(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 985 780**

(51) Int. Cl.:

G01L 1/25 (2006.01)

G01N 23/205 (2008.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2021 PCT/JP2021/016328**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **09.12.2021 WO21246080**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2021 E 21818782 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.07.2024 EP 4155703**

(54) Título: **Método de medición de tensión residual**

(30) Prioridad:

02.06.2020 JP 2020096360

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2024

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

MATSUDA, MARIKO;
KABUTOMORI, TATSUHIKO y
TAKAMATSU, HIROYUKI

(74) Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

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 medición de tensión residual

Campo técnico

La presente invención se refiere a un método para medir una tensión residual.

Antecedentes de la técnica

Recientemente, se ha aplicado ampliamente una técnica para medir una tensión residual usando rayos X. En esta técnica, una distorsión de red que se produce dentro de una muestra que tiene una estructura cristalina se mide usando rayos X, y el resultado de la medición se convierte en una tensión residual.

Como método para medir una tensión residual usando rayos X, se conoce un método cos α. En el método cos α, una muestra se irradia con rayos X en un ángulo de incidencia específico, las intensidades de los rayos X difractados generados por la reflexión de los rayos X por la muestra se detectan bidimensionalmente, y se mide una tensión residual basándose en un anillo de difracción formado por una distribución de intensidad de los rayos X difractados que se han detectado (véase la publicación de solicitud de patente japonesa pendiente de inspección n.º H5-72061).

Documentos de la técnica anterior

Documentos de patente

Documento de Patente 1: Publicación de solicitud de patente japonesa pendiente de inspección N.º H5-72061. Asimismo, el documento WO 2019/208061 A1 divulga un método para calcular la tensión residual en una curvatura de una pieza metálica usando el método cos α. El documento WO 2006/056647 A1 divulga un goniómetro para medir la tensión residual. El documento EP 3 070 447 A1 divulga un método de medición de tensión residual.

Sumario de la invención

Problemas a resolver por la invención

En un caso en el que el ángulo de incidencia de los rayos X se indica con Ψ [°], la precisión de medición del método cos α es generalmente proporcional a sen2Ψ. Por lo tanto, en el método cos α, la precisión de la medición disminuye a medida que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X en la muestra se aleja de 45°. Por ejemplo, cuando el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X es inferior a 15°, la precisión de la medición se deteriora rápidamente. Asimismo, con un aumento en el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X, es más probable que aumente la influencia de la rugosidad superficial de la muestra sobre la misma. Por lo tanto, en el método cos α, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X en la muestra se establece típicamente mayor o igual a 15° y menor o igual a 65°, y preferentemente 35°.

Sin embargo, con respecto a una estructura que incluye: una porción de eje que tiene una forma cilíndrica; y una porción de pestaña (porción en forma de placa) que sobresale radialmente de la porción de eje, en donde se proporciona una porción de curvatura para aliviar la concentración de tensión en una porción de conexión entre la porción de eje y la porción de pestaña, cuando se va a medir una tensión residual de la porción de curvatura, puede ser difícil establecer el ángulo de incidencia Ψ en un valor deseado. Es decir, cuando el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se va a establecer en mayor o igual a 15° y menor o igual a 65°, un aparato de medición puede interferir con la muestra. En este caso, convencionalmente, la tensión residual se ha medido de tal manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se establece en un ángulo apropiado que cae fuera del intervalo deseado. Sin embargo, es difícil medir con precisión la tensión residual de la muestra mediante el método convencional.

La presente invención se realizó en vista de las circunstancias anteriores, y un objeto de la presente invención es proporcionar un método para medir una tensión residual, permitiendo el método medir una tensión residual de una porción de curvatura con alta precisión.

Medios para resolver los problemas

Un aspecto de la presente invención realizado para resolver los problemas anteriores es un método para medir una tensión residual de una porción de curvatura de una estructura metálica, incluyendo la estructura metálica: una porción de eje; y una porción de pestaña que sobresale radialmente de la porción de eje, en donde la estructura metálica incluye la porción de curvatura en una porción de conexión entre la porción de eje y la porción de pestaña, incluyendo el método: una etapa de cálculo de cálculo de la tensión residual mediante un método cos α, mediante el uso de un aparato de medición de tensión de rayos X que incluye: una porción de irradiación que suministra rayos X; un detector bidimensional que detecta un anillo de difracción generado por difracción de Bragg de los rayos X entregados desde la porción de irradiación a la porción de curvatura; y una carcasa en la que están montados la porción de irradiación y el detector bidimensional, en donde, en un caso en el que un ángulo de incidencia de los rayos X se indica con Ψ [°],

un radio de curvatura de la porción de curvatura se indica con R [mm], un ángulo de curvatura de la porción de curvatura se indica con θ [°], una anchura vertical de la carcasa se indica con W [mm], una anchura de una zona de detección del detector bidimensional se indica con D [mm], un ángulo complementario de un ángulo de Bragg se indica con η [°] y un intervalo entre la porción de pestaña y una línea recta imaginaria que pasa por un centro de curvatura y es paralela a la porción de pestaña se indica con [mm], cumpliéndose la siguiente fórmula 1:

$$D \leqq W \quad \cdots 1$$

en un caso en el que Ψ ≥ 0, una distancia de irradiación L [mm] de los rayos X, basándose la distancia de irradiación L en el detector bidimensional en la etapa de cálculo, cumple la siguiente fórmula 2, y

en un caso en el que Ψ < 0, la distancia de irradiación L en la etapa de cálculo cumple la siguiente fórmula 3,

$$\frac{-R(1-\cos\theta)+\frac{W}{2}\operatorname{sen}(\theta+\psi)}{\cos(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 2$$

$$\frac{R\operatorname{sen}\theta+\frac{W}{2}\cos(\theta+\psi)-a}{\operatorname{sen}(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 3$$

en donde el ángulo de incidencia Ψ es positivo en caso de inclinación hacia la porción de eje con respecto a una línea recta imaginaria que pasa a través de un sitio de medición y el centro de curvatura, y es negativo en caso de inclinación hacia la porción de pestaña.

De acuerdo con el método para medir una tensión residual, en el caso de medir la tensión residual de la porción de curvatura formada en la porción de conexión entre la porción de eje y la porción de pestaña, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se puede acercar a un ángulo deseado. De este modo, de acuerdo con el método para medir una tensión residual, la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir con alta precisión.

En un caso en el que la porción de curvatura incluye una pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, un centro de curvatura y un radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, una región que tiene un diámetro más grande se define preferentemente como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura. En el caso en el que la porción de curvatura incluye la pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, definiendo así el centro de curvatura y el radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, teniendo la región el diámetro más grande como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura, la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir fácilmente con alta precisión.

En el caso en el que la porción de curvatura incluye una pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, un centro de curvatura y un radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, una región que tiene un arco más largo se define preferentemente como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura. En el caso en el que la porción de curvatura incluye la pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, definiendo así el centro de curvatura y el radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, teniendo la región el arco más largo como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura, la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir fácilmente con alta precisión.

La etapa de cálculo incluye preferentemente: una etapa de disponer el aparato de medición de tensión de rayos X con respecto a la porción de curvatura, ajustando la distancia de irradiación L de modo que el ángulo de incidencia Ψ se acerque a un valor establecido dentro de un intervalo que satisfaga las fórmulas 1 a 3 anteriores. El método para medir una tensión residual permite disponer el aparato de medición de tensión por rayos X en una posición deseada basándose en las fórmulas 1 a 3 anteriores, por lo que la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir fácilmente con alta precisión.

El valor establecido es preferentemente 35° o -35°. Cuando el valor establecido es el valor mencionado anteriormente, la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir fácilmente con alta precisión.

Cabe señalar que, en la presente invención, el "centro de curvatura", como se hace referencia en el presente documento, significa un centro de curvatura de la porción de curvatura. El "radio de curvatura de la porción de curvatura", como se hace referencia en el presente documento, significa un radio de curvatura de la porción de curvatura. El "ángulo de curvatura de la porción de curvatura", como se hace referencia en el presente documento, significa un ángulo en una vista lateral, formado entre una línea recta imaginaria (véase una línea recta imaginaria V en la figura 1) que pasa a través del centro de curvatura y es ortogonal a la porción de eje, y una línea recta imaginaria (véase una línea recta imaginaria N en la figura 1) que pasa a través del sitio de medición y el centro de curvatura. La "anchura vertical de la carcasa", como se hace referencia en el presente documento, significa un valor máximo de una anchura (véase una anchura W en la figura 1) entre una superficie (véase una superficie inferior 3a en la figura 1) de la carcasa, estando la superficie en un lado adyacente a la porción de eje, y una superficie (véase una superficie superior 3b en la figura 1) orientada hacia esta superficie y estando en un lado adyacente a la porción de pestaña.

El "intervalo entre la porción de pestaña y la línea recta imaginaria que pasa a través del centro de curvatura y es paralelo a la porción de pestaña", como se menciona en el presente documento, significa un valor promedio de intervalos en 5 puntos arbitrarios entre la línea recta imaginaria y la porción de pestaña (excluyendo la porción de curvatura). La "región de detección del detector bidimensional", como se hace referencia en el presente documento, significa una región en la que el anillo de difracción es detectable en el detector bidimensional.

Efectos de la invención

Como se ha descrito anteriormente, el método para medir una tensión residual de acuerdo con un aspecto de la presente invención permite medir la tensión residual de la porción de curvatura con alta precisión.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una vista lateral esquemática que ilustra un estado en el que la tensión residual de la porción de curvatura se mide mediante un método para medir una tensión residual según una realización de la presente invención.

La figura 2 es un gráfico que ilustra una relación entre la distancia de irradiación de los rayos X y el ángulo de curvatura de la porción de curvatura en el método para medir una tensión residual según una realización de la presente invención.

La figura 3 es un gráfico que ilustra una relación entre la distancia de irradiación de los rayos X y el radio de curvatura de la porción de curvatura en el método para medir una tensión residual según una realización de la presente invención.

La figura 4 es un gráfico que ilustra una relación entre la anchura vertical de la carcasa y el ángulo de curvatura de la porción de curvatura en el método para medir una tensión residual según una realización de la presente invención.

La figura 5 es un gráfico que ilustra una relación entre la anchura vertical de la carcasa y el radio de curvatura de la porción de curvatura en el método para medir una tensión residual según una realización de la presente invención.

La figura 6 es una vista esquemática para describir un procedimiento para definir el centro de curvatura y el radio de curvatura.

La figura 7 es una vista esquemática para describir un procedimiento para definir el centro de curvatura y el radio de curvatura, siendo el procedimiento diferente del de la figura 6.

La figura 8 es una vista esquemática para describir un procedimiento para definir el centro de curvatura y el radio de curvatura, siendo el procedimiento diferente del de las figuras 6 y 7.

La figura 9 es un gráfico que ilustra una relación entre el ángulo de incidencia de los rayos X y la distancia de irradiación de los rayos X en Ejemplos y Ejemplos comparativos.

La figura 10 es un gráfico que ilustra los valores máximos del ángulo de incidencia de los rayos X para cada ángulo de curvatura en los Ejemplos y los Ejemplos comparativos.

Descripción de las realizaciones

En lo sucesivo en el presente documento, las realizaciones de la presente invención se describen en detalle con referencia a los dibujos.

Método para medir el estrés residual

Como se ilustra en la figura 1, el método para medir una tensión residual es un método para medir una tensión residual de una porción de curvatura 13 de una estructura metálica M, incluyendo la estructura metálica M: una porción de eje 11; y una porción de pestaña 12 que sobresale radialmente de la porción de eje 11, en donde la estructura metálica M incluye la porción de curvatura 13 en una porción de conexión entre la porción de eje 11 y la porción de pestaña 12. La porción de pestaña 12 sobresale en una dirección perpendicular a un eje central de la porción de eje 11. El método para medir una tensión residual incluye una etapa (etapa de cálculo) de calcular la tensión residual mediante el método cos α, mediante el uso de un aparato de medición de tensión por rayos X 10 que incluye: una porción de irradiación 1 que suministra rayos X; un detector bidimensional 2 que detecta un anillo de difracción generado por difracción de Bragg de los rayos X entregados desde la porción de irradiación 1 a la porción de curvatura 13; y una carcasa 3 en la que están montados la porción de irradiación 1 y el detector bidimensional 2.

El aparato 10 de medición de tensión por rayos X está configurado para permitir detectar el anillo de difracción irradiando la estructura metálica M con los rayos X. La carcasa 3 tiene, por ejemplo, una forma de paralelepípedo generalmente rectangular. La carcasa 3 tiene: la superficie inferior 3a adyacente a la porción de eje 11; y la superficie

superior 3b está orientada hacia la superficie inferior 3a y siendo adyacente a la porción de pestaña 12. En la carcasa 3, la superficie inferior 3a se aproxima a la porción de eje 11 cuando el ángulo de incidencia Ψ se desplaza hacia un lado positivo, y la superficie superior 3b se aproxima a la porción de pestaña 12 cuando el ángulo de incidencia Ψ se desplaza hacia un lado negativo. El detector bidimensional 2 está previsto en un extremo de un lado de la superficie de emisión de rayos X de la carcasa 3. Es decir, el detector bidimensional 2 está dispuesto en un extremo en un lado que mira hacia un sitio de medición S. Una calculadora (no ilustrada) capaz de usar el anillo de difracción para calcular la tensión residual mediante el método cos α está conectada a la carcasa 3. El detector bidimensional 2 se ejemplifica mediante una placa de formación de imágenes.

En el método para medir una tensión residual, en un caso en el que el ángulo de incidencia de los rayos X se indica con Ψ [°], un radio de curvatura de la porción de curvatura 13 se indica con R [mm], un ángulo de curvatura de la porción de curvatura 13 se indica con θ [°], una anchura vertical de la carcasa 3 se indica con W [mm], la anchura de una zona de detección del detector bidimensional 2 se indica con D [mm], un ángulo complementario de un ángulo de Bragg se indica con η [°] y un intervalo entre la porción de pestaña 12 y la línea recta imaginaria V que pasa a través de un centro de curvatura P y es paralela a la porción de pestaña 12 se indica con [mm], cumpliéndose la siguiente fórmula 1.

$$D \leqq W \quad \cdots 1$$

En el método para medir una tensión residual, la tensión residual de la porción de curvatura 13 se mide capturando una imagen de la totalidad o parte del anillo de difracción en el detector bidimensional 2. Por lo tanto, como se muestra en la fórmula 1 anterior, la anchura D de la región de detección del detector bidimensional 2 debe ser menor o igual a la anchura vertical W de la carcasa 3. Cabe señalar que la "anchura de la región de detección del detector bidimensional", como se hace referencia en el presente documento, significa más específicamente la anchura de la región de detección del detector bidimensional en una dirección vertical de la carcasa (es decir, una anchura vertical de la región de detección del detector bidimensional).

Asimismo, en el método para medir una tensión residual, en un caso en el que Ψ ≥ 0, una distancia de irradiación L [mm] de los rayos X, basándose la distancia de irradiación L en el detector bidimensional 2 en la etapa de cálculo, cumple la siguiente fórmula 2.

$$\frac{-R(1-\cos\theta)+\frac{W}{2}\mathrm{sen}\,(\theta+\psi)}{\cos(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 2$$

Además, en el método para medir una tensión residual, en un caso en el que Ψ < 0, la distancia de irradiación L [mm] de los rayos X, basándose la distancia de irradiación L en el detector bidimensional 2 en la etapa de cálculo, cumple la siguiente fórmula 3.

$$\frac{R\mathrm{sen}\theta+\frac{W}{2}\cos(\theta+\psi)-a}{\mathrm{sen}\,(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 3$$

Cabe señalar que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se refiere a un ángulo formado entre los rayos X y la línea recta imaginaria N que pasa por el sitio de medición S y el centro de curvatura P. Asimismo, con respecto a la recta imaginaria N que pasa por el lugar de medición S y el centro de curvatura P, el ángulo de incidencia Ψ es positivo en caso de inclinación hacia la porción de eje 11, y es negativo en caso de inclinación hacia la porción de pestaña 12.

En el método para medir una tensión residual, cuando la distancia de irradiación L de los rayos X es excesivamente pequeña, en un caso en el que la carcasa 3 está inclinada de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X tenga un valor deseado, la carcasa 3 puede interferir con la porción de eje 11 o la porción de pestaña 12. Por otra parte, en el método para medir una tensión residual, aumentando la distancia de irradiación L de los rayos X, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X puede ajustarse dentro de un intervalo relativamente amplio. Sin embargo, en este caso, cuando la distancia de irradiación L de los rayos X aumenta excesivamente, el detector bidimensional 2 no puede detectar picos de rayos X difractados con un ángulo de difracción η.

A la luz de esto, en el caso de inclinar la carcasa 3 hacia la porción de eje 11 con respecto a la línea recta imaginaria N que pasa a través del sitio de medición S y el centro de curvatura P (es decir, en el caso en que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X sea positivo), el valor límite inferior de la distancia de irradiación L de los rayos X está representado por la siguiente fórmula 4 según la condición de que la carcasa 3 no esté en contacto con la porción de eje 11, y el valor límite superior de la distancia de irradiación L de los rayos X se representan mediante la siguiente fórmula 5 según la condición de que los picos del anillo de difracción sean detectables con el detector bidimensional 2.

$$L = \frac{-R(1-\cos\theta)+\frac{W}{2}\mathrm{sen}\,(\theta+\psi)}{\cos(\theta+\psi)} \quad \cdots 4$$

$$L=\frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 5$$

Por otra parte, en el caso de inclinar la carcasa 3 hacia la porción de pestaña 12 con respecto a la línea recta imaginaria N que pasa a través del sitio de medición S y el centro de curvatura P (es decir, en el caso en que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X sea negativo), el valor límite inferior de la distancia de irradiación L de los rayos X está representado por la siguiente fórmula 6 según la condición de que la carcasa 3 no esté en contacto con la porción de pestaña 12, y el valor límite superior de la distancia de irradiación L de los rayos X se representan mediante la siguiente fórmula 7 según la condición de que los picos del anillo de difracción sean detectables con el detector bidimensional 2.

$$L=\frac{R\,\mathrm{sen}\theta+\frac{W}{2}\cos(\theta+\psi)-a}{\mathrm{sen}\,(\theta+\psi)} \quad \cdots 6$$

$$L=\frac{D}{2\tan\eta} \quad \cdots 7$$

Condiciones de medición

Las condiciones de medición en el método para medir una tensión residual se describen con referencia a las figuras 2 a 5.

Distancia de irradiación

En primer lugar, con referencia a las figuras 2 y 3, se describe un posible intervalo de la distancia de irradiación L de los rayos X en el método para medir una tensión residual. En general, en el método cos α, cuando el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X en el sitio de medición S es inferior a ±15° (es decir, mayor a -15° y menor a +15°), la precisión de la medición se deteriora rápidamente. Por lo tanto, en las figuras 2 y 3, se describe la distancia de irradiación L de los rayos X obtenida utilizando las fórmulas 1 a 3 anteriores en el caso en que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se establece en ±15°. La figura 2 ilustra un posible intervalo Q1 de la distancia de irradiación L de los rayos X con respecto al ángulo de curvatura θ, en un caso en el que el radio de curvatura R de la porción de curvatura 13 es de 18 mm, la anchura vertical W de la carcasa 3 es de 44 mm, la anchura D de la zona de detección del detector bidimensional 2 es de 40 mm, el intervalo a entre la porción de pestaña 12 y la línea recta imaginaria V que pasa por el centro de curvatura P y es paralela a la porción de pestaña 12 es de 2 mm, y el ángulo complementario η del ángulo de Bragg es de 23,6°. Asimismo, la figura 3 ilustra un posible intervalo Q2 de la distancia de irradiación L de los rayos X con respecto al radio de curvatura R, en un caso en el que, con respecto a la figura 2, el ángulo de curvatura θ es de 60° y el radio de curvatura R es variable.

En la figura 2, en un caso en el que el ángulo de curvatura θ de la porción de curvatura 13 es de 57°, el intervalo posible Q1 de la distancia de irradiación L de los rayos X es el más limitado. La figura 2 indica que, en un caso en el que el ángulo de curvatura θ es menor o igual a 57°, la carcasa 3 está preferiblemente inclinada hacia la porción de eje 11 de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se vuelve positivo. Asimismo, se encuentra que, en un caso en el que el ángulo de curvatura θ es mayor que 57°, la carcasa 3 está preferiblemente inclinada hacia la porción de pestaña 12, de modo que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se vuelve negativo.

En la figura 3, en un caso en el que el radio de curvatura R de la porción de curvatura 13 es de 21 mm, el intervalo posible Q2 de la distancia de irradiación L de los rayos X es el más limitado. La figura 3 indica que, en un caso en el que el radio de curvatura R es menor o igual a 21 mm, la carcasa 3 está preferiblemente inclinada hacia la porción de pestaña 12, de modo que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se vuelve negativo. Asimismo, se encuentra que, en un caso en el que el radio de curvatura R es mayor que 21 mm, la carcasa 3 está preferiblemente inclinada hacia la porción de eje 11 de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se vuelve positivo.

Anchura vertical de la carcasa

Con referencia a las figuras 4 y 5, se describe un posible intervalo de la anchura vertical W de la carcasa 3 en el método para medir una tensión residual. La Figura 4 ilustra el posible intervalo de la anchura vertical W de la carcasa 3 en relación con el ángulo de curvatura θ, en un caso en el que las condiciones son similares a las de la figura 2, excepto porque la anchura vertical W de la carcasa 3 y la distancia de irradiación L de los rayos X se ajusta al valor máximo. Asimismo, la figura 5 ilustra el posible intervalo de la anchura vertical W de la carcasa 3 en relación con el radio de curvatura R, en un caso en el que, con respecto a la figura 4, el ángulo de curvatura θ es de 60° y el radio de curvatura R es variable.

En la figura 4, en el caso en el que el ángulo de curvatura θ de la porción de curvatura 13 sea de 57°, el intervalo posible de la anchura vertical W de la carcasa 3 es el más limitado. La figura 4 indica que, en el caso en el que el ángulo de curvatura θ sea menor o igual a 57°, inclinar la carcasa 3 hacia la porción de eje 11 permite medir en las condiciones deseadas incluso en el caso en el que la anchura vertical W de la carcasa 3 sea relativamente grande. Asimismo, se encuentra que, en el caso en el que el ángulo de curvatura θ es mayor que 57°, inclinar la carcasa 3

hacia la porción de pestaña 12 permite medir en las condiciones deseadas incluso en el caso en el que la anchura vertical W de la carcasa 3 sea relativamente grande.

En la figura 5, en el caso en el que el radio de curvatura R de la porción de curvatura 13 sea de 21 mm, el intervalo posible de la anchura vertical W de la carcasa 3 es el más limitado. La figura 5 indica que, en el caso en el que el radio de curvatura R sea menor o igual a 21 mm, inclinar la carcasa 3 hacia la porción de pestaña 12 permite medir en las condiciones deseadas incluso en el caso en el que la anchura vertical W de la carcasa 3 sea relativamente grande. Asimismo, se encuentra que, en el caso en el que el radio de curvatura R es mayor que 21 mm, inclinar la carcasa 3 hacia la porción de eje 11 permite medir en las condiciones deseadas incluso en el caso en el que la anchura vertical W de la carcasa 3 sea relativamente grande.

Configuraciones de centro de curvatura y radio de curvatura

Como se ilustra en la figura 6, en el método para medir una tensión residual, en un caso en el que la curvatura de la porción de curvatura 13 es constante, el centro de curvatura P y el radio de curvatura R se establecen para que correspondan a la curvatura. Por otra parte, en la porción de curvatura 13 puede haber presente una pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros. Un ejemplo de un método para establecer el centro de curvatura y el radio de curvatura en el caso en el que la pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros estén presentes en la porción de curvatura se describe con referencia a las figuras 7 y 8.

Una porción de curvatura 13a en la figura 7 incluye: una primera región Y1 que tiene un primer radio de curvatura R1; y una segunda región Y2 que tiene un segundo radio de curvatura R2 que es menor que el primer radio de curvatura R1. En este caso, un centro de curvatura PI y el radio de curvatura RI de la primera región Y1 que tiene el mayor radio de curvatura se pueden definir como un centro de curvatura y un radio de curvatura de la porción de curvatura 13a. Al definir así el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura 13a, una tensión residual de la porción de curvatura 13a se puede medir fácilmente con alta precisión.

Una porción de curvatura 13b en la figura 8 incluye: una primera región Y1' que tiene un primer arco C1; una segunda región Y2' que tiene un segundo arco C2 que es más corto que el primer arco; y una tercera región Y3' que tiene un tercer arco C3 que es más corto que el segundo arco C2. En este caso, un centro de curvatura P1' y un radio de curvatura R1' de la primera región Y1' que tiene el arco más largo se pueden definir como un centro de curvatura y un radio de curvatura de la porción de curvatura 13b. Al definir así el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura 13b, una tensión residual de la porción de curvatura 13b se puede medir fácilmente con alta precisión.

Medición de la tensión residual

La etapa de cálculo incluye preferiblemente una etapa (etapa de eliminación) de disponer el aparato de medición de la tensión por rayos X 10 con respecto a la porción de curvatura 13, 13a o 13b ajustando la distancia de irradiación L de los rayos X de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se acerque a un valor establecido dentro de un intervalo que cumple las fórmulas 1 a 3 anteriores. Es decir, la etapa de cálculo incluye preferiblemente: una etapa (etapa de derivación) de derivación, utilizando las fórmulas anteriores 1 a 3, condiciones para disponer del aparato de medición de tensión por rayos X 10; una etapa (etapa de eliminación) de disponer el aparato de medición de tensión por rayos X 10 con respecto a la porción de curvatura 13, 13a o 13b en base a las condiciones derivadas en la etapa de obtención; y una etapa (etapa de cálculo de la tensión residual) de calcular la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b en la disposición en la etapa de disposición, en donde, en la etapa de eliminación, el aparato de medición de tensión de rayos X 10 está dispuesto con respecto a la porción de curvatura 13, 13a o 13b ajustando la distancia de irradiación L de los rayos X de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se acerque al valor establecido dentro el intervalo que cumple las fórmulas 1 a 3 anteriores. En la etapa de eliminación, por ejemplo, se ajustan una dirección de inclinación de la carcasa 3 y la distancia de irradiación L de los rayos X, de tal manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se aproxime al valor ajustado. Cuando la etapa de cálculo incluye la etapa de eliminación descrita anteriormente, el método para medir una tensión residual permite medir fácilmente, con alta precisión, la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b.

El valor establecido en la etapa de eliminación es preferiblemente 35° o -35°. Según esta configuración, la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b se puede medir con mayor precisión.

En la etapa de derivación, las condiciones que cumplen el valor establecido se derivan preferiblemente como las condiciones para disponer del aparato de medición de tensión por rayos X 10. Sin embargo, puede ser concebible un caso en el que las condiciones que cumplen el valor establecido no puedan derivarse en la etapa de obtención dependiendo de la forma de la porción de curvatura 13, 13a o 13b. En el caso en que las condiciones que cumplen el valor establecido no puedan derivarse en la etapa de derivación, el método para medir una tensión residual tiene una notable superioridad con respecto a un método de medición convencional en el que la disposición del aparato de medición de tensión por rayos X 10 se ha decidido al tacto. En el método para medir una tensión residual, por ejemplo, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X derivados en la etapa de derivación puede caer dentro de ±30° (es decir, mayor o igual a -30° y menor o igual a 30°), y puede caer dentro de ±15° (es decir, mayor o igual a -15° y menor o

igual a 15°). Incluso en un caso de este tipo, el método para medir una tensión residual permite medir fácilmente, con alta precisión, la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b en comparación con el método de medición convencional.

Ventajas

De acuerdo con el método para medir una tensión residual, en el caso de medir la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b formada en la porción de conexión entre la porción de eje 11 y la porción de pestaña 12, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se puede acercar a un ángulo deseado. De este modo, de acuerdo con el método para medir una tensión residual, la tensión residual de la porción de curvatura 13, 13a o 13b se puede medir con alta precisión.

Otras realizaciones

Las realizaciones descritas anteriormente no limitan la configuración de la presente invención. Por lo tanto, en las realizaciones descritas anteriormente, los componentes de cada parte de las realizaciones descritas anteriormente se pueden omitir, reemplazado o agregado según la descripción en la presente memoria descriptiva y el conocimiento técnico general, y dicha omisión, reemplazo o adición debe considerarse que cae dentro del alcance de la presente invención.

En el método para medir una tensión residual, en el caso en el que la porción de curvatura incluye la pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, por ejemplo, el centro de curvatura y el radio de curvatura se pueden determinar para cada sitio de medición.

Ejemplos

En lo sucesivo en el presente documento, la presente invención se describe detalladamente mediante ejemplos; la presente invención no debe considerarse limitada a la descripción de los Ejemplos.

Utilizando un aparato de medición de tensión por rayos X en el que la anchura D de una región de detección de un detector bidimensional es de 70 mm y la anchura vertical de una carcasa es de 102 mm, la tensión residual de una porción de curvatura de una estructura metálica que incluye una porción de eje y una porción de pestaña que sobresale radialmente de la porción de eje se midió mediante el método cos α. El radio de curvatura R de la porción de curvatura fue de 29 mm, el ángulo complementario η del ángulo de Bragg fue de 23,6°, y el intervalo a entre la porción de pestaña y la línea recta imaginaria que pasa por el centro de curvatura y es paralela a la porción de pestaña fue de 8 mm.

Ejemplos comparativos

Mientras se confirma visualmente que la carcasa no entró en contacto con la porción del eje o la porción de pestaña, el aparato de medición de la tensión por rayos X se dispuso de tal manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X fuera lo más grande posible. En los Ejemplos comparativos, la tensión residual de la porción de curvatura se midió, en cada uno de los casos en los que el ángulo de curvatura θ de la porción de curvatura es de 45°, 50° y 55°, cambiando la disposición del aparato de medición de tensión por rayos X 6 veces. La figura 9 ilustra la relación entre el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X y la distancia de irradiación L de los rayos X en los Ejemplos comparativos. Asimismo, la figura 10 ilustra el valor máximo del ángulo de incidencia Ψ de los rayos X para cada ángulo de curvatura θ.

Ejemplos

Para cada uno de los casos en los que el ángulo de curvatura θ es de 45°, 50° y 55°, la disposición del aparato de medición de tensión por rayos X se decidió utilizando las fórmulas 1 a 3 anteriores. En los Ejemplos, utilizando las fórmulas anteriores 1 a 3, la disposición del aparato de medición de tensión por rayos X se decidió de manera que el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X se aproximara a ±35°. En los Ejemplos, en cada uno de los casos en los que el ángulo de curvatura θ es de 45°, 50° y 55°, la carcasa estaba inclinada hacia la porción del eje con respecto a la línea recta imaginaria que pasa por el sitio de medición y el centro de curvatura. La figura 9 ilustra la relación entre el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X y la distancia de irradiación L de los rayos X en los Ejemplos. Asimismo, la figura 10 ilustra el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X para cada ángulo de curvatura θ.

Como se ilustra en las figuras 9 y 10, el ángulo de incidencia Ψ de los rayos X en los Ejemplos se pudo establecer para que fuera mayor que el de los Ejemplos comparativos. Esto indica que la tensión residual de la porción de curvatura se puede medir con alta precisión en los Ejemplos en comparación con los Ejemplos comparativos.

[Aplicabilidad industrial]

Como se ha descrito anteriormente, el método para medir una tensión residual según un aspecto de la presente invención es adecuado para medir la tensión residual de la porción de curvatura.

Explicación de los símbolos de referencia

1	Porción de irradiación
2	Detector bidimensional
3	Carcasa
3a	Superficie inferior
3b	Superficie superior
10	Aparato de medición de tensión por rayos X
11	Porción de eje
12	Porción de pestaña
13, 13a, 13b	Porción de curvatura
a	Intervalo entre la porción de pestaña y la línea recta imaginaria que pasa por el centro de curvatura y es paralela a la porción de pestaña
C1	Primer arco
C2	Segundo arco
C3	Tercer arco
D	Anchura de la región de detección del detector bidimensional
L	Distancia de irradiación de los rayos X
M	Estructura metálica
N	Línea recta imaginaria que pasa por el lugar de medición y el centro de curvatura P del centro de curvatura
P1, P1'	Centro de curvatura
Q1, Q2	Posible intervalo de distancia de irradiación de los rayos X
R	Radio de curvatura
R1	Primer radio de curvatura
R1'	Radio de curvatura
R2	Segundo radio de curvatura
S	Lugar de medición
V	Línea recta imaginaria que pasa por el centro de curvatura y es paralela a la porción de pestaña
W	Anchura vertical de la carcasa
Y1, Y1'	Primera región
Y2, Y2'	Segunda región
Y3'	Tercera región
θ	Ángulo de curvatura
Ψ	Ángulo de incidencia de los rayos X
η	Ángulo complementario del ángulo de Bragg

REIVINDICACIONES

1. Un método para medir una tensión residual de una porción de curvatura de una estructura metálica, comprendiendo la estructura metálica:

una porción de eje; y
una porción de pestaña que sobresale radialmente de la porción de eje,
en donde la estructura metálica comprende la porción de curvatura en una porción de conexión entre la porción de eje y la porción de pestaña,
comprendiendo el método:
calcular la tensión residual mediante el método cos α, mediante el uso de un aparato de medición de tensión por rayos X que comprende:

una porción de irradiación que suministra rayos X;
un detector bidimensional que detecta un anillo de difracción generado por difracción de Bragg de los rayos X entregados desde la porción de irradiación a la porción de curvatura; y
una carcasa en la que están montados la porción de irradiación y el detector bidimensional,

en donde
en un caso en el que un ángulo de incidencia de los rayos X se indica con Ψ [°], un radio de curvatura de la porción de curvatura se indica con R [mm], un ángulo de curvatura de la porción de curvatura se indica con θ [°], una anchura vertical de la carcasa se indica con W [mm], una anchura de una zona de detección del detector bidimensional se indica con D [mm], un ángulo complementario de un ángulo de Bragg se indica con η [°] y un intervalo entre la porción de pestaña y una línea recta imaginaria que pasa por un centro de curvatura y es paralela a la porción de pestaña se indica con [mm], cumpliéndose la fórmula 1:

$$D \leqq W \qquad \cdots 1$$

en un caso en el que Ψ ≥ 0, una distancia de irradiación L [mm] de los rayos X, basándose la distancia de irradiación L en el detector bidimensional en la etapa de cálculo, cumple la siguiente fórmula 2,
y
en un caso en el que Ψ < 0, la distancia de irradiación L en la etapa de cálculo cumple la siguiente fórmula 3,

$$\frac{-R(1-\cos\theta)+\frac{W}{2}\operatorname{sen}(\theta+\psi)}{\cos(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \qquad \cdots 2$$

$$\frac{R\operatorname{sen}\theta+\frac{W}{2}\cos(\theta+\psi)-a}{\operatorname{sen}(\theta+\psi)} \leqq L \leqq \frac{D}{2\tan\eta} \qquad \cdots 3$$

en donde, con respecto a una línea recta imaginaria que pasa a través de un sitio de medición y el centro de curvatura, el ángulo de incidencia Ψ es positivo en caso de inclinación hacia la porción de eje, y es negativo en caso de inclinación hacia la porción de pestaña.

2. El método para medir una tensión residual según la reivindicación 1, en donde, en un caso en el que la porción de curvatura comprende una pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, un centro de curvatura y un radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, una región que tiene un diámetro mayor se define como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura.

3. El método para medir una tensión residual según la reivindicación 1, en donde, en un caso en el que la porción de curvatura comprende una pluralidad de regiones que tienen diferentes diámetros, un centro de curvatura y un radio de curvatura de, entre la pluralidad de regiones, una región que tiene un arco más largo se define como el centro de curvatura y el radio de curvatura de la porción de curvatura.

4. El método para medir una tensión residual según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el cálculo comprende:
disponer el aparato de medición de tensión por rayos X con respecto a la porción de curvatura, ajustando la distancia de irradiación L de manera que el ángulo de incidencia Ψ se acerque a un valor establecido dentro de un intervalo que cumpla las fórmulas 1 a 3.

5. El método para medir una tensión residual según la reivindicación 4, en donde el valor establecido es 35° o -35°.

FIG. 1

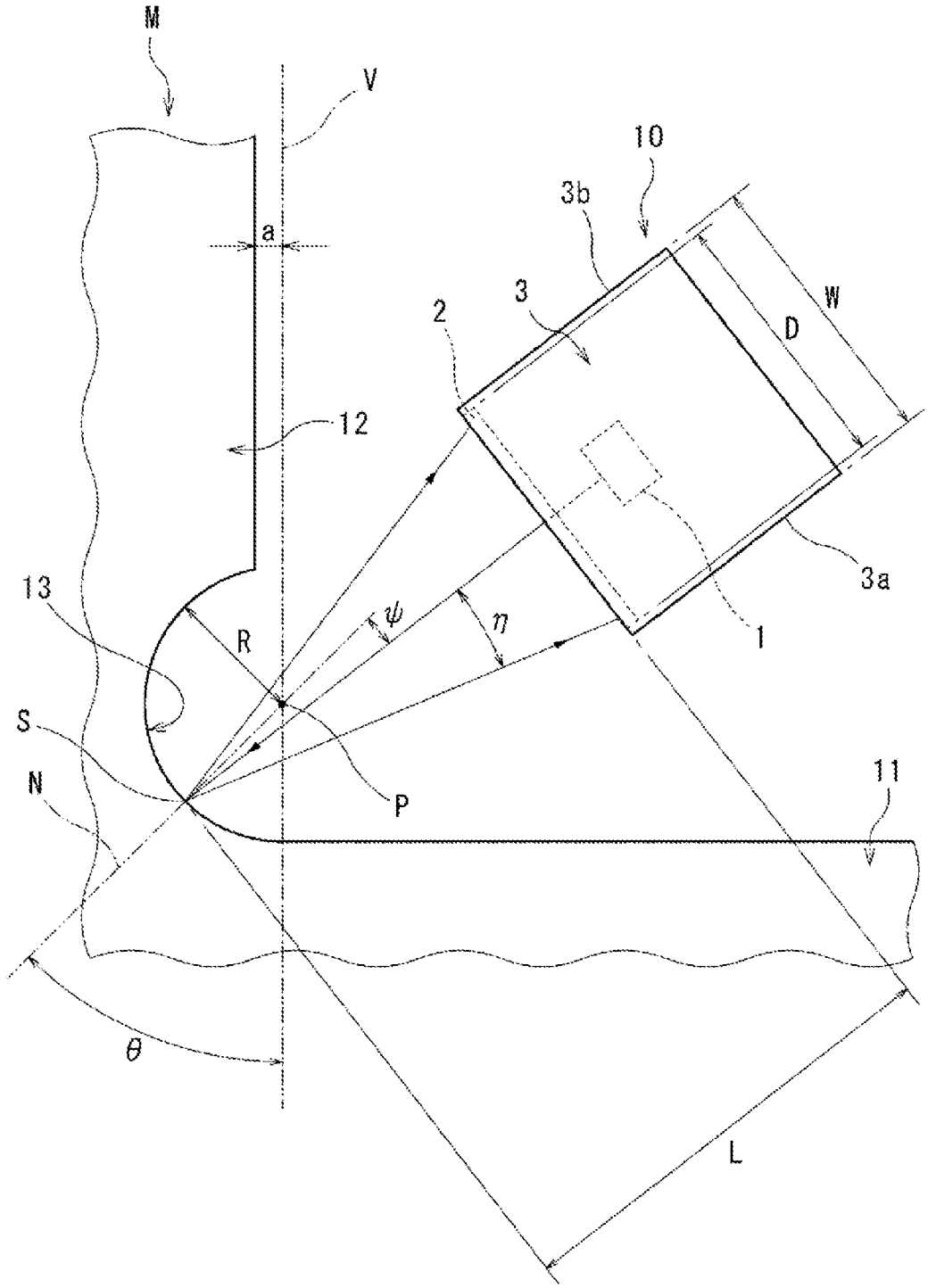


FIG. 2

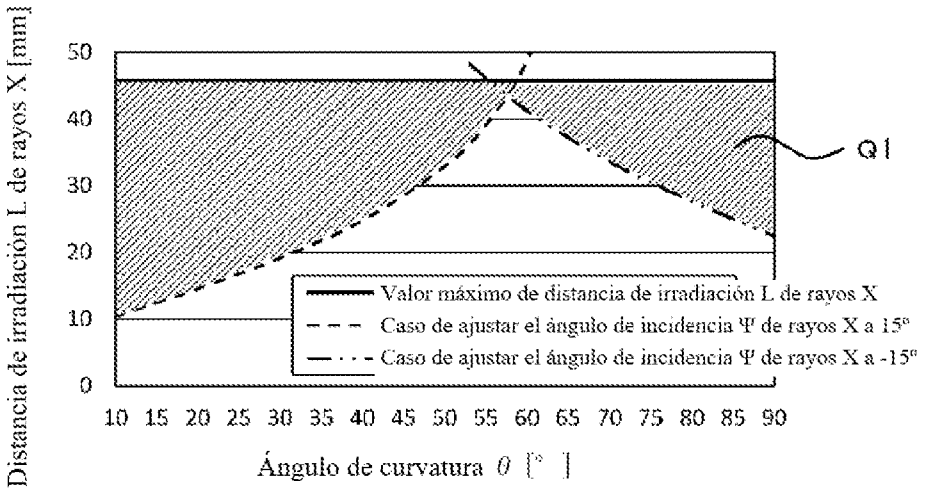

Distancia de irradiación L de rayos X [mm]
50
40
30
20
10
0
10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90
Ángulo de curvatura θ [°]
Q1
Valor máximo de distancia de irradiación L de rayos X
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a 15°
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a -15°

FIG. 3

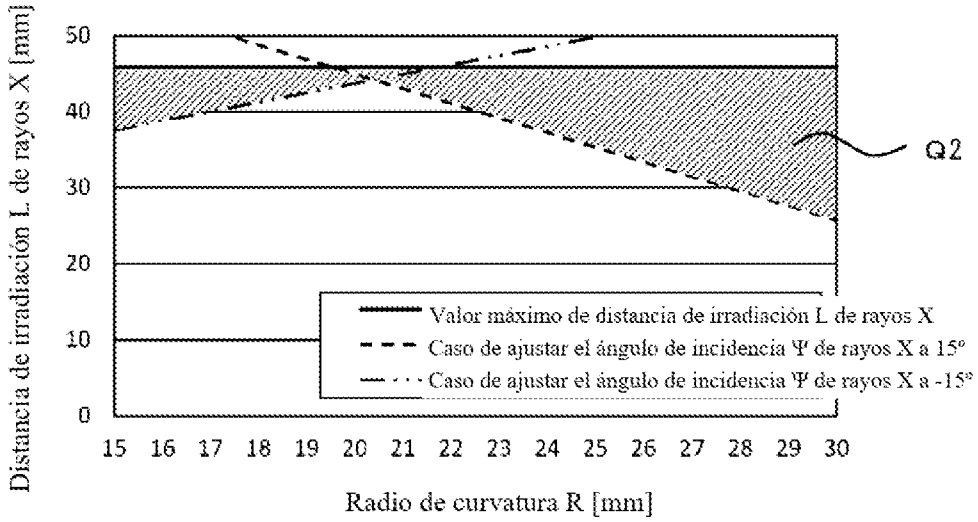

Distancia de irradiación L de rayos X [mm]
50
40
30
20
10
0
15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Radio de curvatura R [mm]
Q2
Valor máximo de distancia de irradiación L de rayos X
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a 15°
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a -15°

FIG. 4

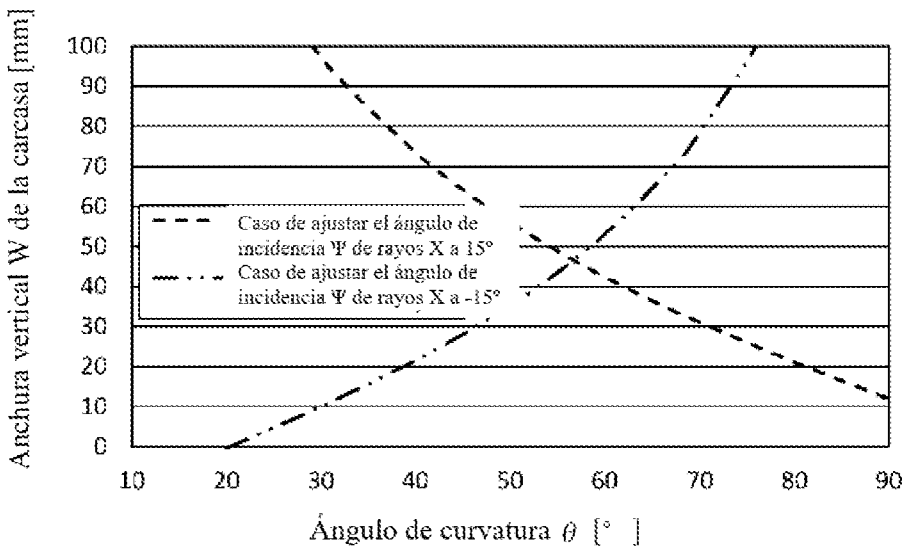

Anchura vertical W de la carcasa [mm]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a 15°
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a -15°
Ángulo de curvatura θ [°]

FIG. 5

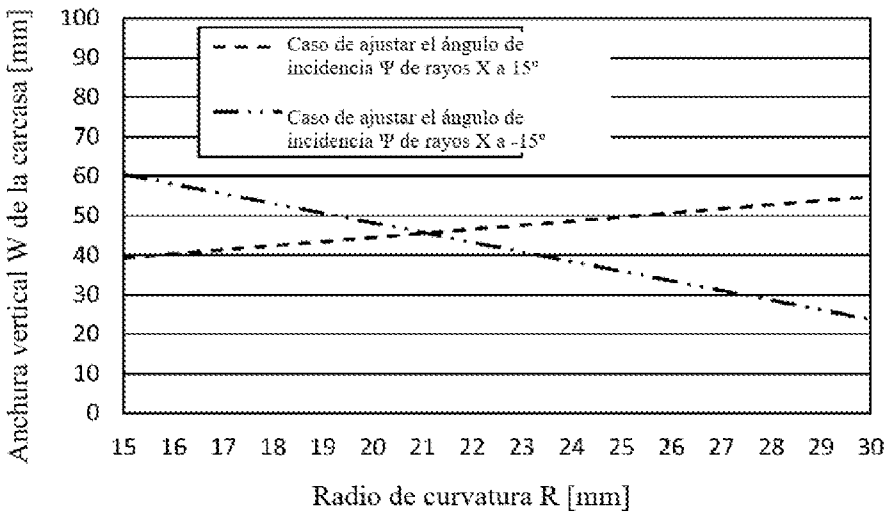

Anchura vertical W de la carcasa [mm]
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a 15°
Caso de ajustar el ángulo de incidencia Ψ de rayos X a -15°
15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
Radio de curvatura R [mm]

FIG. 6

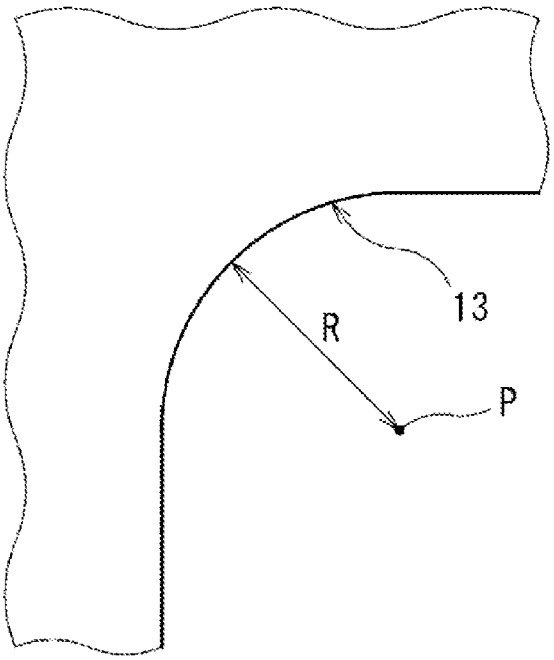


FIG. 7

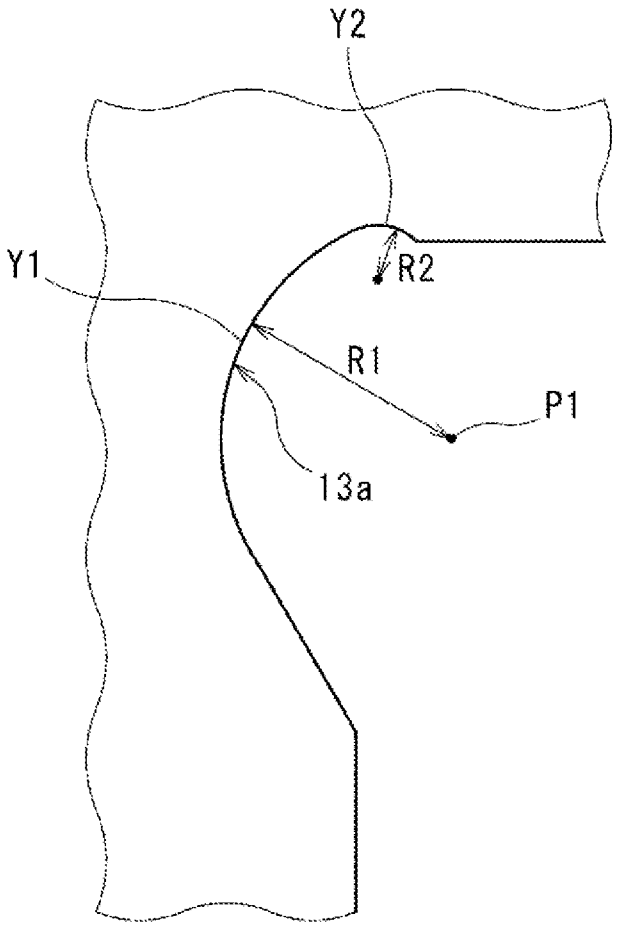


FIG. 8

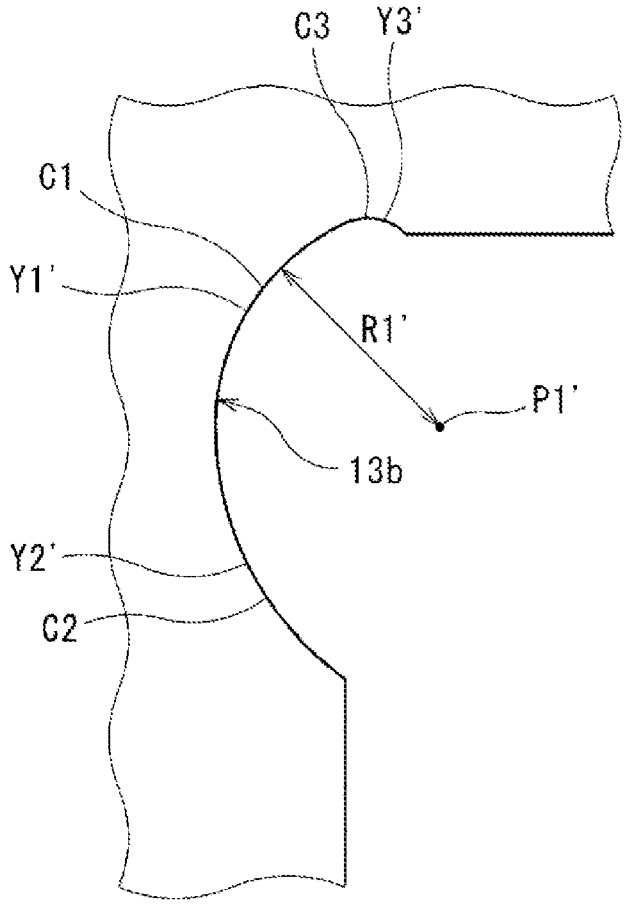


FIG. 9

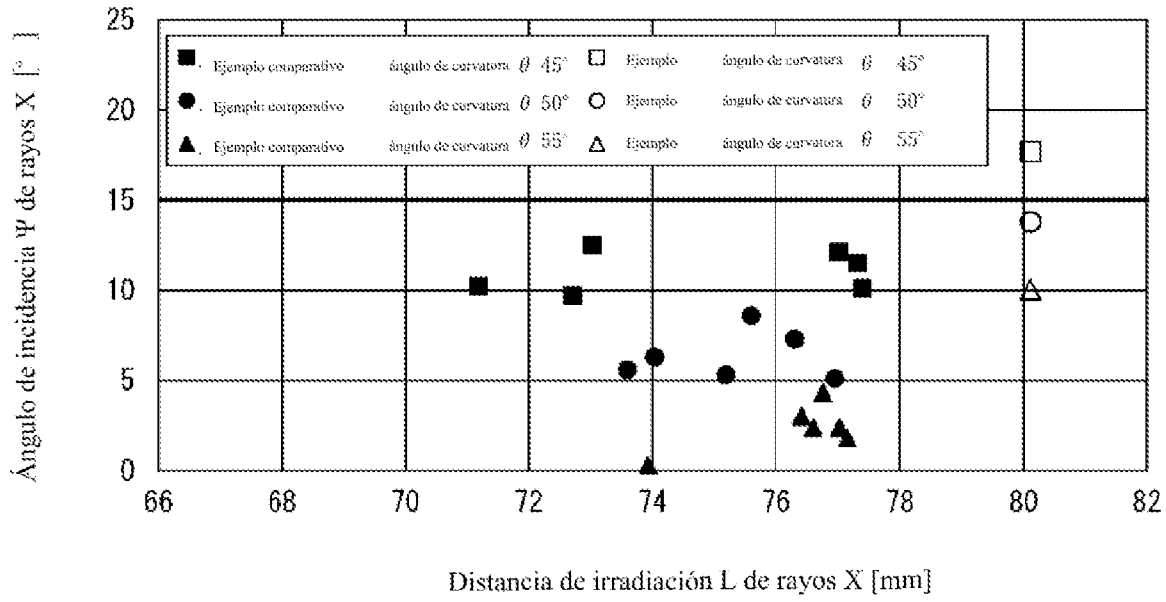
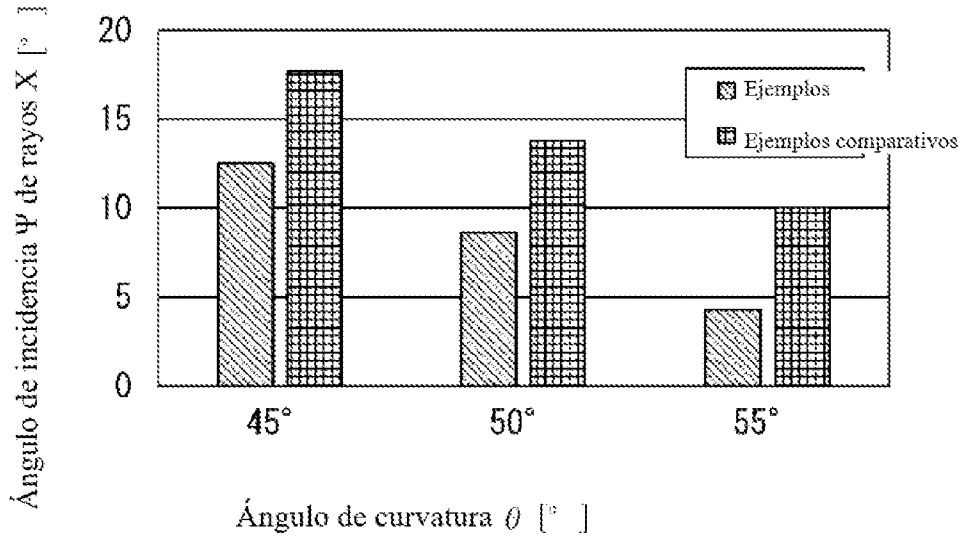

Ángulo de incidencia Ψ de rayos X [°]
25
20
15
10
5
0
66
68
70
72
74
76
78
80
82
Ejemplo comparativo ángulo de curvatura θ 45°
Ejemplo comparativo ángulo de curvatura θ 50°
Ejemplo comparativo ángulo de curvatura θ 55°
Ejemplo ángulo de curvatura θ 45°
Ejemplo ángulo de curvatura θ 50°
Ejemplo ángulo de curvatura θ 55°
Distancia de irradiación L de rayos X [mm]

FIG. 10


Ángulo de incidencia Ψ de rayos X [°]
20
15
10
5
0
45°
50°
55°
Ejemplos
Ejemplos comparativos
Ángulo de curvatura θ [°]