

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 616 555**

51 Int. Cl.:

**G01N 27/72** (2006.01)

**G01N 27/82** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.02.2010 PCT/JP2010/052147**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.09.2010 WO2010098218**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2010 E 10746099 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2016 EP 2402744**

54 Título: **Método de detección de carburización**

30 Prioridad:

**25.02.2009 JP 2009042535**

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

**13.06.2017**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)  
6-1, Marunouchi 2-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**HYODO, SHIGETOSHI;  
TAKIMOTO, YOSHIKAZU y  
MIYOSHI, KAZUFUMI**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 616 555 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**

Método de detección de carburización

**Campo técnico**

5 La presente invención se refiere a un método para detectar si ocurre o no carburización en un material de ensayo tal como una tubería o tubo de acero, mediante un ensayo electromagnético tal como un ensayo de inducción electromagnética y un ensayo de fuga de flujo magnético. En particular, la presente invención se refiere a un método con el que se puede determinar con precisión un valor de umbral de un valor de respuesta del ensayo electromagnético, que corresponde a un valor umbral para que se detecte una profundidad carburizada, y por lo tanto sea posible determinar con precisión si la carburización ocurre o no.

**10 Antecedentes de la técnica**

15 Se sabe que entre diversos materiales de acero, el acero inoxidable austenítico es susceptible de carburización. Por ejemplo, un tubo de craqueo, que se utiliza para la reacción de descomposición térmica en un proceso de fabricación de etileno de una planta petroquímica, está hecho de acero inoxidable austenítico, y la carburización se produce en su superficie interior después de ser utilizado durante largas horas. Además, en el proceso de fabricación del tubo de craqueo, la carburización se produce cuando el tratamiento térmico se realiza en una condición de desengrasamiento deficiente. Dado que la aparición de tal carburización puede causar una reducción significativa de la vida útil del tubo de craqueo, existe la necesidad de detectar con precisión si la carburización ocurre o no.

20 Por esta razón, convencionalmente, se lleva a cabo un ensayo electromagnético tal como un ensayo de inducción electromagnética en un tubo de craqueo instalado en una planta como inspección no destructiva a través de toda la longitud del tubo de craqueo en el momento del mantenimiento periódico de la planta, de modo que se detecta si la carburización ocurre o no, con base en la magnitud del valor de respuesta del mismo. Además, en el proceso de fabricación del tubo de craqueo también se detecta si la carburización ocurre o no realizando un ensayo electromagnético en toda su longitud o cortando sus dos extremos y realizando una observación de la microestructura.

25 Por ejemplo, el documento US 5 105 151 A describe un aparato para medir una porción carburizada que se produce dentro de un artículo tubular.

30 En el ensayo electromagnético descrito anteriormente, es una práctica general que, mediante la utilización de una curva de calibración calculada, que es una correlación previamente calculada entre una profundidad carburizada y un valor de respuesta del ensayo electromagnético, se determine de antemano un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar. Entonces, si la carburización ocurre o no en un material de ensayo se detecta con base en una correlación de magnitud entre el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido realizando el ensayo electromagnético en el material de ensayo y el valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético que está predeterminado como se ha descrito anteriormente.

35 En general, cuando se calcula la curva de calibración descrita anteriormente, se preparan primero una pluralidad de materiales carburizados cada uno de los cuales se espera que tenga una profundidad carburizada diferente, y cada material carburizado se somete a un ensayo electromagnético para obtener un valor de respuesta del ensayo electromagnético. A continuación, cada material carburizado se corta y se somete a observación de microestructura de modo que se mide una profundidad carburizada real de cada material carburizado, a partir del cual se ha adquirido el valor de resultado del ensayo electromagnético. De este modo, es posible calcular una curva de calibración que es una correlación entre la profundidad carburizada y el valor de respuesta del ensayo electromagnético.

40 En esta situación, puesto que la profundidad carburizada se ve afectada por el historial de fabricación o el historial de uso de un tubo de craqueo, una pluralidad de materiales carburizados recolectados de un tubo de craqueo que tiene el mismo historial puede tener una profundidad carburizada equivalente. En otras palabras, una pluralidad de materiales carburizados que tienen cada uno una profundidad carburizada diferente puede no necesariamente ser recolectada de un tubo de craqueo de forma conveniente para calcular la curva de calibración descrita anteriormente. Por lo tanto, es una práctica general que para aumentar la posibilidad de recolectar materiales carburizados que tengan diferentes profundidades carburizadas, los materiales carburizados se recolecten respectivamente a partir de una pluralidad de tubos de craqueo, cada uno de los cuales tiene un historial diferente, tal como un lote de fabricación y un tiempo de uso, y se sometan al cálculo de la curva de calibración.

45 Como se describió anteriormente, cada material carburizado que se va someter al cálculo de la curva de calibración se recolecta a partir de los correspondientes de una pluralidad de tubos de craqueo que tienen historiales diferentes. Por lo tanto, incluso si se selecciona una pluralidad de tubos de craqueo que tienen los mismos componentes y dimensiones (diámetro externo y diámetro interno) en términos de la especificación de diseño y cada material carburizado se recolecta a partir de cada uno de los tubos de craqueo, pueden variar los constituyentes y la

dimensión del metal base de cada material carburizado. Como resultado, pueden variar las propiedades electromagnéticas (resistencia eléctrica, etc.) del metal base de cada material carburizado.

5 En un ensayo electromagnético tal como un ensayo de inducción electromagnética, es una práctica general que se aplique una corriente alterna desde varios cientos de Hz hasta varias decenas de kHz dependiendo del espesor de la pared del material que se va a medir de tal manera que la profundidad de penetración de la corriente alterna es varias veces el espesor de la pared. Por lo tanto, incluso suponiendo que no haya ocurrido carburización en cada material carburizado, las diferentes propiedades electromagnéticas del metal base de cada material carburizado conducen a un valor de respuesta del ensayo electromagnético diferente de cada material carburizado. Es decir, el valor de respuesta del ensayo electromagnético cuando la profundidad carburizada es 0  $\mu\text{m}$  (el punto de referencia) 10 variará de un material carburizado a otro. Por lo tanto, la precisión de la curva de calibración, que se calcula utilizando los valores de respuesta del ensayo emisión electromagnético para los cuales el punto de referencia varía de un material carburizado a otro, se reducirá según la cantidad de desviación de cada punto de referencia. Como resultado, surge el problema de que también se reducirá la precisión del valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético, el cual está predeterminado por el uso de la curva de calibración como se ha descrito 15 anteriormente, lo que conduce además a una disminución de la precisión en la detección de si la carburización ocurre o no.

Aunque se han propuesto diversos métodos para detectar si ocurre o no carburización, incluyendo aquellos que no ya no se utilizan (por ejemplo, véanse los documentos JP3-253555A, JP62-6153A, JP4-145358A, JP6-88807A, JP2000-266727A, JP2004-279054A y JP2004-279055A), ninguno de estos métodos es capaz de resolver los 20 problemas descritos anteriormente.

### Compendio de la invención

La presente invención se ha hecho a la vista de las técnicas anteriores descritas más arriba, y es su objeto proporcionar un método de detección de carburización con el cual pueda determinarse con precisión un valor de umbral de un valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral de una 25 profundidad carburizada que se va a detectar y, por tanto, se pueda detectar con precisión si la carburización ocurre o no.

Con el fin de resolver los problemas descritos anteriormente, la presente invención es un método para detectar si la carburización ocurre o no en un material de ensayo mediante un ensayo electromagnético, estando caracterizado el método por incluir los siguientes procedimientos primero a octavo.

#### 30 (1) Primer procedimiento

Un material que tiene propiedades electromagnéticas equivalentes a las de un material de ensayo y no está carburizado se selecciona como material de referencia, y al menos tres materiales magnéticos que tienen cada uno una fuerza magnética diferente se unen a una superficie objetivo para la detección de carburización del material de referencia.

#### 35 (2) Segundo procedimiento

Se mide la fuerza magnética de cada material magnético que está unido al material de referencia en el primer procedimiento anteriormente descrito y se realiza un ensayo electromagnético sobre cada material magnético descrito anteriormente para adquirir un valor de respuesta del mismo.

#### (3) Tercer procedimiento

40 Con base en los valores de fuerza magnética medidos y los valores de respuesta del ensayo electromagnético de cada material magnético, que se obtienen en el segundo procedimiento, se calcula una correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético.

#### (4) Cuarto procedimiento

45 La fuerza magnética se mide sobre una pluralidad de materiales carburizados, cada uno de los cuales tiene una profundidad carburizada diferente.

#### (5) Quinto procedimiento

Con base en las profundidades carburizadas y los valores de fuerza magnética medidos de cada material carburizado obtenido en el cuarto procedimiento, se calcula una correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido.

#### 50 (6) Sexto procedimiento

Con base en la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido en el quinto procedimiento, se determina un valor de umbral del valor de fuerza magnética medido correspondiente a un

valor de umbral de una profundidad carburizada que se va a detectar.

(7) Séptimo procedimiento

5 Con base en la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido en el tercer procedimiento, se determina un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente al valor de umbral del valor de fuerza magnética medido determinado en el sexto procedimiento.

(8) Octavo procedimiento

10 Si ocurre o no carburización en el material de ensayo se detecta con base en una correlación de magnitud entre el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido realizando el ensayo electromagnético en el material de ensayo y el valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético determinado en el séptimo procedimiento.

15 Según la presente invención, se calcula una correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético ejecutando los procedimientos primero a tercero. En el presente documento, la "fuerza magnética" tal como se utiliza en la presente invención tiene una correlación positiva con la cantidad de ferrita (la relación de área de la estructura de ferrita), que se mide generalmente usando un medidor de ferrita. Este medidor de ferrita es un instrumento para medir la cantidad de ferrita aplicando un campo magnético alterno de frecuencia ultrabaja (menos de 100 Hz) al material que se va a medir y aprovechando el hecho de que la inducción magnética aumenta con la ferrita incluida en el material que se va a medir. Por lo tanto, en el segundo procedimiento, cuando se mide la fuerza magnética de cada material magnético unido al material de referencia, el uso de un medidor de ferrita que aplica un campo magnético alterno de frecuencia ultrabaja al mismo, dará como resultado un valor de fuerza magnética medido que es menos probable que se vea afectado por las propiedades electromagnéticas de la parte del material de referencia a la que se une cada material magnético.

25 Por otra parte, en el segundo procedimiento, es probable que el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido realizando el ensayo electromagnético sobre cada material magnético unido al material de referencia se vea afectado por las propiedades electromagnéticas de la parte del material de referencia a la que está unido cada material magnético, puesto que, como se ha descrito anteriormente, se aplica un campo magnético alterno de alta frecuencia en el ensayo electromagnético. De esta manera, aunque el valor de respuesta del ensayo electromagnético de cada material magnético se vea afectado por las propiedades electromagnéticas de la parte del material de referencia a la que está unido cada material magnético, ya que cada material magnético está unido a un único material de referencia, su efecto es uniforme y no es probable que varíe entre los valores de respuesta del ensayo electromagnético de cada material magnético. Además, dado que el material de referencia tiene propiedades electromagnéticas equivalentes a las del material de ensayo (el metal de base del material de ensayo), el valor de respuesta del ensayo electromagnético de cada material magnético se ve afectado hasta un grado equivalente como en el caso en que el material de ensayo es sometido a un ensayo electromagnético. Es decir, los puntos de referencia de los valores de respuesta del ensayo electromagnético de los respectivos materiales magnéticos son sustancialmente iguales entre sí y también coinciden sustancialmente con el punto de referencia del valor de respuesta del ensayo electromagnético del material de ensayo.

40 Por lo tanto, en una correlación entre el valor de fuerza magnética medido obtenido ejecutando los procedimientos primero a tercero y el valor de respuesta del ensayo electromagnético, aunque el valor de respuesta del ensayo electromagnético se vea afectado por las propiedades electromagnéticas del material de referencia (propiedades electromagnéticas del material de ensayo), el punto de referencia del mismo permanece sustancialmente fijo.

45 Además, según la presente invención, ejecutando los procedimientos cuarto y quinto, se calcula una correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido. Aquí, por ejemplo, la "profundidad carburizada" tal como se usa en la presente invención se puede medir cortando cada material carburizado y realizando la observación de la microestructura después de medir la fuerza magnética, y no se verá afectada por las propiedades electromagnéticas del metal base de cada material carburizado.

50 Por otra parte, en el cuarto procedimiento, cuando se mide la fuerza magnética de cada material carburizado, si se usa un medidor de ferrita que aplica un campo magnético alterno de frecuencia ultrabaja, el valor de fuerza magnética medido del mismo no se verá probablemente afectado por las propiedades electromagnéticas del metal base de cada material carburizado.

Por lo tanto, no es probable que la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido ejecutando los procedimientos cuarto y quinto se vea afectada por las propiedades electromagnéticas del metal base de cada material carburizado y, por tanto, por las propiedades electromagnéticas del material de ensayo (el metal base del material de ensayo).

55 Además, según la presente invención, se determina un valor de umbral del valor de la fuerza magnética medido correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar, ejecutando el sexto procedimiento, y un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente al valor de

umbral del valor de fuerza magnética medido, que se determina como se ha descrito anteriormente, se determina ejecutando el séptimo procedimiento. Esto es, consecuentemente, se determina un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar, de la misma manera que en las técnicas anteriores, ejecutando los procedimientos sexto y séptimo.

- 5 En la presente invención, sin embargo, en contraste con las técnicas anteriores, en primer lugar, en el sexto procedimiento, se determina un valor de umbral del valor de fuerza magnética medido correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar, con base en la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido en el quinto procedimiento. Dado que es menos probable que la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido por el
- 10 quinto procedimiento se vea afectada por las propiedades electromagnéticas del material de ensayo como se ha descrito anteriormente, es posible determinar con precisión un valor de umbral del valor de la fuerza magnética medido correspondiente al valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar. A continuación, en el séptimo procedimiento, se determina un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente al valor de umbral del valor de fuerza magnética medido determinado en el sexto procedimiento con
- 15 base en la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido en el tercer procedimiento. En la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido en el tercer procedimiento, como se ha descrito anteriormente, aunque el valor de respuesta del ensayo electromagnético se ve afectado por las propiedades electromagnéticas del material de ensayo, dado que su punto de referencia se mantiene sustancialmente fijo, es
- 20 posible determinar con precisión un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral del valor de fuerza magnética medido.

Por lo tanto, en la presente invención, ejecutando los procedimientos sexto y séptimo, es posible, a diferencia de las técnicas anteriores, determinar con precisión un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar.

- 25 Después de realizar del primero al séptimo procedimientos, en el octavo procedimiento, al detectar si ocurre o no carburización en el material de ensayo con base en la correlación de magnitud entre el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido realizando el ensayo electromagnético sobre el material de ensayo y el valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético determinado en el séptimo procedimiento, es posible mejorar la precisión de detección.
- 30 Se observa que en la presente invención, del primero al octavo procedimientos no tienen que realizarse necesariamente en este orden y, por ejemplo, también es posible realizar primero los procedimientos cuarto y quinto y, a continuación, realizar del primero al tercero procedimientos.

- En el primer procedimiento descrito anteriormente, por ejemplo, una cualquiera de una cinta magnética, un núcleo de ferrita que está insertado en una bobina de solenoide usada para la inspección de piezas electrónicas y defectos,
- 35 una muestra cortada de un material metálico magnético tal como hierro, pueden ser unidos al material de referencia descrito anteriormente como el material magnético.

Además, en los procedimientos segundo y octavo descritos anteriormente, es posible realizar un ensayo electromagnético usando un sensor que emite una señal de valor absoluto o un sensor que emite una señal diferencial.

- 40 El sensor que emite una señal de valor absoluto puede ejemplificarse, por ejemplo, mediante una configuración que incluye una única bobina de detección dispuesta cerca del material de ensayo y emite una señal de detección en la bobina de detección y una configuración que incluye un par de bobinas de detección, una de las cuales está dispuesta cerca del material de ensayo y la otra está dispuesta cerca de un objeto que sirve como patrón, y emite una diferencia de señales de detección en cada bobina de detección. Además, el sensor que emite una señal
- 45 diferencial puede ejemplificarse, por ejemplo, mediante una configuración que incluye un par de bobinas de detección dispuestas cerca del material de ensayo y emite una diferencia entre las señales de detección en cada bobina de detección.

- Como se ha descrito hasta ahora, según el método de detección de carburización relacionado con la presente invención, es posible determinar con precisión un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente a un valor de umbral de la profundidad carburizada que se va a detectar y,
- 50 detectar con precisión si la carburización ocurre o no.

### Breve descripción de los dibujos

- La Figura 1 es un diagrama esquemático para ilustrar una configuración de boceto de un aparato de ensayo de corriente inducida que se va a utilizar en un método de detección de carburización en relación con una primera
- 55 realización de la presente invención.

La Figura 2 es un diagrama esquemático para ilustrar el boceto de un ejemplo de un material de referencia al que están unidos materiales magnéticos.

La Figura 3 es un diagrama esquemático para representar una señal X y una señal Y emitidas desde el rotador de fase, que se incluye en el aparato de ensayo de corriente inducida mostrado en la Figura 1, en un plano X-Y vector.

La Figura 4 muestra un ejemplo de la correlación entre un valor de fuerza magnética medido y un valor de respuesta del ensayo de corriente inducida, que se calcula en la primera realización de la presente invención.

- 5 La Figura 5 muestra un ejemplo de la correlación entre una profundidad carburizada y un valor de fuerza magnética medido, que se calcula en la primera realización de la presente invención.

La Figura 6 muestra un ejemplo del resultado de detectar si la carburización ocurre o no por un método de detección de carburización relacionado con la primera realización de la presente invención.

- 10 La Figura 7 es un diagrama esquemático para ilustrar la configuración de boceto de un aparato de ensayo de corriente inducida que se va a utilizar en el método de detección de carburización en relación con la segunda realización de la presente invención.

La Figura 8 es un diagrama esquemático en el que una señal X y una señal Y emitidas desde el rotador de fase, que se incluye en el aparato de ensayo de corriente inducida mostrado en la Figura 7, se representan en un plano X-Y vector.

- 15 La Figura 9 muestra un ejemplo de la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida que se calculan en la segunda realización de la presente invención.

La Figura 10 muestra un ejemplo del resultado de detectar si la carburización ocurre o no por un método de detección de carburización relacionado con la segunda realización de la presente invención.

#### **Descripción de realizaciones**

- 20 A continuación, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, se describirán las realizaciones de la presente invención tomando un ejemplo de un caso en el que el material de ensayo es un tubo de acero y se realiza un ensayo de corriente inducida como el ensayo electromagnético.

<Primera realización>

- 25 La Figura 1 es un diagrama esquemático para ilustrar una configuración de boceto de un aparato de ensayo de corriente inducida que se va a utilizar en un método de detección de carburización relacionado con una primera realización de la presente invención.

Como se muestra en la Figura 1, un aparato 100 de ensayo de corrientes inducidas de la presente realización incluye un sensor 1 de detección y una sección 2 de procesamiento de señales.

- 30 El sensor 1 de detección está configurado para aplicar un campo magnético alterno a un tubo de acero P, con lo que se induce corriente inducida y detectar la corriente inducida que ha sido inducida en el tubo de acero P. Para ser específicos, el sensor 1 de detección de la presente realización incluye una bobina de excitación que aplica un campo magnético alterno al tubo de acero P insertado y una única bobina 11 de detección que detecta la corriente inducida que ha sido inducida en el tubo de acero insertado P. La bobina de excitación y la bobina 11 de detección pueden proporcionarse por separado o la bobina 11 de detección puede combinar la función de la bobina de excitación.

- 35 La sección 2 de procesamiento de señal está configurada para hacer pasar una corriente alterna a través del sensor 1 de detección y detectar si ocurre o no carburización en el tubo de acero P (en la superficie interior del tubo de acero P) con base en una señal de detección (una señal de valor absoluto) emitida desde el sensor 1 de detección. Para ser específicos, la sección 2 de procesamiento de señales de la presente realización incluye un oscilador 21, un amplificador 22, un detector 23 de ondas síncronas, un rotador 24 de fase, un convertidor A/D 26, y una sección 27 de determinación.

- 40 El oscilador 21 suministra una corriente alterna de alta frecuencia al sensor 1 de detección (específicamente, la bobina de excitación del sensor 1 de detección). Esto provoca que se aplique un campo magnético alterno al tubo de acero P como se ha descrito anteriormente, y se induce corriente inducida en el tubo de acero P.

- 45 Una señal de valor absoluto emitida desde el sensor 1 de detección (específicamente, la bobina 11 de detección del sensor 1 de detección) es amplificada por el amplificador 22 y después es enviada al detector 23 de ondas síncronas.

- 50 El detector 23 de ondas síncronas realiza la detección de ondas síncronas de la señal de emisión del amplificador 22 con base en la señal de referencia emitida desde el oscilador 21. Específicamente, una primera señal de referencia que tiene la misma frecuencia y la misma fase que las de la corriente alterna que se suministra al sensor 1 de detección y una segunda señal de referencia cuya fase se desplaza 90° desde la fase de la primera señal de referencia se emiten desde el oscilador 21 al detector 23 de ondas síncronas. A continuación, el detector 23 de

ondas síncronas separa y extrae una componente de señal (una primera componente de señal) que está en fase con la fase de la primera señal de referencia y una componente de señal (una segunda componente de señal) que está en fase con la fase de la segunda señal de referencia. Las componentes de señal primera y segunda separadas y extraídas se emiten al rotador 24 de fase, respectivamente.

5 El rotador 24 de fase hace rotar (desplaza) las fases de la primera componente de señal y la segunda componente de señal emitidas desde el detector 23 de ondas síncronas por la misma cantidad predeterminada y emite la primera componente de señal como una señal X y la segunda componente de señal como una señal Y al convertidor A/D 26. Se observa que la señal X y la señal Y que se emiten desde el rotador 24 de fase corresponden a componentes de una forma de onda de señal proyectada al eje X y al eje Y, respectivamente en un plano X-Y de vector representado por dos ejes mutuamente ortogonales (el eje X y el eje Y), donde la forma de onda de la señal se denomina figura de Lissajous y se utiliza para la inspección de defectos (es decir, una forma de onda de señal de valor absoluto (para ser precisos, una forma de onda de señal de valor absoluto después de la amplificación por el amplificador 22) del sensor 1 de detección representado por una coordenada polar ( $Z, \theta$ ) donde Z es amplitud y  $\theta$  es fase).

15 El convertidor A/D 26 realiza la conversión A/D de la señal de emisión del rotador 24 de fase y lo transmite a la sección 27 de determinación.

La sección 27 de determinación detecta si la carburización ocurre o no en la superficie interna del tubo de acero P con base en los datos de emisión del convertidor A/D 26 (es decir, datos digitales obtenidos a través de la conversión A/D de la señal X y señal Y. En adelante, en la presente memoria, denominados datos de señal X y datos de señal Y). Para ser específicos, la sección 27 de determinación de la presente realización compara los datos introducidos de señal X con un valor de umbral Th3 que está predeterminado y almacenado como se describe a continuación y determina que se ha producido carburización en la superficie interior del tubo de acero P si los datos de señal X exceden el valor de umbral Th3 y que no ha ocurrido carburización en la superficie interna del tubo de acero P si los datos de señal X están dentro del valor de umbral Th3.

25 En lo que sigue en la presente memoria, se describirá el método para determinar el valor de umbral Th3 descrito anteriormente.

Al determinar el valor de umbral Th3 descrito anteriormente, se llevarán a cabo los procedimientos del primero al séptimo que se describieren a continuación.

#### (1) Primer procedimiento

30 Se selecciona como material de referencia P0 un material que tiene propiedades electromagnéticas equivalentes a las del tubo de acero P (el metal base del tubo de acero P) que es el material de ensayo y no está carburizado. Para ser específicos, se selecciona como material de referencia P0 un tubo de acero que tiene los mismos constituyentes y dimensiones (diámetro externo y diámetro interno) en términos de especificación de diseño que los del material de ensayo. A continuación, al menos tres materiales magnéticos que tienen cada uno una fuerza magnética diferente son unidos a una superficie objetivo para la detección de carburización (la superficie interior en la presente realización) del material de referencia P0.

La Figura 2 es un diagrama esquemático para ilustrar el boceto de un ejemplo de un material de referencia P0 al que están unidos materiales magnéticos. En el ejemplo mostrado en la Figura 2, se usan como material magnético cintas magnéticas M1 a M4 que tienen cada una un número diferente de devanados. Cada cinta magnética M1 a M4 se inserta en una posición diferente en la superficie interna del material de referencia P0 y se une a la misma.

#### 40 (2) Segundo procedimiento

##### (2-1) Medición de la fuerza magnética del material magnético

A continuación, se mide la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4 que está unida al material de referencia P0 en el primer procedimiento. Para ser específicos, un medidor de ferrita está dispuesto opuesto a la superficie exterior del material de referencia P0 correspondiente a la parte donde se inserta cada cinta magnética M1 a M4 y se mide la fuerza magnética (cantidad de ferrita) de cada cinta magnética M1 a M4 con el medidor de ferrita.

La Tabla 1 muestra un ejemplo del resultado de medir la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4 que está unida al material de referencia P0 como se ha descrito anteriormente. Se observa que en el ejemplo mostrado en la Tabla 1, la fuerza magnética se mide usando un medidor de ferrita que aplica un campo magnético alterno de 10 Hz al material de referencia P0.

50

[Tabla 1]

Cinta magnética	Número de devanados (T)	Fuerza magnética (% Fe)
M1	5	0,035
M2	10	0,045
M3	30	0,060
M4	50	0,067

(2-2) Adquisición del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida del material magnético

5 Por otra parte, el aparato 100 de ensayo de corriente inducida descrito anteriormente se utiliza para realizar un ensayo de corriente inducida sobre el material de referencia P0 unido con cintas magnéticas M1 a M4 y, de este modo, se adquieren los valores de respuesta del ensayo de corrientes inducidas de cada cinta magnética M1 a M4. A continuación, se describirá este procedimiento con referencia a las figuras 1 y 3.

10 La Figura 3 es un diagrama esquemático para representar una señal X y una señal Y emitidas desde el rotador 24 de fase, que se incluye en el aparato 100 de ensayo de corriente inducida mostrado en la Figura 1, en un plano X-Y vector.

15 Cuando se adquieren valores de respuesta del ensayo de corrientes inducidas de cada cinta magnética M1 a M4, en primer lugar, en un estado en el que el material de referencia P0 no se inserta en el sensor 1 de detección, la cantidad de equilibrio de un circuito de equilibrio (no mostrado) que está dispuesto en la etapa anterior del amplificador 22 se ajusta de tal manera que la señal X y la señal Y llegan a cero (de manera que un punto correspondiente a la punta frontal de un vector cuya componente de eje X y componente de eje Y son la señal X y la señal Y, respectivamente, está situado en un punto de equilibrio (un punto de origen) mostrado en la Figura 3) de manera que la primera componente de señal y la segunda componente de señal, que son emitidas desde el detector 23 de ondas síncronas, son cero, respectivamente.

20 A continuación, una parte del material de referencia P0 a la que no están unidas las cintas magnéticas M1 a M4 se inserta en el sensor 1 de detección y se mantiene en él, y el factor de amplificación del amplificador 22 y la cantidad de rotación de fase del rotador 24 de fase se ajustan de tal manera que la señal X es cero y la señal Y es un voltaje predeterminado (por ejemplo, 5V) (tal que la punta frontal de un vector se sitúa en el punto de referencia mostrado en la Figura 3).

25 Después de que se haya realizado de antemano el ajuste descrito anteriormente, el material de referencia P0 se mueve en la dirección axial de tal manera que cada parte del material de referencia P0 a la que están unidas las cintas magnéticas M1 a M4 se inserta sucesivamente en el sensor 1 de detección y es sostenido sucesivamente con cada parte que se inserta en el sensor 1 de detección, de modo que se adquieren datos de señales X y datos de señales Y correspondientes a cada parte. Se observa que, como se muestra en la Figura 3, aunque la posición de la punta frontal del vector varía dependiendo de la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4, la magnitud de variación es mayor en la dirección del eje X que en la dirección del eje Y. Por esta razón, en la presente realización, se usan datos de señal X aparte de los datos de señal X y los datos de señal Y adquiridos, como se ha descrito anteriormente, como valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas de cada cinta magnética M1 a M4.

(3) Tercer procedimiento

35 A continuación, con base en los valores de fuerza magnética medidos (véase la Tabla 1) y en los valores respuesta del ensayo de corriente inducida de cada cinta magnética M1 a M4 obtenidos en el segundo procedimiento descrito anteriormente, se calcula una correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida como se muestra en la Figura 4. Se observa que el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida del ejemplo mostrado en la Figura 4 es un valor obtenido realizando un ensayo de corriente inducida suministrando una corriente alterna de 1 kHz al sensor 1 de detección.

40 En la correlación (véase la Figura 4) entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida, que se obtiene ejecutando los procedimientos primero a tercero descritos anteriormente, aunque el valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas se verá afectado por las propiedades electromagnéticas del material de referencia P0 (las propiedades electromagnéticas del tubo de acero P que es el material de ensayo), su punto de referencia (véase la Figura 3) permanece sustancialmente fijo.

45 (4) Cuarto procedimiento

Por otra parte, la fuerza magnética se mide sobre una pluralidad de materiales carburizados, cada uno de los cuales tiene una profundidad carburizada diferente. Para ser específicos, se prepara una pluralidad de tubos de acero



(materiales carburizados) de los que se espera tengan respectivamente diferentes profundidades carburizadas en la superficie interna. Entonces, de forma similar a la del caso en que se mide la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4 unida al material de referencia P0 en el segundo procedimiento descrito anteriormente, un medidor de ferrita está dispuesto opuesto a la superficie exterior del material carburizado y se mide mediante el medidor de ferrita la fuerza magnética (valor de ferrita) de cada material carburizado . Se observa que, como material carburizado, es preferible seleccionar un tubo de acero que sea idéntico en dimensiones (diámetro externo y diámetro interno), en términos de especificación de diseño, al material de referencia P0. Dado que esto facilitará la adaptación de la distancia entre el medidor de ferrita y el material carburizado con la distancia entre el medidor de ferrita y la superficie interior del material de referencia P0 en el segundo procedimiento, es más probable que la condición de medición de la fuerza magnética en el segundo y el cuarto procedimientos sea constante, y por lo tanto se espera lograr una mejor precisión de medición.

A continuación, se mide la profundidad carburizada real de cada material carburizado cortando cada material carburizado cuya fuerza magnética ha sido medida y realizando la observación de la microestructura del mismo.

La Tabla 2 muestra un ejemplo del resultado de medir la profundidad carburizada y la fuerza magnética de cada material carburizado como se ha descrito anteriormente. Hay que señalar que la fuerza magnética mostrada en la Tabla 2 se mide usando el mismo medidor de ferrita que se usa en la medición del ejemplo mostrado en la Tabla 1 descrito anteriormente.

[Tabla 2]

Material carburizado	Profundidad carburizada (µm)	Fuerza magnética (% Fe)
No1	0	0,05
No2	0	0,04
No3	5	0,15
No4	15	0,19

20 (5) Quinto procedimiento

A continuación, con base en las profundidades carburizadas y en el valor de fuerza magnética medido de cada material carburizado (véase la Tabla 2) obtenido en el cuarto procedimiento descrito anteriormente, se calcula una correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido como se muestra en la Figura 5.

25 Es menos probable que la correlación (véase la Figura 5) entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido mediante la realización de los procedimientos cuarto y quinto descritos anteriormente, se vea afectada por las propiedades electromagnéticas del metal base de cada material carburizado y por lo tanto, por las propiedades electromagnéticas del tubo de acero P (el metal base del tubo de acero P) que es el material de ensayo.

(6) Sexto procedimiento

30 A continuación, con base en la correlación (véase la Figura 5) entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido por el quinto procedimiento descrito anteriormente, se determina un valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido correspondiente a un valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que va a ser detectada. En el ejemplo mostrado en la Figura 5, suponiendo que el valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar es Th1 = 0 (µm), el valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido correspondiente a este se da como Th2 = 0,05 (% Fe).

(7) Séptimo procedimiento

40 Por último, con base en la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida (véase la Figura 4) obtenido en el tercer procedimiento descrito anteriormente, se determina el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida correspondiente al valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido determinado en el sexto procedimiento. En el ejemplo mostrado en la Figura 4, se da el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida correspondiente al valor de umbral Th2 = 0,05 (% Fe) del valor de fuerza magnética medido determinado como se ha descrito anteriormente, como Th3 = -1 (V).

45 Como se ha descrito hasta ahora, se determina el valor de umbral Th3 y, como se ha descrito anteriormente, se almacena de antemano en la sección 27 de determinación.

Se observa que la realización de los procedimientos sexto y séptimo dará como resultado que se determina el valor

de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida correspondiente al valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar, como en las técnicas anteriores.

Según el método relativo a la presente realización, sin embargo, primero en el sexto procedimiento, con base en la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido como se muestra en la Figura 5, se determina un valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido correspondiente a un valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar. Puesto que no es probable que la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido, como se muestra en la Figura 5, se vea afectada por las propiedades electromagnéticas del tubo de acero P, que es el material de ensayo, como se ha descrito anteriormente, es posible determinar con precisión el valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido correspondiente al valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar. A continuación, en el séptimo procedimiento, con base en la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida como se muestra en la Figura 4, se determina un valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas correspondiente al valor de umbral Th2 del valor medido de la fuerza magnética. En la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas como se muestra en la Figura 4, aunque el valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas se ve afectado por las propiedades electromagnéticas del tubo de acero P que es el material de ensayo descrito, puesto que el punto de referencia del mismo permanece sustancialmente fijo, es posible determinar con precisión el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas correspondiente al valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido.

Por lo tanto, en el método relativo a la presente realización, ejecutando los procedimientos sexto y séptimo, es posible, en contraste con las técnicas anteriores, determinar con precisión el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corrientes inducidas correspondiente al valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar.

La sección 27 de determinación compara el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida (datos de señal X), que se introduce desde el convertidor A/D26, con el valor de umbral Th3 y si el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida excede el valor de umbral Th3 (es inferior a -1 V en el ejemplo mostrado en la Figura 4), determina que se ha producido una carburización en la superficie interior del tubo de acero P. Por otra parte, si el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida está dentro del valor de umbral Th3 (si no es inferior a -1 V en el ejemplo mostrado en la Figura 4), la sección 27 de determinación determina que no ha habido carburización en la superficie interior del tubo de acero P. Como se ha descrito anteriormente, en el método relativo a la presente realización, dado que el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida que sirve como criterio para determinar si ocurre carburización o no, se determina con mayor precisión que en las técnicas anteriores, es posible detectar con precisión si ocurre carburización o no.

La Figura 6 muestra un ejemplo del resultado de detectar si ocurre o no carburización del tubo de acero P que es el material de ensayo usando el valor de umbral Th3 que se determina como se ha descrito anteriormente. Como se muestra en la Figura 6, se observa que utilizando el valor de umbral Th3 como criterio de determinación, es posible detectar con exactitud si ocurre carburización o no.

<Segunda realización>

En el método de detección de carburización en relación con la presente realización, la configuración del aparato de ensayo de corriente inducida que se va a utilizar es diferente de la de la primera realización. Debido a esto, aunque el procedimiento de adquisición del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida del material magnético es diferente del de la primera realización, otros procedimientos son los mismos que los de la primera realización. A continuación, la descripción se centrará en puntos diferentes con respecto a la primera realización.

La Figura 7 es un diagrama esquemático para ilustrar la configuración de boceto de un aparato de ensayo de corriente inducida que se utilizará en el método de detección de carburización relacionado con la segunda realización de la presente invención.

Como se muestra en la Figura 7, el aparato 100A de ensayo de corriente inducida de la presente realización incluye también un sensor 1A de detección y una sección 2A de procesamiento de señal, como con el aparato 100 de ensayo de corriente inducida de la primera realización.

El sensor 1A de detección de la presente realización está configurado también para inducir corriente inducida aplicando un campo magnético alterno al tubo de acero P y para detectar la corriente inducida que ha sido inducida en el tubo de acero P. Sin embargo, una configuración específica del sensor 1A de detección es diferente del sensor 1 de detección de la primera realización. El sensor 1A de detección de la presente realización incluye una bobina de excitación que aplica un campo magnético alterno al tubo de acero P insertado a su través y un par de bobinas 11a y 11b de detección que detectan la corriente inducida que ha sido inducida en el tubo de acero P que es insertado a su través. El sensor 1A de detección está configurado para emitir una diferencia entre las señales de detección en cada bobina de detección 11a y 11b (una señal diferencial). La bobina de excitación y las bobinas 11a y 11b de detección pueden proporcionarse como cuerpos separados, o las bobinas 11a y 11b de detección pueden combinar

la función de la bobina de excitación.

La sección 2A de procesamiento de señal está configurada para pasar una corriente alterna a través del sensor 1A de detección y detectar si ocurre carburización o no en el tubo de acero P (en la superficie interior del tubo de acero P). Para ser específicos, la sección 2A de procesamiento de señal de la presente realización incluye un filtro 25 de paso alto que elimina componentes de baja frecuencia predeterminados de una señal X y una señal Y emitidas desde el rotador 24 de fase y los transmite a un convertidor A/D 26. Puesto que la sección 2A de procesamiento de señal de la presente realización tiene la misma configuración que la de la sección 2 de procesamiento de señal de la primera realización, exceptuando que incluye el filtro 25 de paso alto, se omitirá una descripción detallada de la misma.

La sección 27 de determinación, que se incluye también en la sección 2A de procesamiento de señal de la presente realización, compara los datos de señal X introducidos desde el convertidor A/D 26 con el valor de umbral Th3 predeterminado y almacenado y cuando los datos de la señal X exceden el valor de umbral Th3, determina que ha ocurrido carburización en la superficie interna del tubo de acero P y cuando los datos de la señal X están dentro del valor de umbral Th3, determina que no ha ocurrido carburización en la superficie interior del tubo de acero P.

A continuación, se describirá el método para determinar el valor de umbral Th3 en la presente realización.

El punto en el que, cuando se determina el valor de umbral Th3 antes descrito, se realiza el primer procedimiento anteriormente descrito (el procedimiento de fijación de las cintas magnéticas M1 a M4 a un material de referencia P0) es el mismo que en la primera realización. Además, en el segundo procedimiento descrito anteriormente, el punto en el que se realiza el procedimiento de medición de la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4 unida al material de referencia P0 por un medidor de ferrita es el mismo que en la primera realización. Mediante la realización de los procedimientos descritos anteriormente, es posible obtener el resultado como se muestra en la Tabla 1 descrita anteriormente.

En la presente realización, sin embargo, el contenido del procedimiento de adquisición del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida de cada cinta magnética M1 a M4 unida al material de referencia P0 en el segundo procedimiento descrito anteriormente es diferente con respecto al de la primera realización. A continuación, se describirá este procedimiento diferente con referencia a las figuras 7 y 8.

La Figura 8 es un diagrama esquemático en el que están representadas en un plano X-Y vector una señal X y una señal Y emitidas desde el rotador 24 de fase, que se incluye en el aparato de ensayo de corriente inducida 100A mostrado en la Figura 7. Cuando se adquieren valores de respuesta del ensayo de corriente inducida de cada cinta magnética M1 a M4, primero se mantiene el material de referencia P0 en un estado en el que una parte del material de referencia P0 a la que no están fijadas las cintas magnéticas M1 a M4, está siendo insertado a través de las bobinas 11a y 11b de detección del sensor 1 de detección, y la cantidad de equilibrio de un circuito de balance (no mostrado) dispuesto en la etapa anterior del amplificador 22, se ajusta de tal manera que la señal X y la señal Y se conviertan en cero (de tal forma que un punto correspondiente a la punta frontal de un vector del cual la componente del eje X y la componente del eje Y son la señal X y la señal Y, respectivamente, se encuentra en un punto de equilibrio (un punto de origen) mostrado en la Figura 8) de manera que la primera componente de señal y la segunda componente de señal, que son emitidas desde el detector 23 de ondas síncronas, son cero, respectivamente.

A continuación, después de que el material de referencia P0 es extraído de las bobinas 11a y 11b de detección, el material de referencia P0 es movido de nuevo en la dirección axial, y el factor de amplificación del amplificador 22 y la cantidad de rotación de fase del rotador 24 de fase se ajustan de modo que una forma de onda de señal (una señal de parte final mostrada en la Figura 8), que es un lugar del punto obtenido cuando el extremo del material de referencia P0 pasa sucesivamente a través de las bobinas 11a y 11b de detección, es sustancialmente simétrica con respecto al eje Y, y el componente del eje Y llega a ser un voltaje predeterminado (por ejemplo, 5 V).

Después de realizar de antemano el ajuste anteriormente descrito, el material de referencia P0 se mueve en la dirección axial de tal manera que cada parte del material de referencia P0 a la que están unidas las cintas magnéticas M1 a M4 se inserta sucesivamente en el sensor 1 de detección para adquirir datos de señal X y datos de señal Y correspondientes a cada parte. Se observa que, como se muestra en la Figura 8, aunque la posición de la punta frontal de un vector varía con un punto de equilibrio como punto de referencia dependiendo de la fuerza magnética de cada cinta magnética M1 a M4, la cantidad de variación es mayor en la dirección del eje X que en la dirección del eje Y. Por esta razón, en la presente realización también, a partir de los datos de señal X y los datos de señal Y que se adquieren como se ha descrito anteriormente, los datos de señal X se usan como el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida de cada cinta magnética M1 a M4.

El punto en el que después del procedimiento de adquisición del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida de cada cinta magnética M1 a M4 unida al material de referencia P0 se realiza como se ha descrito anteriormente, el tercer procedimiento descrito anteriormente (procedimiento para calcular la correlación entre el valor de la fuerza magnética medido y el valor de emisión del ensayo de corriente inducida) es el mismo que en la primera realización. La Figura 9 muestra un ejemplo de la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta

del ensayo de corriente inducida que se calculan en la presente realización. Se observa que el valor de respuesta del ensayo de corriente inducida mostrado en la Figura 9 es el valor obtenido realizando el ensayo de corriente inducida suministrando una corriente alterna de 10 kHz al sensor 1A de detección.

- 5 El punto en el que, al determinar el valor de umbral Th3 de la presente realización, además de los procedimientos descritos anteriormente, se ejecutan el cuarto procedimiento descrito anteriormente (el procedimiento de medir la fuerza magnética sobre una pluralidad de materiales carburizados), el quinto procedimiento (procedimiento de cálculo de la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido), el sexto procedimiento (procedimiento de determinación del valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido correspondiente al valor de umbral Th1 de la profundidad carburizada que se va a detectar) y el séptimo
- 10 procedimiento (el procedimiento para determinar el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida correspondiente al valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido), es el mismo que en la primera realización. En el ejemplo mostrado en la Figura 9, el valor de umbral Th3 del valor de respuesta del ensayo de corriente inducida correspondiente al valor de umbral Th2 del valor de fuerza magnética medido  $Th2 = 0.05\%$  (%Fe) se da como  $Th3 = 2.5$  (V).
- 15 La Figura 10 muestra un ejemplo del resultado de la detección de si ocurre o no la carburización de un tubo de acero P que es el material de ensayo, utilizando el valor de umbral Th3 obtenido como se ha descrito anteriormente. Se revela, tal como se muestra en la Figura 10, que utilizando el valor de umbral Th3 como criterio de determinación, es posible detectar con precisión si ocurre carburización o no.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para detectar si ocurre carburización o no en un material de ensayo mediante un ensayo electromagnético, comprendiendo el método de detección de carburización:
- 5 un primer procedimiento de seleccionar un material que tiene propiedades electromagnéticas equivalentes a las de un material de ensayo y que no está carburizado como material de referencia y que une al menos tres materiales magnéticos que tienen cada uno una fuerza magnética diferente a una superficie objetivo para la detección de carburización del material de referencia;
- 10 un segundo procedimiento para medir la fuerza magnética, que se correlaciona con la cantidad de ferrita, de cada material magnético, que está unido al material de referencia en el primer procedimiento, y realizar un ensayo electromagnético sobre cada material magnético para adquirir un valor de respuesta del mismo;
- un tercer procedimiento de calcular, con base en los valores de fuerza magnética medidos y los valores de respuesta electromagnética del ensayo de cada material magnético, que se obtienen en el segundo procedimiento, una correlación entre los valores de fuerza magnética medidos y el valor de respuesta del ensayo electromagnético;
- 15 un cuarto procedimiento para medir la fuerza magnética sobre una pluralidad de materiales carburizados que tienen cada uno una profundidad carburizada diferente;
- un quinto procedimiento de calcular, con base en las profundidades carburizadas y los valores de fuerza magnética medidos de cada material carburizado que se obtienen en el cuarto procedimiento, una correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido;
- 20 un sexto procedimiento para determinar, con base en la correlación entre la profundidad carburizada y el valor de fuerza magnética medido obtenido en el quinto procedimiento, un valor de umbral del valor de fuerza magnética medido correspondiente a un valor de umbral de una profundidad carburizada que se va a detectar;
- un séptimo procedimiento para determinar, con base en la correlación entre el valor de fuerza magnética medido y el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido en el tercer procedimiento, un valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético correspondiente al valor de umbral del valor de fuerza magnética medido determinado en el sexto procedimiento; y
- 25 un octavo procedimiento para detectar si ocurre o no carburización en el material de ensayo con base en una correlación de magnitud entre el valor de respuesta del ensayo electromagnético obtenido mediante la realización de un ensayo electromagnético sobre el material de ensayo y el valor de umbral del valor de respuesta del ensayo electromagnético determinado en el séptimo procedimiento.
- 30 2. El método de detección de carburización según la reivindicación 1, en donde el primer procedimiento, uno cualquiera de una cinta magnética, un núcleo de ferrita y una muestra de un material metálico magnético está unido al material de referencia como el material magnético.
- 35 3. El método de detección de carburización según la reivindicación 1 o 2, en donde en el segundo procedimiento y en el octavo procedimiento, se realiza un ensayo electromagnético utilizando un sensor que emite una señal de valor absoluto o un sensor que emite una señal diferencial.

Figura 1

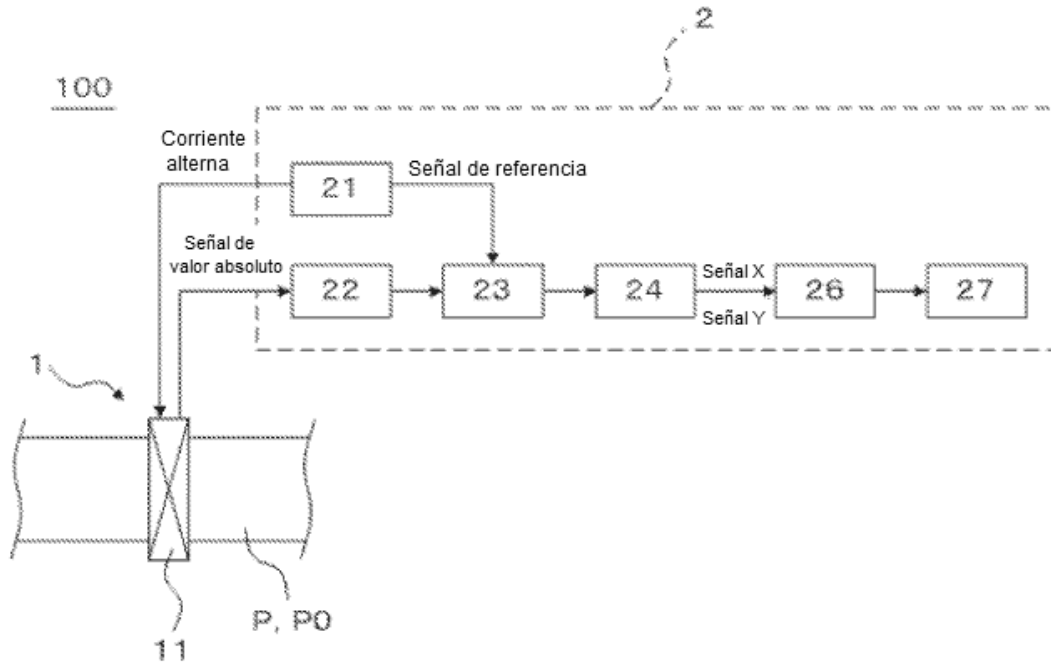
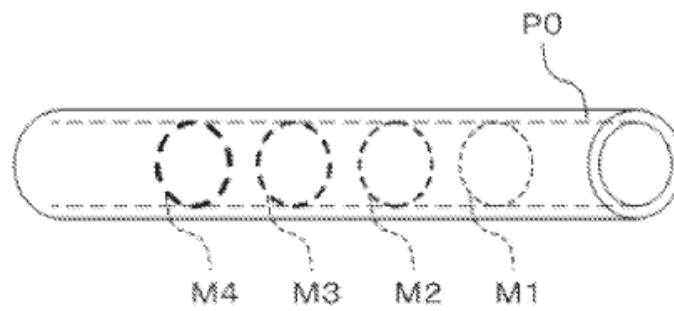
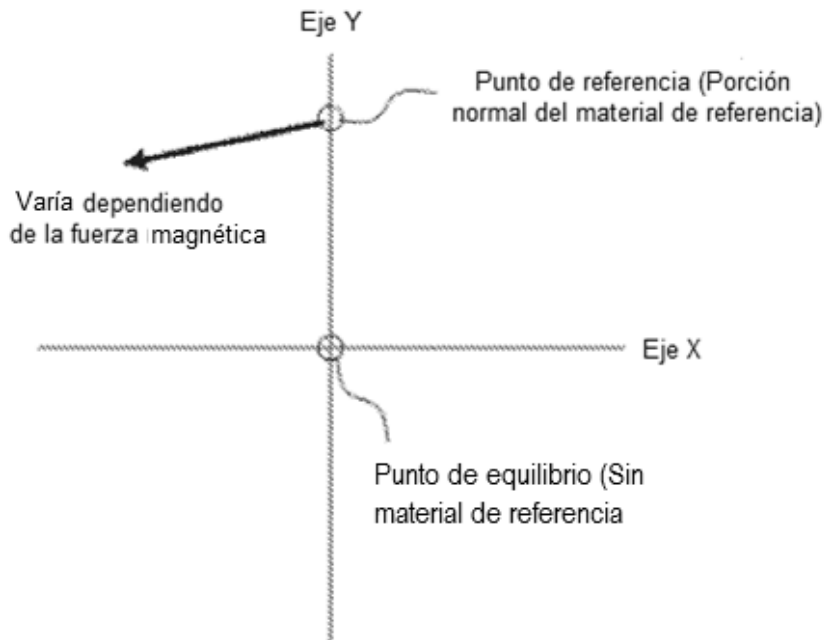


Figura 2



**Figura 3**



**Figura 4**

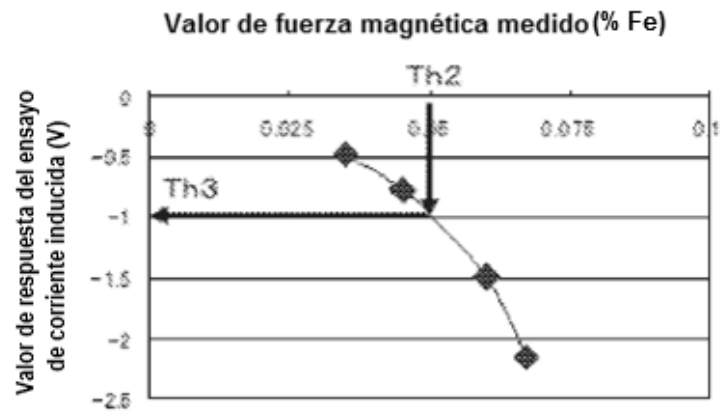


Figura 5

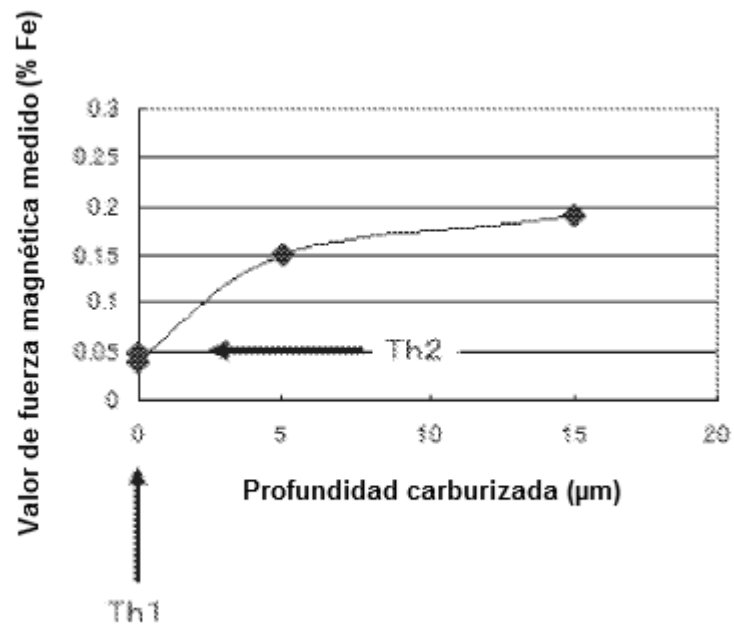


Figura 6

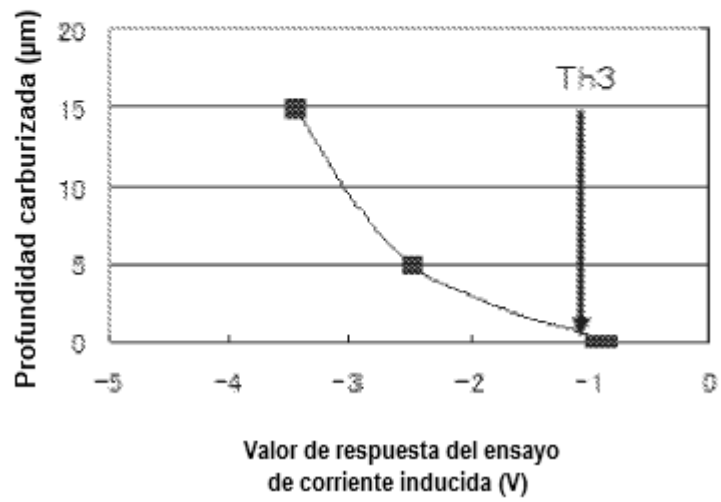




Figura 7

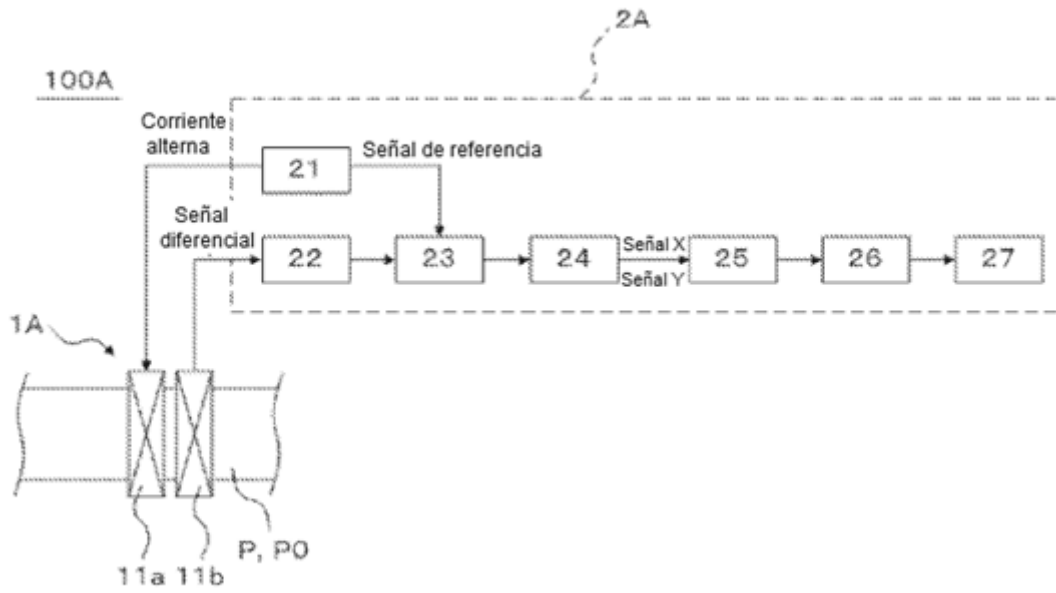


Figura 8

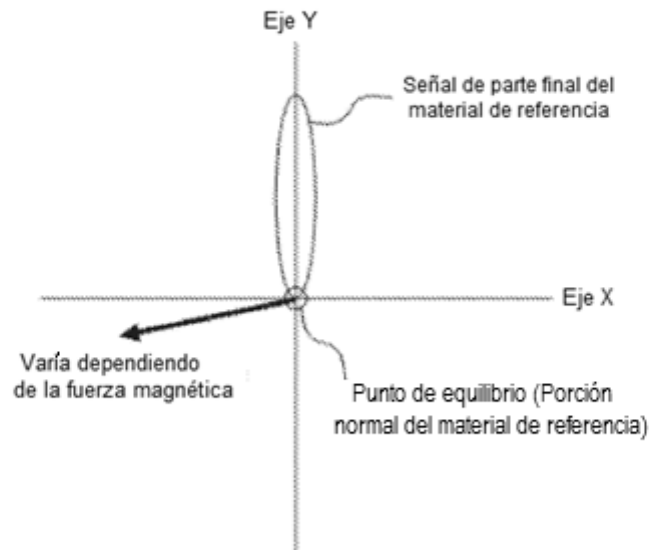


Figura 9

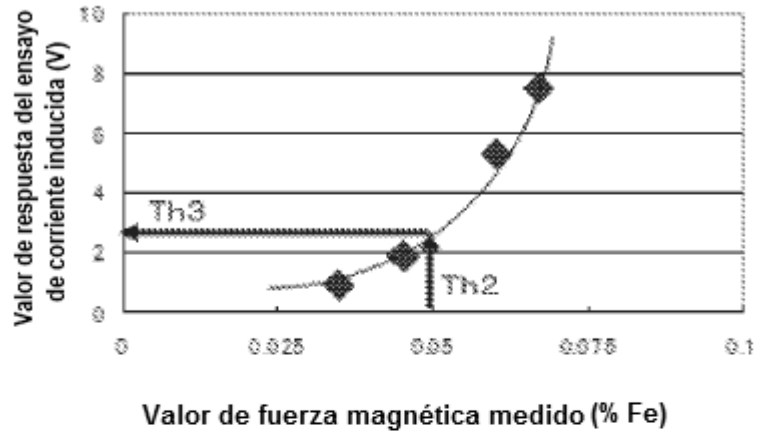


Figura 10

