente de tensión continua, o donde el dispositivo de magnetización presenta al

menos un dispositivo de bobinas de tensión alterna (145A, 145B, 345A, 345B) conectado a una fuente de tensión alterna (140A, 140B, 340) y al menos un dispositivo de bobina de corriente continua (135A, 135B, 335) separado del dispositivo de bobina de tensión alterna y conectado a una fuente de tensión continua (130A, 130B, 330).

5 11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 o 10, donde el dispositivo de magnetización presenta al menos un yugo de magnetización (120A, 120B, 220) con un núcleo de yugo, sobre el que está enrollado un dispositivo de bobinas de corriente alterna y un dispositivo de bobina de corriente continua, estando formado un yugo de magnetización preferiblemente como un yugo de magnetización esencialmente en forma de U, cuyo extremos libres sirven como pieza polar y están dispuestos esencialmente de forma radial respecto a la superficie de la pieza de prueba, estando
10 dispuestas las piezas polares particularmente aproximadamente de forma simétrica en ambos lados de una sonda de control asociada (110A, 110B, 210,310).

12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 hasta 11, donde la unidad de magnetización de campo constante comprende una fuente de corriente alterna (440B) y un rectificador (449) conectado a la fuente de corriente alterna (449), estando dispuesto preferiblemente entre la fuente de corriente alterna (440B) y el rectificador (449) un transmisor inductivo (445B) sin contacto que trabaja de forma inductiva.
15

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 hasta 12, donde está dimensionada una fuente de corriente alterna de la unidad de magnetización para producir tensiones alternas en la zona de 3 kHz hasta 12 kHz y/o potencias de corriente de hasta varios amperio, particularmente hasta a 20 amperios o más.
20

14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 hasta 13, **caracterizado por el hecho de que** el movimiento relativo comprende una rotación relativa entre la pieza de prueba y una unidad de magnetización de campo constante, donde particularmente los medios de magnetización de campo constante se fijan a un cabezal de rotación de tal manera que
25 movible alrededor de la pieza de prueba (150).

15. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 hasta 14, **caracterizado por** un dispositivo de evaluación para la elaboración de señales de sondas de al menos una sonda de control sensible al campo magnético (110A, 110B, 210,310), donde el dispositivo de evaluación está instalado para evaluar heterogeneidades del flujo magnético registradas por la sonda de control y trabajar en señales de error, siendo evaluada particularmente una amplitud de error de la señal de error para la caracterización de defectos.
30

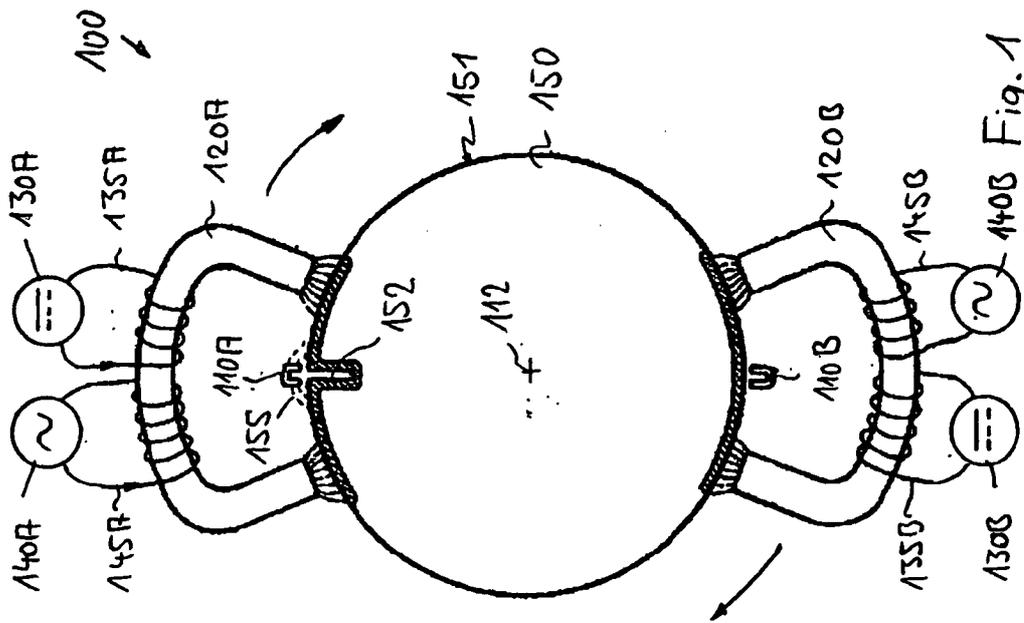


Fig. 1

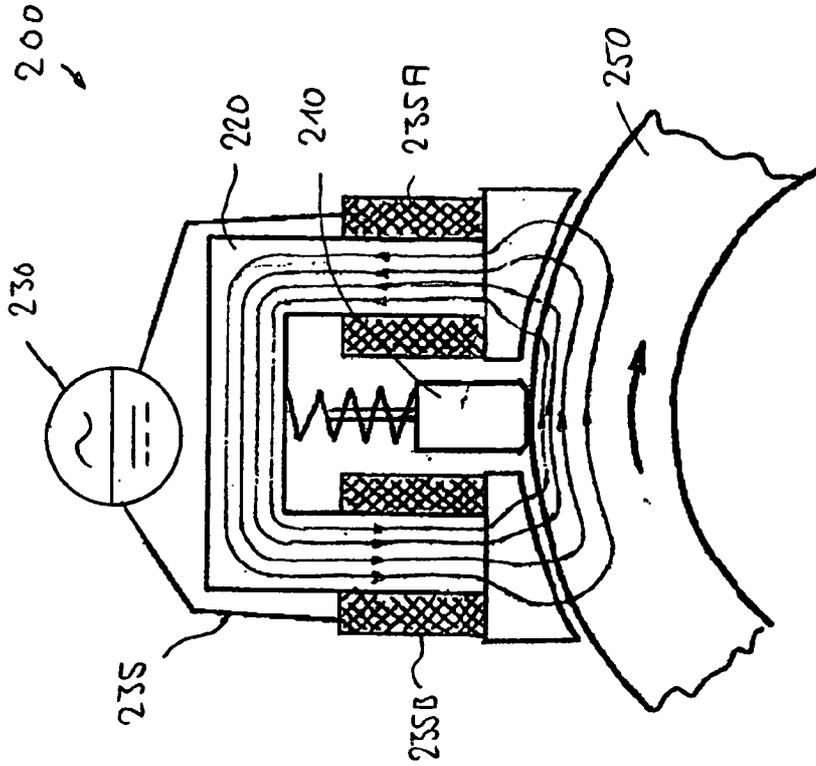
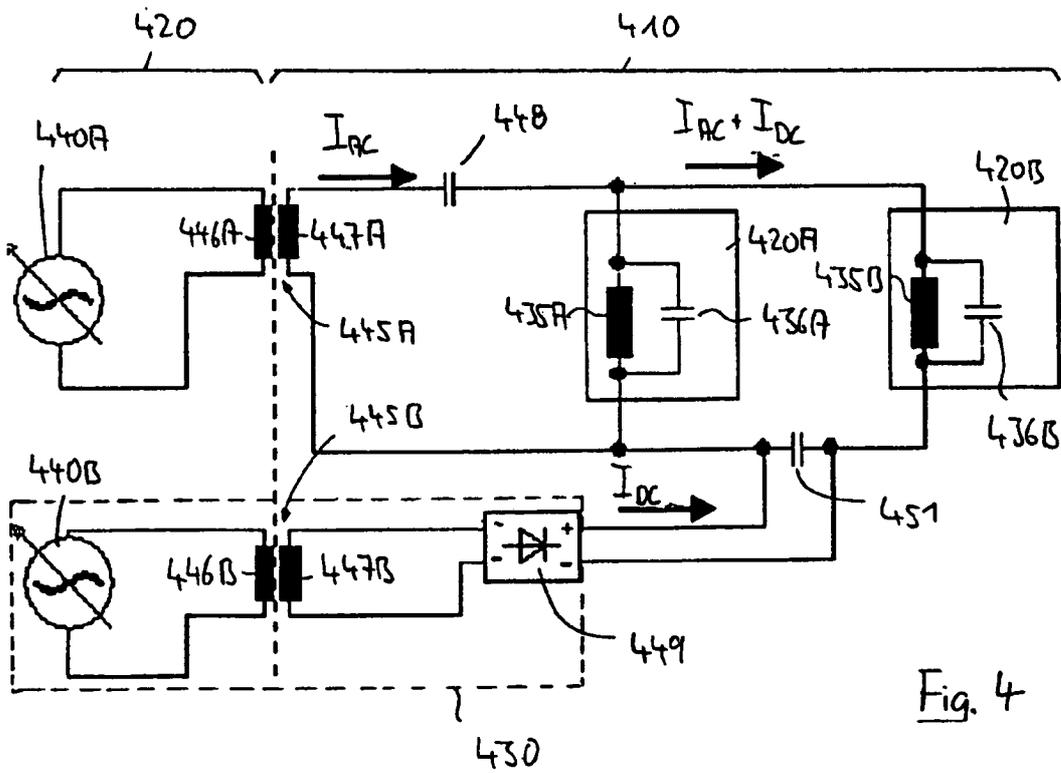
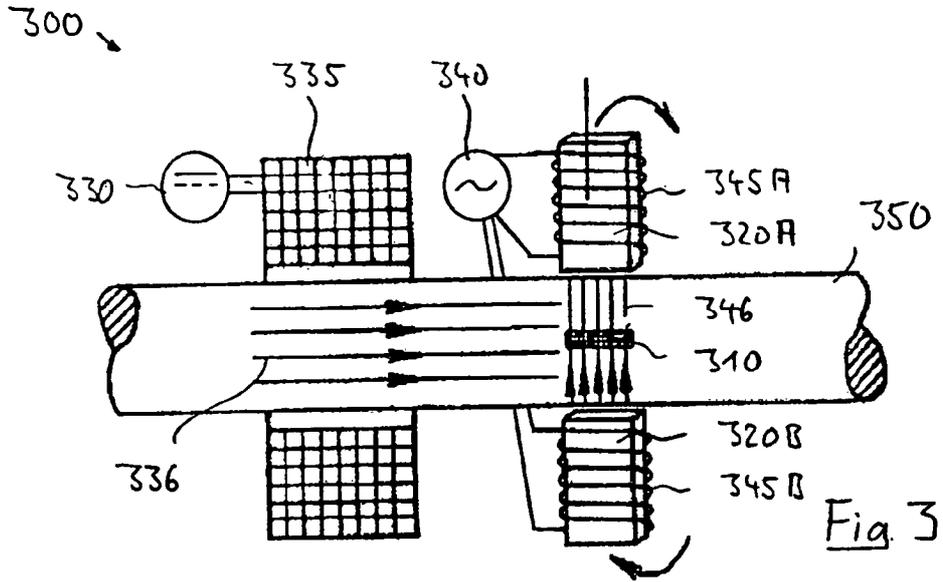


Fig. 2



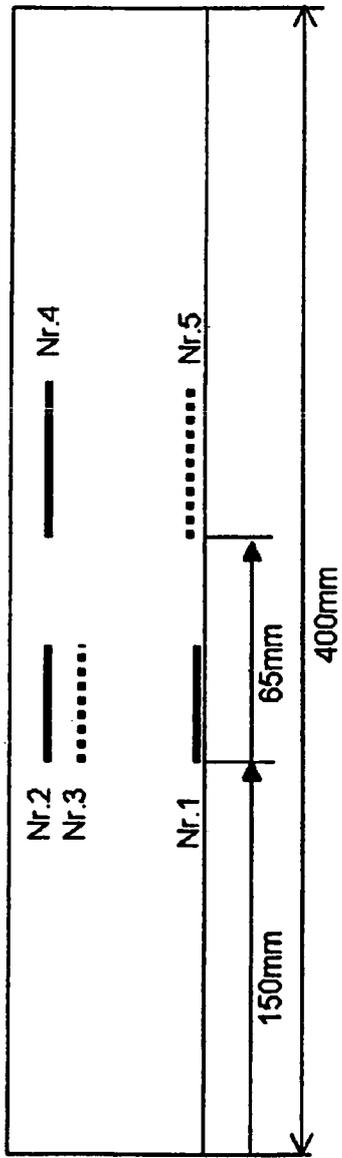


Fig. 5A

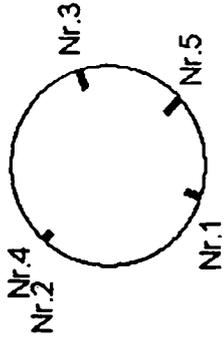


Fig. 5B

Fig. 5C Fig. 5D



Nr.1-4

Nr.5

Fig. 5

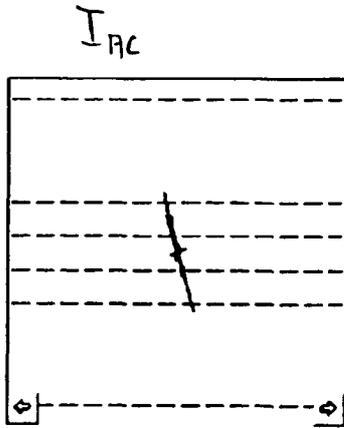


Fig. 6A

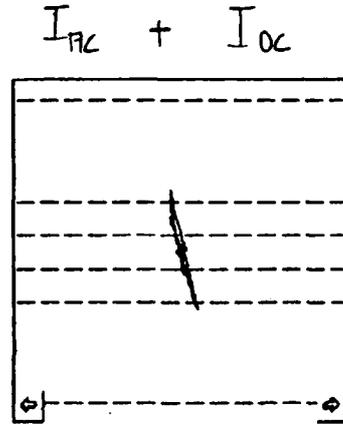


Fig. 6B

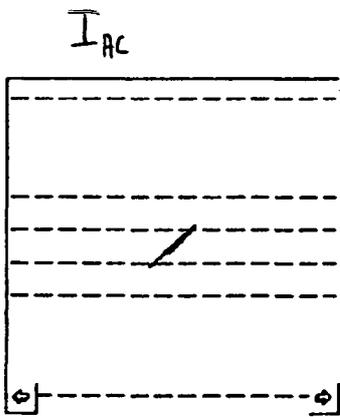


Fig. 7A

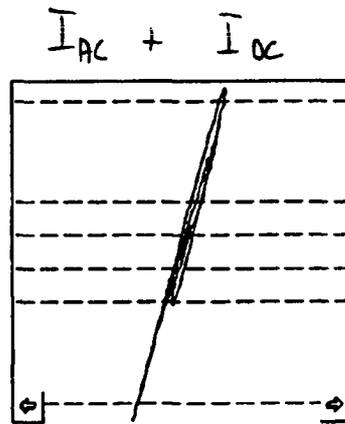


Fig. 7B

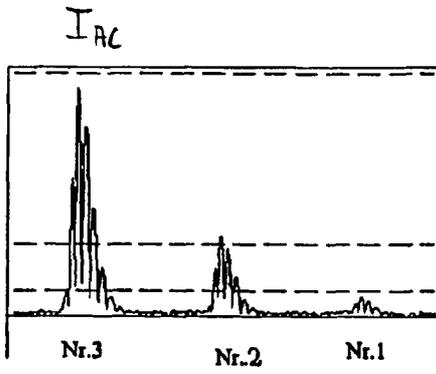


Fig. 8A

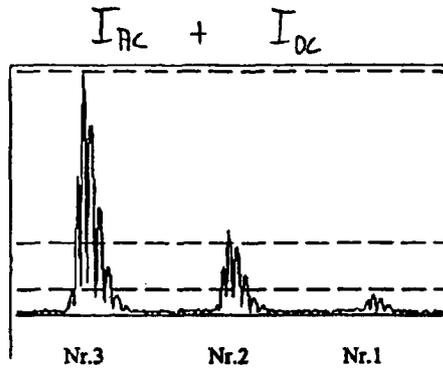


Fig. 8B

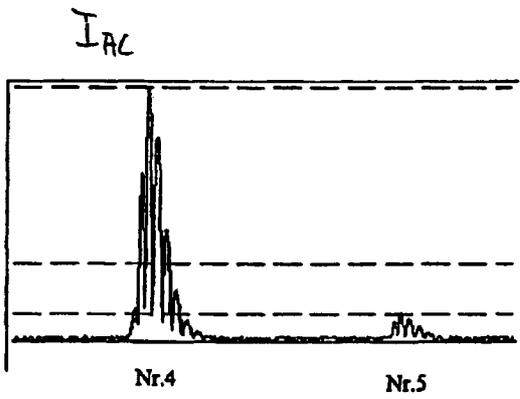


Fig. 9A

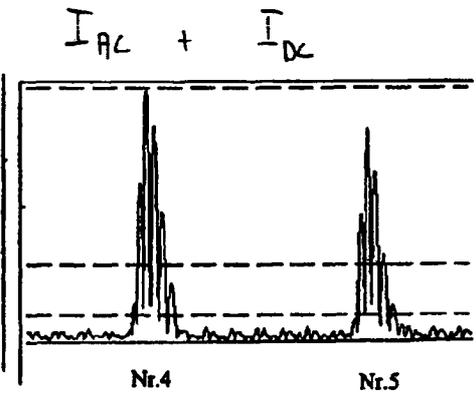


Fig. 9B