

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 632**

51 Int. Cl.:

G01L 1/00 (2006.01)

G01M 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.11.2014 PCT/JP2014/079458**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2015 WO15072391**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2014 E 14862243 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.08.2018 EP 3070447**

54 Título: **Método de medir el esfuerzo residual**

30 Prioridad:

14.11.2013 JP 2013236300

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

18.10.2018

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (100.0%)
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chom
Chuo-ku, Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**YAMADA, MARIKO;
OKITA, KEISUKE;
MURAKAMI, KENJI y
MIYAGAWA, MASAHIRO**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 686 632 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 medir el esfuerzo residual

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un método de medir el esfuerzo residual.

Técnica anterior

10 Se desea medir exactamente el esfuerzo residual dentro de una estructura. Esto se debe a que el esfuerzo residual afecta a la resistencia y a la duración de la estructura. Una deformación que produce el esfuerzo residual, tal como una deformación térmica o una deformación plástica, recibe el nombre de deformación inherente; se propone un método de deformación inherente para calcular el esfuerzo residual de la deformación inherente. El método de deformación inherente incluye medir una deformación por liberación (una deformación elástica) producida por liberación del esfuerzo residual, que deriva una distribución de la deformación inherente de la deformación por liberación medida según un análisis inverso usando un método de elementos finitos, y calcular una distribución del esfuerzo residual según un análisis directo usando el método de elementos finitos.

20 Por ejemplo, como un método de medir el esfuerzo residual en un elemento parecido a eje en base al método de deformación inherente, se conoce un método T-L que utiliza un trozo de medición (un trozo en T) obtenida cortando axialmente una estructura de la misma y un trozo de medición (un trozo en L) obtenida cortando la estructura ortogonalmente a una dirección de corte del trozo en T. Específicamente, se propone un método incluyendo medir respectivas deformaciones por liberación con relación al trozo en T y el trozo en L, derivar una deformación inherente de las deformaciones por liberación usando el método de elementos finitos en un modelo en una coordenada cilíndrica, y además calcular el esfuerzo residual (véase, por ejemplo, la Publicación de Patente japonesa no examinada número 2005-181172, "Measurement of Welding Residual Stress by Inherent Strain Method").

30 El método de deformación inherente no siempre requiere, a causa de su principio, medir directamente una deformación por liberación de una porción que se desea medir. Sin embargo, dado que la medición de una deformación por liberación implica un error, la medición de una deformación por liberación en una posición con esfuerzo residual más alto en un estado inicial permite mejorar la exactitud de la predicción de esfuerzo residual. Por lo tanto, es deseable poner un mayor número de puntos de medición en una porción conteniendo un gradiente de esfuerzo residual pronunciado. Sin embargo, a causa de un límite físico al estrechar un intervalo de corte de un objeto, la aplicación del método TL convencional puede dar lugar a una situación donde la porción conteniendo un gradiente pronunciado del esfuerzo residual queda incluida en un solo trozo en T. Esto puede hacer que la exactitud del cálculo de esfuerzo residual sea insuficiente dependiendo de la forma de una estructura.

40 El inconveniente es especialmente notorio en el caso de medir el esfuerzo residual en una estructura incluyendo una sección de eje columnar y una sección tabular (una pestaña) que sobresale radialmente hacia fuera más allá de la superficie circunferencial exterior de la sección de eje, donde una superficie incurvada para facilitar la concentración de esfuerzos está dispuesta en una porción que interconecta la sección de eje y la sección tabular. Específicamente, es probable que tal estructura tenga una parte más débil en la superficie incurvada, y, por lo tanto, a menudo hay que aplicar una técnica de tratamiento superficial para incrementar la resistencia de la parte más débil, es decir, la superficie incurvada. La aplicación de tal técnica de tratamiento superficial a la superficie incurvada produce una distribución concentrada de esfuerzo residual cerca de la superficie incurvada. Según el análisis que utiliza el modelo de coordenada cilíndrica en base al método T-L convencional, la inclusión de toda la superficie incurvada en un solo trozo en L puede producir el inconveniente de no analizar con suficiente exactitud una distribución de esfuerzo residual local cerca de la superficie incurvada.

Lista de citas

Documento de Patente

55 Documento de Patente 1: Publicación de Patente japonesa no examinada número 2005-181172

No Documento de Patente

60 No Documento de Patente 1: Keiji Nakacho y cinco más, "Measurement of Welding Residual Stress by Inherent Strain Method", Japan Welding Society Transaction, Marzo 2009, Vol. 27, Primera Edición, p. 104 a 113.

Resumen de la invención

65 Un objeto de la presente invención es proporcionar un método de medir el esfuerzo residual capaz de medir de forma exacta la distribución del esfuerzo residual cerca de una superficie incurvada de un objeto incluyendo una

sección de eje columnar y una sección tabular que sobresale radialmente más allá de la sección de eje, estando dispuesta la superficie incurvada en una porción que interconecta la sección de eje y la sección tabular.

5 Este método es un método de medir el esfuerzo residual en un objeto que incluye una sección de eje columnar y una sección tabular que sobresale radialmente hacia fuera más allá de una superficie circunferencial exterior de la sección de eje en toda la circunferencia, estando provisto el objeto de una superficie incurvada en una porción que interconecta la sección de eje y la sección tabular. El método incluye repetir un ciclo de medición, que incluye: un paso de cortar el objeto para formar por ello una nueva superficie de corte que es una superficie cónica o cilíndrica concéntrica con un eje de la sección de eje, estando la superficie cónica o cilíndrica a través de una posición de referencia que no cambia en cada ciclo de medición repetido; y un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes en la superficie de corte. La posición de referencia es una posición central de un arco que tiene un diámetro más grande entre arcos incluidos en la superficie incurvada en una sección transversal longitudinal central del objeto.

15 **Breve descripción de los dibujos**

[Figura 1] La figura 1 es un diagrama de flujo que representa el flujo de un método de medir el esfuerzo residual en una realización de la presente invención.

20 [Figura 2] La figura 2 es una vista en sección que representa un elemento parecido a eje, cuyo esfuerzo residual se mide con el método de medir el esfuerzo residual de la figura 1.

[Figura 3] La figura 3 es una vista en sección de un objeto cortado del elemento parecido a eje y es un diagrama que representa superficies de corte formadas secuencialmente en un proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación representado en la figura 1.

[Figura 4] La figura 4 es un diagrama de flujo que representa un flujo detallado del proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación representado en la figura 1.

30 [Figura 5A] La figura 5A es una vista en sección que representa un primer ejemplo de una posición de referencia determinada en un proceso de determinación de posición de referencia representado en la figura 4.

[Figura 5B] La figura 5B es una vista en sección que representa un segundo ejemplo de la posición de referencia determinada en el proceso de determinación de posición de referencia representado en la figura 4.

35 [Figura 5C] La figura 5C es una vista en sección que representa un tercer ejemplo de la posición de referencia determinada en el proceso de determinación de posición de referencia representado en la figura 4.

[Figura 6] La figura 6 es una vista en perspectiva que representa un ejemplo de un objeto sobre el que se coloca un extensímetro en un proceso de adhesión de extensímetro representado en la figura 4.

[Figura 7] La figura 7 es una vista en perspectiva que representa un ejemplo de un objeto en el que se han formado ranuras adyacentes en un proceso de formación de ranuras adyacentes en la figura 4.

45 [Figura 8] La figura 8 es una vista en sección del objeto que representa un ejemplo de la formación de las ranuras adyacentes en el proceso de formación de ranuras adyacentes representado en la figura 4.

[Figura 9] La figura 9 es una vista en sección del objeto que representa un ejemplo de un proceso de separación de capa superficial representado en la figura 4.

50 [Figura 10] La figura 10 es una vista en planta que representa un ejemplo de trozos pequeños cortados en rodajas por un proceso de separación de capas en la figura 4.

[Figura 11] La figura 11 es un diagrama de flujo que representa un flujo detallado de un proceso de corte en rodajas de trozos de medición y medición de deformación por liberación representado en la figura 1.

[Figura 12] La figura 12 es una vista en perspectiva en sección parcial que representa un método de corte para un objeto en un proceso de corte en rodajas de trozos de medición de superficie y de trozos de medición interiores de la figura 11.

60 [Figura 13] La figura 13 es una vista en planta parcialmente ampliada que representa una posición donde se coloca un extensímetro en un trozo de medición.

[Figura 14] La figura 14 es una vista en sección esquemática de un elemento parecido a eje que representa una dirección de medición para una deformación por liberación en el proceso de corte sucesivo y medición de

deformación por liberación y el proceso de corte en rodajas de medición y de medición de deformación por liberación en la figura 1.

5 [Figura 15] La figura 15 es un diagrama que representa una distribución de esfuerzo residual medido en un ejemplo del método de medir el esfuerzo residual de la figura 1.

Descripción de realizaciones

10 Una realización de la presente invención se explica en detalle más adelante con referencia a los dibujos cuando sea apropiado.

[Método de medir el esfuerzo residual]

15 La figura 1 es un diagrama de flujo que representa un método de medir el esfuerzo residual para medir el esfuerzo residual en un elemento parecido a eje. El método de medir el esfuerzo residual se explica a continuación en el caso de medir el esfuerzo residual en un elemento parecido a eje 1 representado en la figura 2.

20 El método de medir el esfuerzo residual incluye los pasos S01, S02, S03, S04 y S05 mostrados en la figura 1. El paso S01 es un proceso de muestreo de objetos para muestrear una pluralidad de objetos (trozos de prueba) del elemento parecido a eje 1, donde los objetos se usan en la medición real. El paso S02 es un proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación para medir la deformación por liberación por corte sucesivo usando una parte de los objetos. El paso S03 es un proceso de corte en rodajas de trozos de medición y medición de deformación por liberación para cortar en rodajas un trozo de medición del objeto restante y realizar medición de una deformación por liberación del trozo de medición. El paso S04 es un proceso de derivación de deformación inherente para derivar una distribución de una deformación inherente según un análisis inverso por el método de elementos finitos de una distribución de la deformación por liberación medida en el paso S03. Finalmente, el paso S05 es un proceso de cálculo de esfuerzo residual para calcular una distribución del esfuerzo residual según un análisis directo por el método de elementos finitos de la distribución de la deformación inherente.

30 El elemento parecido a eje 1 representado en la figura 2 incluye un eje columnar 2 y secciones tabulares 3 que sobresalen radialmente hacia fuera más allá de la superficie circunferencial exterior del eje 2 en toda la circunferencia. El elemento parecido a eje 1 está provisto de superficies incurvadas 5 en porciones de conexión que interconectan el eje 2 y las secciones tabulares 3. Específicamente, en el elemento parecido a eje 1 ilustrado en la figura 2, las secciones tabulares 3 están dispuestas en cuatro posiciones respectivas del eje 2, estando las posiciones espaciadas axialmente del eje 2. Cada una de las secciones tabulares 3 se ha formado en forma de disco.

<Proceso de muestreo de objetos>

40 En el proceso de muestreo de objetos, que es el paso S01 en la figura 1, el elemento parecido a eje 1 se corta en posiciones indicadas con líneas de trazos alternativos uno largo y dos cortos en la figura 2 para hacer por ello que tres objetos 4 sean muestreados, donde los objetos 4 tienen la misma forma y pueden considerarse equivalentes con relación al esfuerzo residual. Cada uno de los objetos 4 incluye secciones de eje columnar 2a obtenidas dividiendo el eje 2 y la sección tabular 3 que sobresale radialmente hacia fuera más allá de la superficie circunferencial exterior de la sección de eje 2a en toda la circunferencia en las posiciones axialmente intermedias de las secciones de eje 2a. La superficie incurvada 5 está situada en cada una de las porciones de conexión que interconectan las secciones de eje 2a y las secciones tabulares 3. En esta realización, para conveniencia, dos objetos de entre los tres objetos 4, que son presentados para corte sucesivo y medición de deformación por liberación en el paso S02 explicado más adelante, se denominan primeros objetos 4a, mientras que un objeto presentado para corte en rodajas de trozo de medición y medición de deformación por liberación en el paso S03 explicado más adelante se denomina segundo objeto 4b.

<Proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación>

55 El proceso de medición de deformación por liberación por corte sucesivo, siendo el proceso el paso S01 de la figura 1, incluye repetir múltiples veces un ciclo específico de medición para obtener una deformación por liberación. El ciclo de medición incluye un primer paso de formar secuencialmente superficies de corte 6 representadas en la figura 3 y un segundo paso de cortar en rodajas trozos pequeñas de las superficies de corte 6 y medir respectivas deformaciones por liberación en los trozos pequeños con extensímetros. En el primer paso, el primer objeto 4a se corta repetidas veces según la repetición del ciclo de medición, por lo que las superficies de corte 6 se forman múltiples veces. Las respectivas superficies de corte 6 son superficies cónicas o cilíndricas concéntricas con un eje C de la sección de eje 2a y tienen ángulos de inclinación con respecto al eje C que difieren uno de otro en un ángulo fijo.

65 La figura 4 representa un flujo detallado del paso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación en el paso S02 de la figura 1. El proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación incluye establecer

una posición de referencia (paso S11), determinar un número total de ángulos de corte y ciclos de medición (paso S12), repetir el ciclo de medición el número total (pasos S13 a S19).

5 En el paso S11, la posición de referencia Ps se establece cerca de la superficie incurvada 5 fuera del primer objeto 4a. En el caso donde la superficie incurvada 5 está formada por un arco que tiene un solo radio R1 en una sección transversal longitudinal central (un plano a través del eje C) del primer objeto 4a como se representa en la figura 5A, es preferible establecer la posición de referencia Ps en la posición central del arco. En el caso donde la superficie incurvada 5 está formada por una pluralidad de arcos que tienen radios (R1 y R2) diferentes uno de otro como se representa en la figura 5B, es preferible establecer la posición de referencia Ps en el centro del arco que tiene un radio más grande (R1) en un rango en el que el esfuerzo residual se desea conocer de forma especialmente exacta. 10 También es posible poner la posición de referencia Ps, como se representa en la figura 5C, en el centro de un arco que tiene una longitud más grande en el rango en el que el esfuerzo residual se desea conocer de forma especialmente exacta (un arco que tiene el radio R1 menor que el radio R3).

15 Posteriormente, en el paso S12 de la figura 4, se determinan el ángulo entre las superficies de corte adyacentes 6 entre la pluralidad de superficies de corte 6 representadas en la figura 3 y un número total de los ciclos de medición (el número de veces de corte). El ángulo entre las superficies de corte 6 adyacentes una a otra se pone de tal manera que la distancia entre la superficie incurvada 5 y un punto de cruce de las superficies de corte 6 sea mayor que la profundidad de las ranuras adyacentes en el paso S16 explicado más adelante. El número de ciclos de medición se pone según un rango en el que el esfuerzo residual se desea verificar y un ángulo entre las superficies de corte 6. En el caso de usar una pluralidad de primeros objetos 4a, haciendo que un ángulo de la superficie de corte 6 formada primero sea diferente de otro entre la pluralidad de primeros objetos 4a equivalentes uno a otro e integrando los resultados de la medición del ángulo se puede reducir sustancialmente un intervalo de ángulo de las superficies de corte 6 en el que se obtienen datos de medición. Aunque el ángulo entre las superficies de corte 6 representado en la figura 3 es 20°, el uso de dos primeros objetos 4a permite obtener el resultado de medición de deformación por liberación en un intervalo de 10°. 20 25

Los pasos desde el paso S13 al paso S19 se repiten el mismo número de veces que el número total de ciclos de medición determinado como se ha explicado anteriormente. En resumen, el ciclo de medición se repite el número de veces. 30

En el paso S14, una nueva superficie de corte 6 se forma a partir de la superficie cónica (o la superficie columnar) cortando el primer objeto 4a. En el paso S15, una pluralidad de primeros extensímetros 7 representados en la figura 6 están colocados en la superficie de corte 6 que se corta de nuevo. 35

Los primeros extensímetros 7 están colocados en partes respectivas alineadas a lo largo de una dirección de línea de cresta de la superficie de corte 6 (la superficie cónica o cilíndrica) (la dirección de una línea recta incluida en la superficie cónica). Es deseable colocar los primeros extensímetros 7 en un pequeño intervalo (por ejemplo, un intervalo de 6 mm) en una región más próxima a la superficie incurvada 5 y el intervalo se incrementa con un aumento de la distancia desde la superficie incurvada 5. Dado que el esfuerzo residual y la deformación inherente en el primer objeto 4a que es un sólido de revolución son circunferencialmente uniformes como se representa en la figura, distribuir los primeros extensímetros 7 en una pluralidad de filas dispuestas circunferencialmente y colocar los primeros extensímetros 7 con el fin de cambiar las posiciones respectivas de los primeros extensímetros 7 en la dirección de línea de cresta entre las filas permite reducir sustancialmente el intervalo en la dirección de línea de cresta de puntos de medición. 40 45

Es preferible usar extensímetros capaces de detectar deformación en dos direcciones ortogonales, como los primeros extensímetros 7, y orientar los primeros extensímetros 7 con el fin de permitir que los primeros extensímetros 7 detecten deformaciones en una dirección de línea de cresta D1 de la superficie de corte 6 y una dirección tangencial (una dirección circunferencial) D2 ortogonal a la dirección de línea de cresta. Cuando se dispone de primeros extensímetros 7 de dos ejes capaces de colocarse así, se dispone, por ejemplo, un extensímetro que tiene un diámetro base de 4,5 mm, una longitud de extensímetro de 1 mm, y una anchura de extensímetro de 0,7 mm. 50

En el paso 16 siguiente a la colocación de los primeros extensímetros 7, se forman ranuras adyacentes 8 representadas en la figura 7 a lo largo de las filas de los primeros extensímetros 7 dispuestos en la dirección de línea de cresta. Las ranuras adyacentes 8 se pueden formar, por ejemplo, como se representa en la figura 8, con una fresa de espiga 9. Las ranuras adyacentes 8 también pueden formarse de manera que rodeen los respectivos primeros extensímetros 7. 55 60

En el paso S17, una porción de capa superficial a modo de correa incluyendo las filas de los primeros extensímetros 7 se separa de la superficie de corte 6. La separación se efectúa insertando una herramienta, por ejemplo, una cortadora de ranuras en T 10 representada en la figura 9, en las ranuras adyacentes 8. La cortadora de ranuras en T 10 se hace girar alrededor de un eje predeterminado para realizar corte con el fin de cortar una pieza en una dirección lateral, es decir, una dirección rotacional radial ortogonal al eje. En un ejemplo representado en la figura 8 y la figura 9, una de las ranuras adyacentes 8 en ambos lados de los primeros extensímetros 7 tiene una anchura 65

suficientemente grande para que la cortadora de ranuras en T 10 entre perpendicularmente en la ranura adyacente 8, es decir, en una dirección paralela al eje de rotación. El corte de una capa inferior de los primeros extensímetros 7 desde la dirección lateral con la cortadora de ranuras en T 10 así insertada permite separar de la superficie de corte 6 la porción de capa superficial a modo de correa incluyendo las filas de los primeros extensímetros 7. El corte adicional de la porción de capa superficial a modo de correa separada de esta forma en posiciones entre los primeros extensímetros 7 permite cortar en rodajas una pluralidad de trozos pequeños 11 incluyendo los primeros extensímetros 7 respectivamente, como se representa en la figura 10. Cada uno de los trozos pequeños 11 tiene grosor de, por ejemplo, aproximadamente 2,3 mm, a excepción de los primeros extensímetros 7. El esfuerzo residual se libera de los trozos pequeños 11 cortados en rodajas de esta forma, lo que produce una deformación por liberación en los trozos pequeños 11. La deformación por liberación la miden los primeros extensímetros 7 en el paso S18.

En el paso S19, si el ciclo de medición se repite el mismo número de veces que el número determinado en el paso S12, se completa el proceso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación. Si el número de repetición del ciclo de medición es menor que el número de veces determinado, se repite más el proceso de los pasos S14 a S18.

<Proceso de corte en rodajas de trozos de medición y de medición de deformación por liberación>

La figura 11 representa un flujo detallado del proceso del paso S03 de la figura 1, es decir, el proceso de corte en rodajas de trozos de medición y de medición de deformación por liberación para cortar en rodajas trozos de medición y medir la deformación por liberación.

En el proceso de corte en rodajas de trozos de medición y medición de deformación por liberación, el segundo objeto 4b se corta, como se representa en la figura 12, para cortar en rodajas trozos de medición interiores 12 y trozos de medición de superficie 13. Los trozos de medición interiores 12 se someten a la medición de deformación por liberación dentro del segundo objeto 4b utilizando una pluralidad de segundos extensímetros 7a representados en la figura 13. Los trozos de medición de superficie 13 se someten a la medición de deformación por liberación en la superficie incurvada 5 con la colocación de terceros extensímetros 7b sobre la superficie incurvada 5 como se representa en la figura 12.

Más específicamente, en el proceso de corte en rodajas de trozos de medición y medición de deformación por liberación, los terceros extensímetros 7b representados en la figura 12 están colocados en posiciones respectivas en la superficie incurvada 5 del segundo objeto 4b. Cada una de las posiciones de colocación se pone con el fin de colocar los respectivos centros de los terceros extensímetros 7b en un plano a través del eje C de la sección de eje 2a. Los terceros extensímetros 7b están orientados deseablemente de manera que sean capaces de detectar tanto la deformación en una dirección de la línea de la intersección de la superficie del segundo objeto 4b y el plano a través del eje C como la deformación en una dirección ortogonal a la línea de la intersección (es decir, la dirección circunferencial D2). En el paso S22, el segundo objeto 4b se corta, como se representa en la figura 12, a lo largo de un plano con una sierra, para cortar por ello en rodajas una pluralidad de trozos de medición interiores 12 y una pluralidad de trozos de medición de superficie 13.

En la realización representada gráficamente, cada una de los trozos de medición interiores 12 se define por dos planos (secciones transversales longitudinales centrales) que intersecan uno con otro en un ángulo de 5° en el eje C. Los trozos de medición de superficie 13 se definen por dos planos (secciones transversales longitudinales centrales) que intersecan uno con otro en un ángulo de 10° en el eje C. En esta realización, se cortan en rodajas dos trozos de medición de superficie 13 adyacentes una a otra, y se corta en rodajas un trozo de medición interior 12 de cada uno de ambos lados de los dos trozos de medición de superficie 13. Aunque el intervalo de corte del objeto tiene un límite físico, las trozos de medición interiores 12 pueden cortarse en rodajas cortando la porción central del segundo objeto 4b a lo largo de dos superficies de corte ortogonales a la superficie de corte que separa las dos trozos de medición de superficie 13 una de otra y paralelas al eje C antes de cortar el segundo objeto 4b cortado a lo largo de la sección transversal longitudinal central, para cortar en rodajas las trozos de medición interiores 12 y las trozos de medición de superficie 13. Los trozos de medición interiores así cortadas en rodajas 12 y los trozos de medición de superficie 13 tienen respectivas formas cortadas en respectivas porciones en el lado del eje C.

En el paso S23, la medición del esfuerzo residual por rayos X se lleva a cabo usando los trozos de medición interiores 12 así cortadas en rodajas. La medición del esfuerzo residual por rayos X incluye establecer una coordenada polar y determinar puntos de medición en base a la coordenada polar. La coordenada polar se establece de manera que corresponda a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica que forma la superficie de corte 6 del primer objeto 4a en el paso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación, en la sección transversal longitudinal central de los trozos de medición interiores 12. Los puntos de medición pueden estar espaciados en un intervalo menor que el intervalo entre los primeros extensímetros 7 colocados (por ejemplo, 0,5 mm).

En el paso S24, para utilizar el esfuerzo residual medido en el paso S23 conjuntamente con los otros valores de medición, el esfuerzo residual se convierte a un valor equivalente a la deformación por liberación.

Además, en el paso S25, la pluralidad de segundos extensímetros 7a representados en la figura 13 están dispuestos y colocados sobre los trozos de medición interiores 12. Los segundos extensímetros 7a están dispuestos en respectivos lugares alineados a lo largo de una línea recta correspondiente a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica que forma la superficie de corte 6 del primer objeto 4a en el paso de corte sucesivo y medición de deformación por liberación. Más preferiblemente, los segundos extensímetros 7a están colocados en el mismo intervalo que el primer extensímetro de deformación 7 en la superficie de corte 6 del primer objeto 4a, es decir, colocados en posiciones respectivas coincidentes con posiciones respectivas para medición de deformación por liberación en el corte sucesivo y medición de deformación por liberación. Los segundos extensímetros 7a están orientados de manera que detecten deformaciones en la dirección D1 correspondiente a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica que forma la superficie de corte 6 del primer objeto 4a y una dirección normal D3 de la superficie cónica o cilíndrica que forma la superficie de corte 6 del primer objeto 4a.

En el paso S26, los trozos de medición interiores 12 y los trozos de medición de superficie 13 se cortan más para liberar por ello los respectivos esfuerzos residuales de las partes incluyendo los segundos extensímetros 7a y los terceros extensímetros 7b respectivamente, y, en el paso S27, las deformaciones por liberación las miden los segundos extensímetros 7a y los terceros extensímetros 7b, respectivamente.

La medición de esfuerzo residual con rayos X en el paso S23 tiene teóricamente alta exactitud y permite reducir el intervalo de medición, al mismo tiempo que requiere mucha mano de obra y tiempo para la medición exacta a causa de la gran influencia de las condiciones de medición como la aspereza superficial. Por otra parte, la medición de deformación por liberación dentro del segundo objeto 4b utilizando los segundos extensímetros 7a en el paso S25 al paso S27, aunque tiene un límite en el intervalo de medición dependiente del tamaño de los segundos extensímetros 7a, puede realizarse con facilidad comparativamente. Por lo tanto, en el paso S27, el uso en combinación del valor obtenido convirtiendo el valor de medición del esfuerzo residual medido utilizando los rayos X a la deformación por liberación en el paso S24 y el valor de medición de la deformación por liberación medida utilizando el segundo extensímetro de deformación 7a en el paso S25 al paso S27 permite equilibrar bien la exactitud y la facilidad.

Como se representa en la figura 14, los tres componentes de dirección siguientes se miden como datos de medición de deformaciones por liberación en los puntos de medición en la coordenada polar centrada en la posición de referencia Ps en la sección transversal longitudinal central: un componente en la dirección D1 que es la dirección de línea de cresta de la superficie de corte 6; un componente en la dirección D2 que es una dirección ortogonal a la dirección D1 y ortogonal a un plano de coordenadas (la dirección circunferencial del primer objeto 4a y el segundo objeto 4b); y un componente en la dirección D3 ortogonal a cada una de la dirección D1 y la dirección D2 en las trozos de medición interiores 12. Obtener así todos los componentes de las deformaciones por liberación en los puntos de medición con respecto a las tres direcciones ortogonales una a otra permite mejorar la exactitud de la derivación de una deformación inherente con un cálculo fácil.

<Proceso de derivación de deformación inherente>

En el proceso de derivación de deformación inherente, que es el paso S04 en la figura 1, la distribución de deformación inherente se deriva por análisis inverso utilizando el método de elementos finitos, en base a los datos de la deformación por liberación obtenidos en el paso S03.

La relación entre deformación por liberación (deformación elástica) y deformación inherente se representa por la expresión (1) siguiente.

[Expresión 1]

$$\{m\epsilon\} = [H] \{\epsilon^*\} \quad (1)$$

donde

{mε}: deformación por liberación (deformación elástica)

{ε*}: deformación inherente distribuida en un objeto

[H]: matriz de respuesta elástica que representa una relación entre {mε} y {ε*}

La matriz de respuesta elástica [H] representa la sensibilidad de un componente de deformación inherente con respecto a una condición de medición (una forma de medición) de la deformación por liberación calculada. En otros

términos, el componente de la matriz [H] depende de la forma de medición y se calcula por cálculo repetido para calcular la respuesta elástica al tiempo en que se da una deformación unitaria a los respectivos componentes de distorsión inherentes.

- 5 Además, la deformación por liberación medida siempre incluye un error, que implica la relación entre el valor más probable de la deformación inherente y la deformación por liberación representada por la expresión (2) siguiente.

[Expresión 2]

$$10 \quad \{m\varepsilon\} - [\hat{H}]\{\varepsilon^*\} = \{v\} \quad (2)$$

donde,

15 $\{\varepsilon^*\}$: el valor más probable de la deformación inherente

{v}: residual

$[\hat{H}]$: matriz de reducción de [H]

- 20 El valor más probable del componente de deformación inherente viene dado de forma única por las condiciones para minimizar la suma de los cuadrados residuos (un método de cuadrados mínimos). En los últimos años se aplica a menudo un método con representación de deformación inherente distribuida en un objeto por una función. La distribución de deformación inherente puede obtenerse calculando un valor de un coeficiente de la función establecida más bien que calculando directamente la deformación inherente. En este caso, en lugar del componente
- 25 de deformación inherente y el valor más probable dado por la expresión (1) y la expresión (2), se calcula un coeficiente de la función de distribución como un número desconocido. El uso de tal representación funcional permite reducir en gran medida el número de números desconocidos.

<Proceso de cálculo de esfuerzo residual>

- 30 El método de medir el esfuerzo residual incluye el último proceso, el proceso de cálculo de esfuerzo residual que es el paso S05 de la figura 1, en el que la distribución de esfuerzo residual se calcula por análisis directo utilizando el método de elementos finitos en base a la distribución del esfuerzo inherente derivado en el paso S04.

- 35 La relación entre esfuerzo residual y esfuerzo inherente que existía originalmente en el objeto 4 se representa con la expresión (3) siguiente.

[Expresión 3]

$$40 \quad \{\sigma\} = [M]\{\varepsilon^*\} \quad (3)$$

donde

45 $\{\sigma\}$: esfuerzo residual

[M]: matriz de respuesta elástica que representa la relación entre $\{\varepsilon^*\}$ y $\{\sigma\}$

La matriz de respuesta elástica que representa la relación entre deformación inherente y esfuerzo residual se deriva por análisis de elementos finitos.

- 50 <Ventajas>

- 55 El método de medir el esfuerzo residual incluye: formar secuencialmente, en el primer objeto 4a, las superficies de corte 6 formadas por la superficie cónica o cilíndrica a través de la posición de referencia Ps; y cortar en rodajas los trozos pequeños 11 de las superficies de corte para medir por ello deformaciones por liberación en respectivos puntos de medición establecidos en la coordenada polar centrada en la posición de referencia Ps en la sección transversal longitudinal central, estableciendo por ello gran número de puntos de medición cerca de la superficie incurvada 5 dentro del primer objeto 4a y midiendo deformaciones en los respectivos puntos de medición; esto permite realizar una medición en profundidad de la distribución de deformación residual cerca de la superficie incurvada 5.

Además, el método de medir el esfuerzo residual incluye usar las trozos de medición interiores 12 cortadas en rodajas del segundo objeto 4b cortando el segundo objeto 4b equivalente al primer objeto 4a a lo largo de las dos secciones transversales longitudinales centrales y midiendo, en los puntos de medición correspondientes a los puntos de medición establecidos con relación al primer objeto 4a, respectivas deformaciones por liberación en las dos direcciones D1 y D2 y una deformación por liberación en la dirección D3 ortogonal a las direcciones D1 y D2 que se miden en el primer objeto 4a. Esto permite obtener todos los componentes tridimensionales ortogonales como datos de las deformaciones por liberación en los puntos de medición, haciendo por ello posible medir una deformación inherente exacta y un esfuerzo residual exacto. También en la superficie del segundo objeto 4b, donde se miden las respectivas deformaciones por liberación en la dirección D2 y la dirección ortogonal a la dirección D2, el esfuerzo residual puede medirse con mayor exactitud.

[Otras realizaciones]

La realización aquí descrita deberá considerarse ilustrativa en todos los aspectos y no limitativa. El alcance de la presente invención no se limita por la configuración de la realización. Se prevé que todos los cambios indicados en las reivindicaciones y dentro de un significado y un rango equivalente a las reivindicaciones queden incluidos en el alcance de la presente invención.

La esencia del método de medir el esfuerzo residual es formar superficies de corte cada una formada de una superficie cónica o cilíndrica concéntrica con una porción axial de un objeto y a través de una posición de referencia, y analizar deformaciones de las superficies de corte. Esto permite omitir o sustituir por otros procesos los procesos restantes, excepto el proceso esencial. Por ejemplo, la medición realizada utilizando los trozos de medición interiores 12 y los trozos de medición de superficie 13 no es una medición esencial. Por ejemplo, en lugar del análisis por la medición de una deformación por liberación realizada usando los extensímetros 7, se puede realizar medición no destructiva de deformaciones de las superficies de corte por un método de difracción por rayos X, un método de difracción por neutrones, un método elástico por sonido, o análogos.

En el método de medir el esfuerzo residual, la herramienta para cortar en rodajas los trozos pequeños 11 de las superficies de corte 6 solamente tiene que ser una herramienta capaz de cortar una pieza en una dirección rotacional radial ortogonal al eje de la herramienta. Se puede usar una herramienta tal como una cortadora de ranuras en V en lugar de la cortadora de ranuras en T 10.

En el método de medir el esfuerzo residual, el primer objeto 4a y el segundo objeto 4b no se limitan a objetos cortados en rodajas del mismo elemento parecido a eje 1 y pueden ser objetos cortados en rodajas de elementos parecidos a eje 1 separados.

Además, el número de primeros objetos 4a y segundos objetos 4b puede incrementarse opcionalmente para hacer que la diferencia de ángulo de las superficies de corte 6 sea un ángulo más pequeño.

En el método de medir el esfuerzo residual, la posición de referencia Ps no se limita al centro del arco de la superficie incurvada 5, sino que solamente tiene que ser una posición que permita que sea pequeño un intervalo de puntos de medición en una región donde se requiera un cálculo en profundidad relativo al esfuerzo residual (un intervalo entre superficies de corte a formar secuencialmente).

45 Ejemplos

La presente invención se explica con más detalle más adelante según ejemplos; sin embargo, la presente invención no se limita a los ejemplos.

La figura 15 representa una distribución de esfuerzo residual medido por el método de medir el esfuerzo residual en base a la realización descrita anteriormente, en la sección transversal longitudinal central. La medición usa un primer objeto y un segundo objeto, cada uno de los cuales incluye una sección de eje que tiene un diámetro de 280 mm y una sección tabular que tiene un grosor de 80 mm y un diámetro de 500 mm. Una superficie incurvada está dispuesta entre la sección de eje y la sección tabular. La superficie incurvada incluye una parte principal que tiene un radio de 22 mm.

Como se representa en la figura 15, el método de medir el esfuerzo residual hace posible obtener una distribución en profundidad del esfuerzo residual.

60 Aplicabilidad industrial

Los elementos parecidos a eje a los que se puede aplicar el método de medir el esfuerzo residual incluyen, por ejemplo, un eje de manivela. El método de medir el esfuerzo residual puede aplicarse naturalmente utilizando una porción de eje del eje de manivela como la sección de eje y usando una hoja integrada de un brazo y un contrapeso como la sección tabular, y también puede ser aplicado usando un pasador como la sección de eje y utilizando un

brazo como la sección tabular. El método de medir el esfuerzo residual puede ser usado también para los respectivos análisis de una variedad de estructuras distintas del eje de manivela.

5 Como se ha explicado anteriormente, según la presente invención, se facilita un método de medir el esfuerzo residual capaz de medición exacta de una distribución de esfuerzo residual cerca de una superficie incurvada de un objeto incluyendo una sección de eje columnar y una sección tabular que sobresale radialmente más allá de la sección de eje, estando dispuesta la superficie incurvada en una porción que interconecta la sección de eje y la sección tabular.

10 Este método es un método de medir el esfuerzo residual en un objeto que incluye una sección de eje columnar y una sección tabular que sobresale radialmente hacia fuera más allá de una superficie circunferencial exterior de la sección de eje en toda la circunferencia, estando provisto el objeto de una superficie incurvada en una porción que interconecta la sección de eje y la sección tabular. El método incluye repetir un ciclo de medición que incluye: un paso de cortar el objeto para formar por ello una nueva superficie de corte que es una superficie cónica o cilíndrica concéntrica con un eje de la sección de eje, estando la superficie cónica o cilíndrica a través de una posición de referencia que no cambia en cada ciclo de medición repetido; y un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes en la superficie de corte.

20 Según el método de medir el esfuerzo residual, la repetición de formar la superficie de corte que es la superficie cónica o cilíndrica a través de la posición de referencia permite poner densamente los puntos de medición cerca de la posición de referencia, haciendo por ello posible reducir un intervalo de los puntos de medición de esfuerzo residual para obtener gran número de datos de medición. Como resultado, el método de medir el esfuerzo residual hace posible medir exactamente la distribución de un esfuerzo residual cerca de la superficie incurvada.

25 En el método de medir el esfuerzo residual, la posición de referencia es deseablemente una posición central de un arco que tiene un diámetro más grande entre los arcos incluidos en la superficie incurvada en la sección transversal longitudinal central del objeto. Dado que la posición central es el origen de una coordenada polar (una coordenada local) para representar posiciones de puntos de medición de una deformación por liberación en la sección transversal longitudinal central, poner el centro del arco más dominante de la superficie incurvada como se ha explicado anteriormente como la posición de referencia permite disponer gran número de puntos de medición cerca de la superficie incurvada. Esto permite mejorar la exactitud de medición de una deformación inherente y del esfuerzo residual.

35 En el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte, es deseable medir el esfuerzo residual en cada una de una pluralidad de partes alineadas en una dirección de línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica. Poner la pluralidad de puntos de medición así alineados en la dirección de línea de cresta hace posible medir eficientemente la distribución de la deformación inherente del objeto sustancialmente en toda la superficie cilíndrica o circunferencial. Las posiciones respectivas de la pluralidad de puntos de medición alineados en la dirección de línea de cresta pueden dividirse en zigzag en la dirección circunferencial. Por otra parte, en el caso del objeto no parecido a eje, dispersar circunferencialmente la pluralidad de puntos de medición alineados en la dirección de línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica permite la distribución de deformación inherente del objeto sobre toda la superficie cilíndrica o la superficie circunferencial a medir.

45 En el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte, es deseable medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a la dirección de línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica y una dirección tangencial ortogonal a la línea de cresta. Esto permite que una dirección de radio vector (una dirección de puntos de medición vistos desde el origen) de una coordenada polar relacionada con la disposición de los puntos de medición en la sección transversal longitudinal central y la dirección de medición por extensímetros coincidan entre sí, facilitando así el análisis.

50 En el método de medir el esfuerzo residual, el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte incluye deseablemente un paso de colocar un extensímetro sobre la superficie de corte, un paso de cortar en rodajas un trozo pequeño incluyendo el extensímetro de la superficie de corte, y un paso de medir una deformación por liberación de los trozos pequeños utilizando el extensímetro. La medición de la deformación por liberación permite medir exactamente el esfuerzo residual.

60 En el método de medir el esfuerzo residual, el paso de cortar en rodajas el trozo pequeño incluye deseablemente un paso de formar ranuras adyacentes a los extensímetros y un paso de insertar, en la ranura, una herramienta movida en rotación alrededor de un eje rotacional predeterminado para realizar corte con el fin de cortar una pieza en una dirección rotacional radial ortogonal al eje de rotación y cortar una parte en un lado inferior de la superficie de corte con la herramienta para cortar la parte para separar por ello una capa superficial de la superficie de corte. Cortar en rodajas el trozo pequeño por corte con tal herramienta permite que la ranura de corte formada en la superficie de corte tenga una profundidad reducida. Esto permite reducir la diferencia de ángulo entre la superficie de corte formada y la superficie de corte siguiente, haciendo por ello posible poner densamente los puntos de medición para mejorar la exactitud de la medición de una deformación inherente y del esfuerzo residual.

65

Además, es preferible que el método de medir el esfuerzo residual incluya además un paso de medir el esfuerzo residual en un segundo objeto equivalente al objeto y el paso de medir el esfuerzo residual en el segundo objeto incluye: un paso de cortar el segundo objeto a lo largo de dos planos a través de un eje de una sección de eje del segundo objeto para obtener por ello un trozo de medición definida por los dos planos; y un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes situadas en una línea recta correspondiente a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica en la superficie de corte del trozo de medición. Esto hace posible aumentar más los puntos de medición para mejorar más la exactitud de la medición del esfuerzo residual.

El paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie de corte del trozo de medición incluye preferiblemente medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a una dirección correspondiente a la línea de cresta y una dirección correspondiente a la normal de la superficie cónica o cilíndrica. Hacer que una de las direcciones de medición del esfuerzo residual en el trozo de medición del segundo objeto sea una dirección de radio vector de una coordenada polar relacionada con la disposición de puntos de medición facilita el cálculo. Además, hacer que la otra de las direcciones de medición del esfuerzo residual en el trozo de medición del segundo objeto sea la dirección correspondiente a la normal de la superficie de corte del objeto permite medir el componente de medición del esfuerzo residual en una dirección incapaz de medirse en la superficie de corte del objeto. El método de medir el esfuerzo residual permite así medir más exactamente el esfuerzo residual.

En el método de medir el esfuerzo residual, el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie de corte del trozo de medición incluye deseablemente un paso de alinear y colocar una pluralidad de segundos extensímetros en una línea recta correspondiente a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica en la superficie de corte del trozo de medición y un paso de cortar más el trozo de medición para liberar el esfuerzo residual en el trozo de medición y por ello medir deformaciones por liberación utilizando los segundos extensímetros. Así medir la deformación por liberación también en el segundo objeto permite medir más exactamente el esfuerzo residual.

Preferiblemente, el método de medir el esfuerzo residual incluye además un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes en la superficie del segundo objeto. Así. Medir el esfuerzo residual en la superficie exterior del segundo objeto permite mejorar más la exactitud de la medición del esfuerzo residual.

El paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie del segundo objeto incluye preferiblemente medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a una dirección de una línea de intersección de la superficie del segundo objeto y un plano a través del eje y una dirección ortogonal a la línea de intersección. La medición permite que una de las direcciones de medición del esfuerzo residual en la superficie del segundo objeto coincida con una dirección de ángulo de deflexión de una coordenada polar relacionada con la disposición de puntos de medición, facilitando así el análisis.

En el método de medir el esfuerzo residual, el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie del segundo objeto incluye deseablemente un paso de colocar un tercer extensímetro de deformación sobre la superficie del segundo objeto. Así, medir la deformación por liberación de la superficie exterior del segundo objeto usando el tercer extensímetro de deformación además de la medición de la deformación por liberación usando el segundo extensímetro de deformación permite mejorar la exactitud de la medición del esfuerzo residual.

En el método de medir el esfuerzo residual, es preferible que la sección de eje del objeto y la sección de eje del segundo objeto estén formadas integralmente. El muestreo del objeto y el segundo objeto de una estructura permite reducir el número de muestras usadas en el método de medir el esfuerzo residual.

50

REIVINDICACIONES

1. Un método de medir el esfuerzo residual en un objeto (4, 4a) que incluye una sección de eje columnar (2a) y una sección tabular (3) que sobresale radialmente hacia fuera más allá de una superficie circunferencial exterior de la sección de eje (2a) en toda la circunferencia, estando provisto el objeto (4, 4a) de una superficie incurvada (5) en una porción que interconecta la sección de eje (2a) y la sección tabular (3), incluyendo el método
- 5
- repetir un ciclo de medición que incluye: un paso de cortar el objeto (4, 4a) para formar por ello una nueva superficie de corte (6) que es una superficie cónica o cilíndrica concéntrica con un eje (C) de la sección de eje (2a), estando la superficie cónica o cilíndrica a través de una posición de referencia (Ps) que no cambia en cada ciclo de medición repetido; y un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes en la superficie de corte (6), **caracterizado porque** la posición de referencia (Ps) es una posición central de un arco que tiene un diámetro más grande entre los arcos incluidos en la superficie incurvada (5) en una sección transversal longitudinal central del objeto (4, 4a).
- 10
- 15
2. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 1, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte (6) incluye medir el esfuerzo residual en cada una de una pluralidad de partes alineadas en una dirección de línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica.
- 20
3. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 1 o 2, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte (6) incluye medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a una dirección de línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica y una dirección tangencial ortogonal a la línea de cresta.
- 25
4. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 1, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la superficie de corte (6) incluye:
- un paso de colocar un extensímetro (7) sobre la superficie de corte (6);
- 30
- un paso de cortar en rodajas un trozo pequeño incluyendo el extensímetro (7) de la superficie de corte (6); y
- un paso de medir la deformación por liberación del trozo pequeño utilizando los extensímetros (7).
- 35
5. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 4, donde el paso de cortar en rodajas el trozo pequeño incluye:
- un paso de formar una ranura adyacente al extensímetro (7); y
- 40
- un paso de insertar, en la ranura, una herramienta movida en rotación alrededor de un eje rotacional predeterminado para realizar corte con el fin de cortar una pieza en una dirección rotacional radial ortogonal al eje rotacional, y cortar una parte en un lado inferior de la superficie de corte (6) con la herramienta para cortar la parte para separar por ello una capa superficial de la superficie de corte (6).
- 45
6. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 1, incluyendo además un paso de medir el esfuerzo residual de un segundo objeto (4, 4b) equivalente al objeto (4a), donde
- el paso de medir el esfuerzo residual del segundo objeto (4, 4b) incluye:
- un paso de cortar el segundo objeto (4, 4b) a lo largo de dos planos a través de un eje (C) de una sección de eje (2a) del segundo objeto (4, 4b) para obtener por ello un trozo de medición (12, 13) definida por los dos planos, y
- 50
- un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes situadas en una línea recta correspondiente a una línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica en una superficie de corte (6) del trozo de medición (12, 13).
- 55
7. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 6, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie de corte (6) del trozo de medición (12, 13) incluye medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a una dirección correspondiente a la línea de cresta y una dirección correspondiente a la normal de la superficie cónica o cilíndrica.
- 60
8. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 6, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie de corte (6) del trozo de medición (12, 13) incluye:
- un paso de alinear y colocar una pluralidad de segundos extensímetros (7a) en una línea recta correspondiente a la línea de cresta de la superficie cónica o cilíndrica en la superficie de corte (6) del trozo de medición (12, 13); y
- 65

un paso de cortar más el trozo de medición (12, 13) para liberar el esfuerzo residual del trozo de medición (12, 13) y por ello medir respectivas deformaciones de liberación utilizando los segundos extensímetros (7a).

5 9. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 6, incluyendo además un paso de medir el esfuerzo residual en una pluralidad de partes en una superficie del segundo objeto (4, 4b).

10 10. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 9, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie del segundo objeto (4, 4b) incluye medir respectivos componentes de esfuerzo residual con respecto a una dirección de una línea de intersección de la superficie del segundo objeto (4, 4b) y un plano a través del eje (C) y una dirección ortogonal a la línea de intersección.

15 11. El método de medir el esfuerzo residual según la reivindicación 9, donde el paso de medir el esfuerzo residual en la pluralidad de partes en la superficie del segundo objeto (4, 4b) incluye un paso de colocar un tercer extensímetro de deformación (7b) sobre una superficie del segundo objeto (4, 4b).

12. El método de medir el esfuerzo residual según alguna de las reivindicaciones 6 a 11, donde la sección de eje (2a) del objeto (4a) y la sección de eje (2a) del segundo objeto (4, 4b) están formadas integralmente.

FIG.1

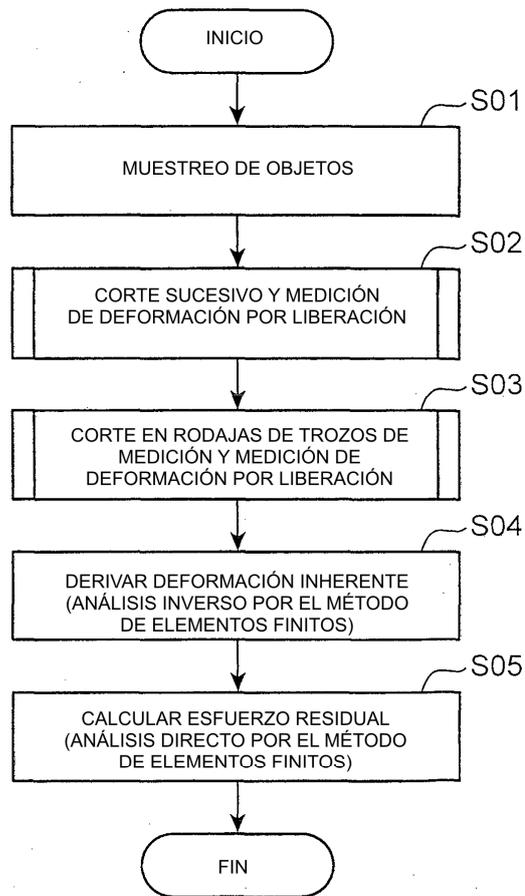


FIG.3

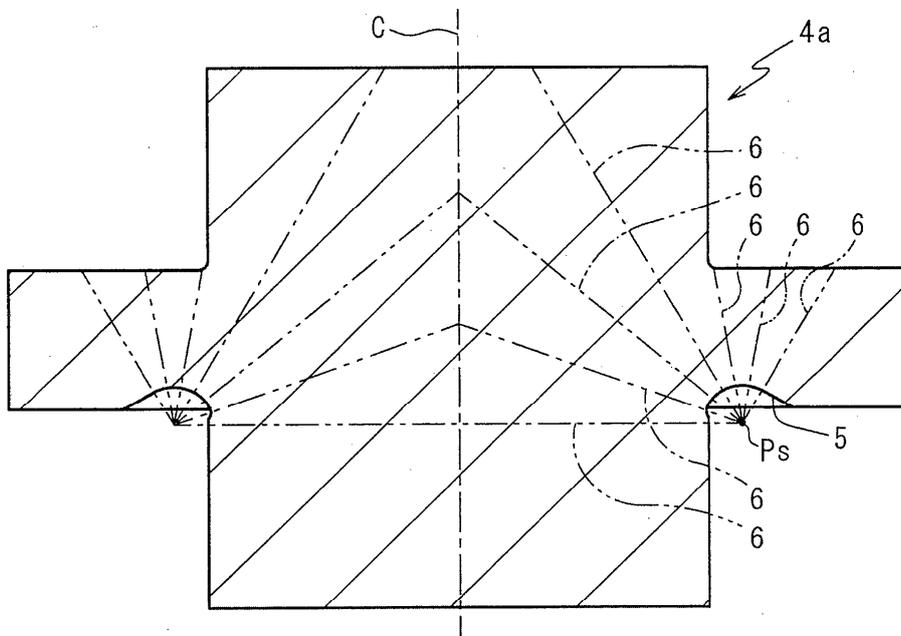


FIG.4

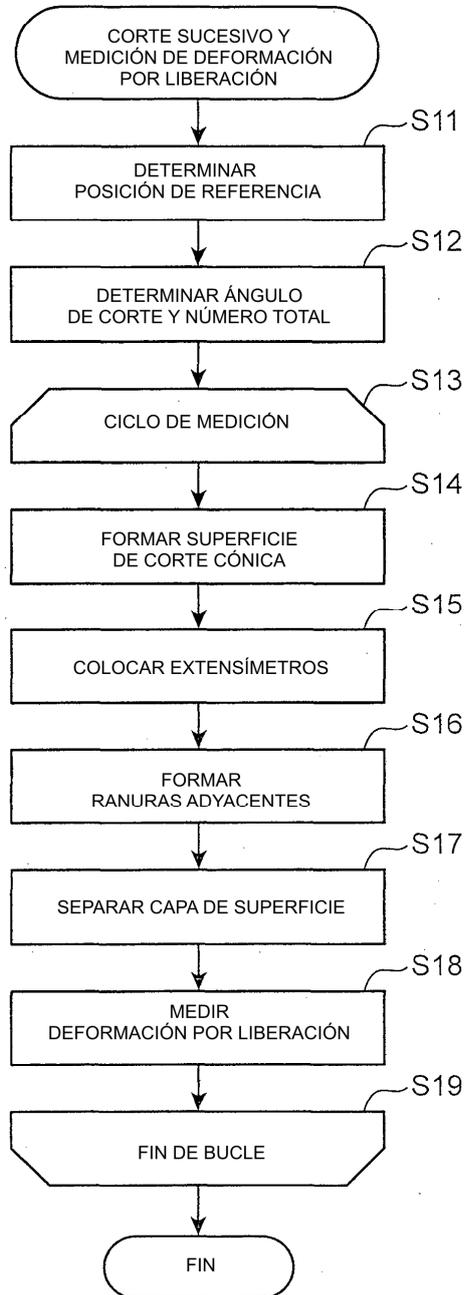


FIG.5A

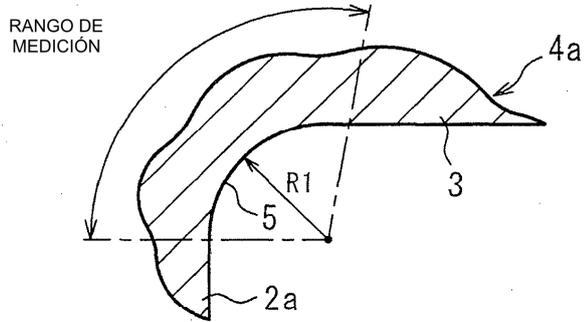


FIG.5B

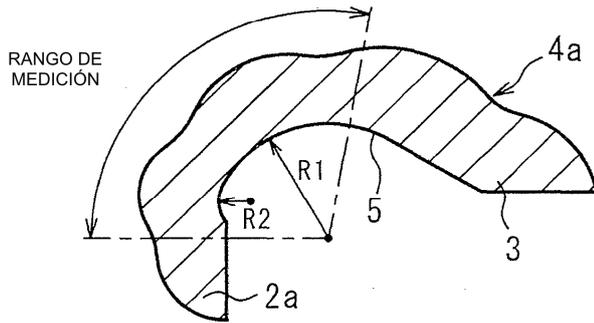


FIG.5C

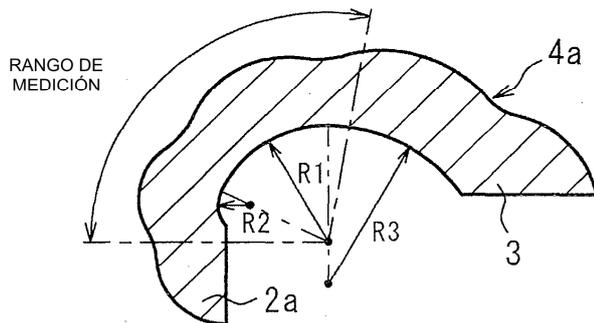


FIG.6

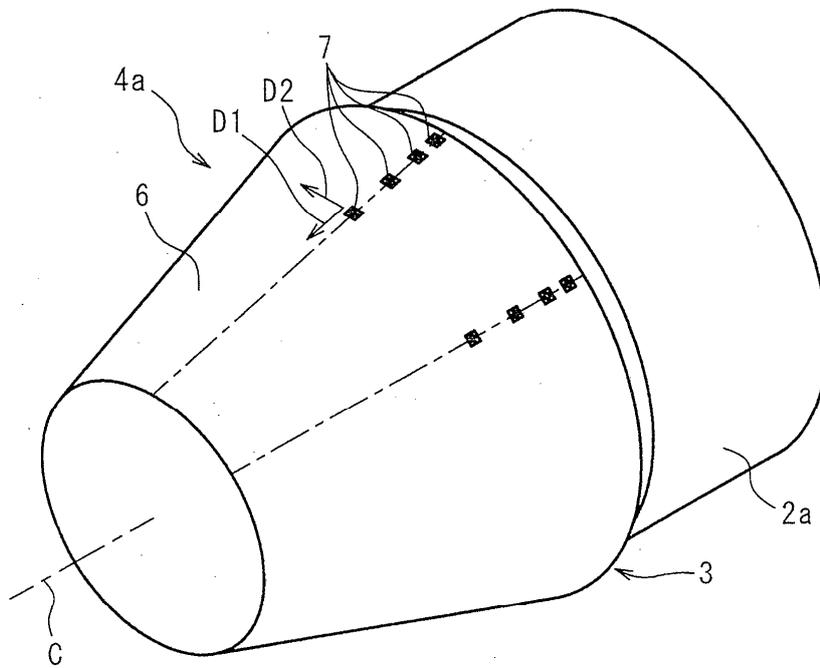


FIG.7

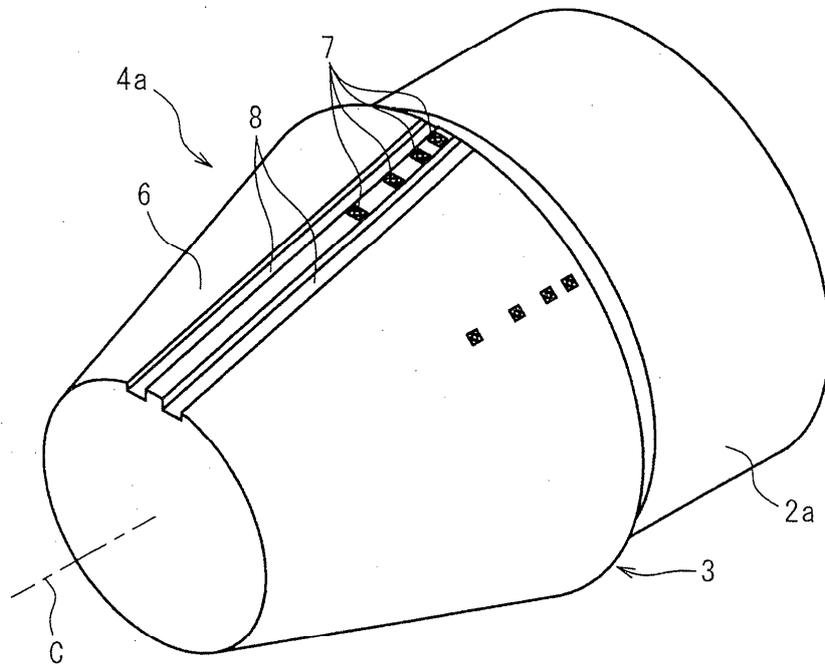


FIG.8

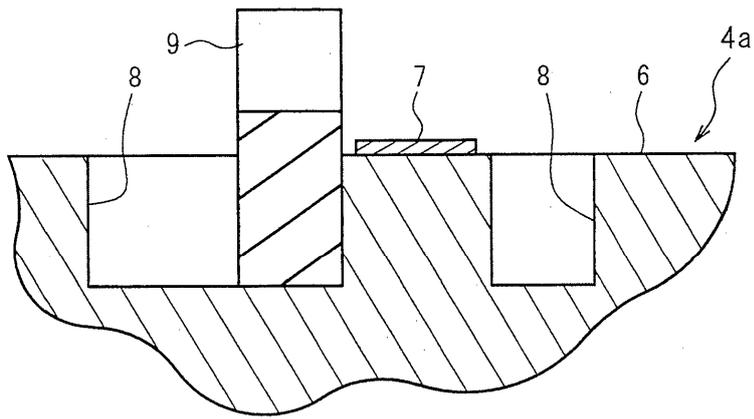


FIG.9

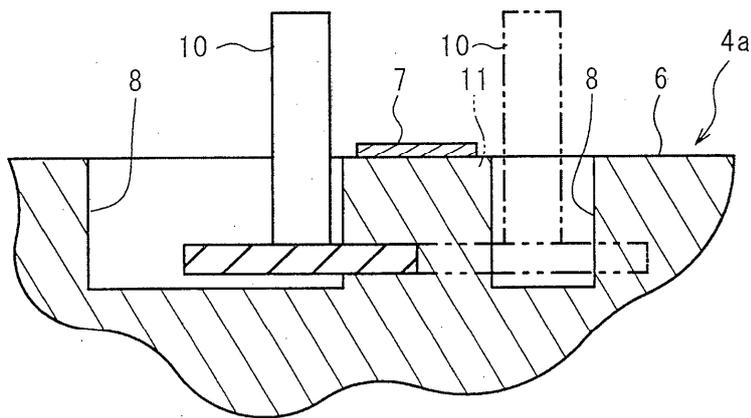


FIG.10

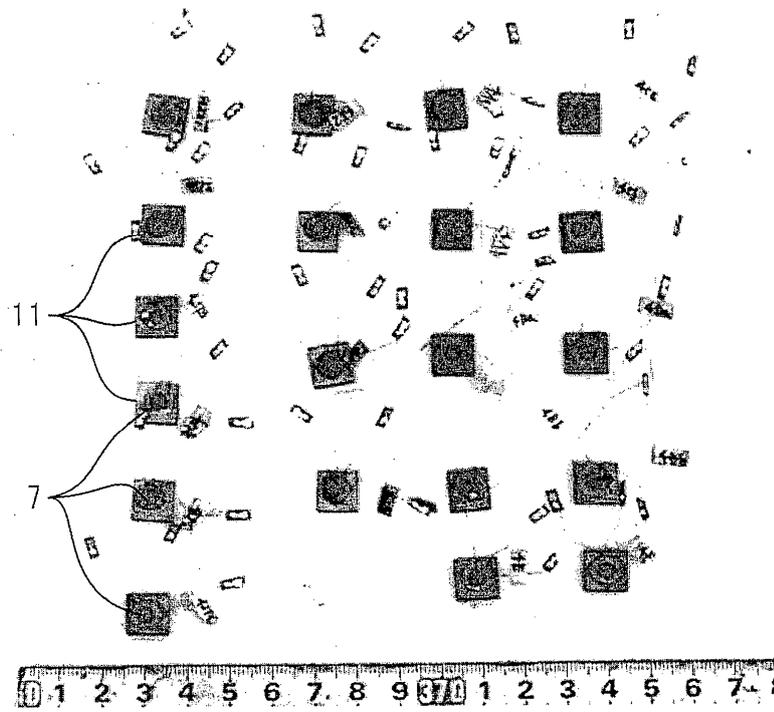


FIG.11

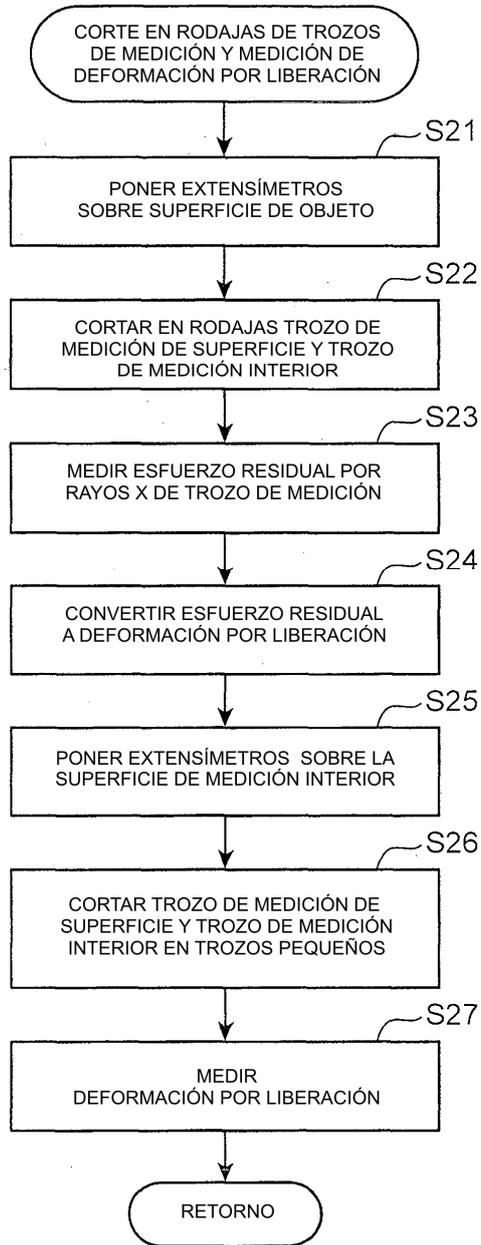


FIG.12

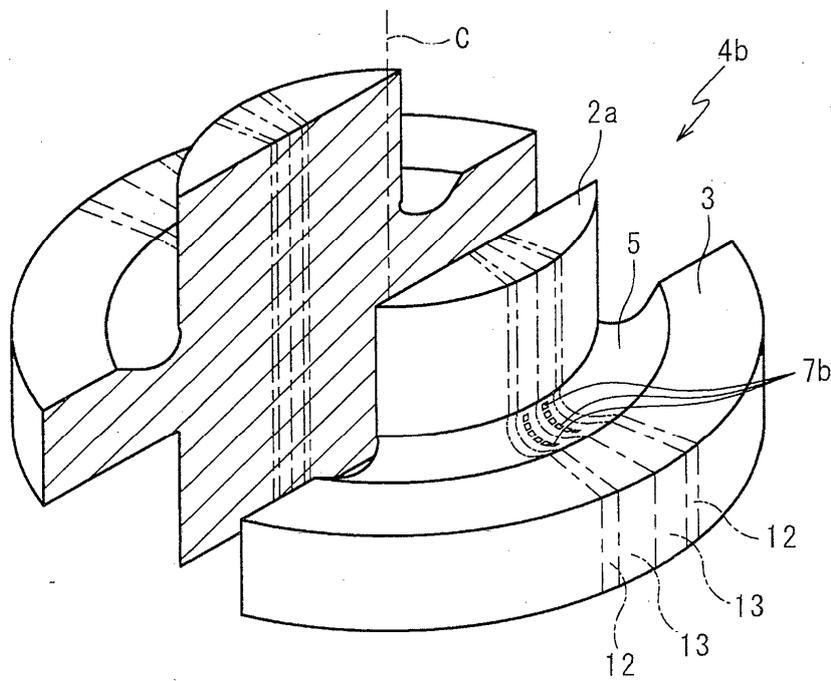


FIG.13

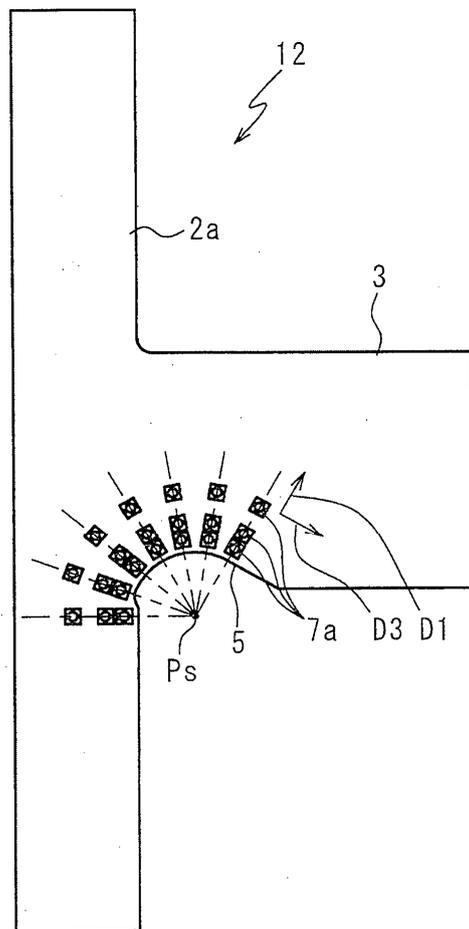


FIG.14

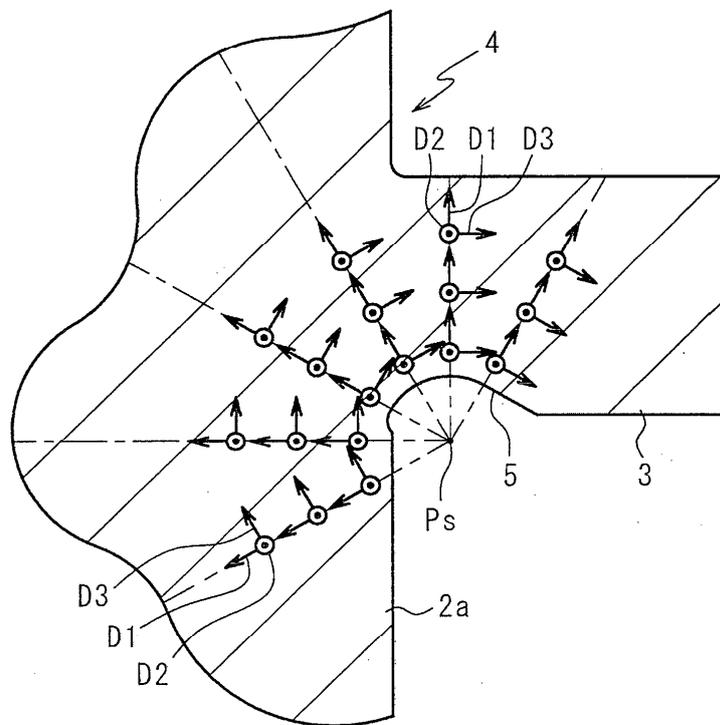


FIG.15

