

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 720 473**

51 Int. Cl.:

F28F 1/00	(2006.01)	C22F 1/00	(2006.01)
B21C 3/10	(2006.01)		
B21C 9/00	(2006.01)		
B21D 3/02	(2006.01)		
C22C 19/05	(2006.01)		
C22C 38/00	(2006.01)		
C22C 38/58	(2006.01)		
C22F 1/10	(2006.01)		
F28F 1/40	(2006.01)		
F28F 21/08	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.06.2011 PCT/JP2011/003194**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12001882**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.06.2011 E 11800358 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.03.2019 EP 2587206**

54 Título: **Tubo de transferencia de calor para generador de vapor y método para fabricar el mismo**

30 Prioridad:

28.06.2010 JP 2010146136

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

22.07.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**TOYODA, MASATOSHI y
KURODA, KOUICHI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 720 473 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

Tubo de transferencia de calor para generador de vapor y método para fabricar el mismo

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a un método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor y a un tubo de transferencia de calor utilizado para un generador de vapor de plantas de generación de energía nuclear y de generación de energía térmica. Con más detalle, la presente invención se refiere al método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor y a un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor, que puede mejorar la eficiencia de inspección en la inspección mediante un ensayo de corriente parásita del tipo de sonda interior.

10 En el presente documento, a menos que se describa lo contrario, la definición de un término en la descripción predefinida es la siguiente:

15 "Tubo de transferencia de calor para generador de vapor": este término define un tubo de transferencia de calor con un diámetro pequeño y una longitud más larga, utilizado para un generador de vapor o similar en plantas de generación de energía nuclear y de generación de energía térmica. En particular, un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor para la generación de energía nuclear también se abrevia asimismo como un tubo SG (generador de vapor, Steam Generator, en inglés).

Antecedentes de la técnica

20 Un tubo SG en forma de U utilizado para un generador de vapor y un intercambiador de calor tal como un calentador de agua de alimentación, que se utiliza en una planta de energía nuclear, se fabrica doblando un tubo de transferencia de calor que tiene un diámetro pequeño y una longitud más larga en forma de letra U. En este tubo SG en forma de U, una inspección para detectar un defecto en la superficie interior del tubo mediante un ensayo de corriente parásita del tipo de sonda interior se realiza como una inspección previa al servicio después de que el tubo es incorporado en el intercambiador de calor, y como una inspección en servicio después de un servicio durante un período de tiempo predeterminado. Un estándar de inspección para la detección de defectos mediante corrientes parásitas del tipo de sonda interior es extremadamente estricto, debido a que la seguridad de la planta de generación de energía nuclear debe ser garantizada.

25 La figura 1 es un ejemplo de un gráfico que muestra el resultado de la detección de un mediante corriente parásita en la superficie interior de un tubo. Tal como se muestra en el dibujo, en el gráfico se muestra una señal S de una entalladura estándar especificada por el Estándar de inspección, y una señal N que tiene un ciclo constante P. La señal N se conoce como ruido (Noise, en inglés) de fondo, y está causada por una variación dimensional diminuta generada a lo largo de la dirección axial del tubo. La magnitud de la señal N se debe hacer lo más pequeña posible, para evitar que la señal N se determine erróneamente como una señal debida a un defecto detectado y para realizar una pregunta rápida sobre defectos para mejorar la eficiencia de la inspección. En la siguiente descripción, una relación de la señal S causada por una entalladura estándar con respecto a la señal N se conoce como "una relación S/N".

30 Por ejemplo, en el caso de que se realice el ensayo mediante corrientes parásitas del tipo de sonda interior para la inspección de la superficie interior del tubo, se realiza una pregunta automática sobre defectos en base a las señales que se muestran en la tabla, cuando el ruido de fondo es alto, es decir, la relación S/N es pequeña, una señal que muestra un defecto pequeño pero perjudicial se oculta bajo el ruido de fondo, lo que dificulta la distinción entre el pequeño defecto perjudicial y el ruido de fondo.

35 Por esta razón, cuando se realiza la detección de defectos mediante corrientes parásitas, un examinador observa visualmente el resultado de la detección de defectos mediante corrientes parásitas y, cuando el examinador encuentra una señal dudosa que podría estar generada en una parte específica, el examinador inspecciona de nuevo la parte específica a una velocidad más baja para distinguir de este modo entre el pequeño defecto perjudicial y el ruido de fondo, lo que disminuye la eficiencia de la inspección. Puesto que el ruido de fondo está causado por una variación dimensional diminuta generada a lo largo de la dirección longitudinal de un tubo SG, la reducción en la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal del tubo SG es importante para mejorar la eficiencia de la inspección en la detección de defectos mediante corrientes parásitas.

40 En general, el tubo SG de este tipo se fabrica mediante un proceso de fabricación que incluye las siguientes etapas de:

- (1) terminar un tubo en un tamaño predeterminado en un proceso de trabajo en frío;
- (2) eliminar la tensión residual del tubo y homogeneizar la microestructura del tubo en un proceso de tratamiento térmico de solución sólida; y

(3) rectificar las curvas y la falta de redondez del tubo que son generadas por la tensión residual atribuible al proceso de tratamiento térmico de solución sólida, mediante la utilización de una máquina de rectificado de rodillos en un proceso de rectificado.

5 En el proceso de trabajo en frío, se emplea un método de laminación en frío (laminación Pilger) mediante un molino Pilger que utiliza rodillos y un mandril o un trabajo de estirado mediante herramientas tales como una matriz y un punzón. En este trabajo de estirado, con el fin de reducir la fricción causada cuando la herramienta es puesta en contacto con un tubo como pieza de trabajo para evitar con ello que se produzcan gripados y vibraciones / traqueteos, en general, se forma un recubrimiento lubricante de tratamiento químico en la superficie interior y la superficie exterior del tubo a ser estirado para aplicar con ello un tratamiento lubricante a la superficie interior y a la superficie exterior del tubo.

10 Sin embargo, puesto que el tubo SG tiene un diámetro pequeño y una longitud más larga, la formación del recubrimiento lubricante de tratamiento químico requiere mucho tiempo y una gran cantidad de horas-hombre, y un agente químico utilizado para la formación del recubrimiento lubricante de tratamiento químico es comparativamente costoso, lo que resulta en un aumento de los costes operativos. Además, puesto que en muchos casos se utiliza una aleación a base de Ni para el tubo SG, la aleación es inhibidora para la formación de un recubrimiento lubricante de tratamiento químico en la superficie de la aleación. Por lo tanto, en el caso en el que se fabrique el tubo SG realizado de una aleación a base de Ni, el coste operativo necesario para formar el recubrimiento lubricante de tratamiento químico se incrementa aún más.

15 Por lo tanto, en el trabajo de estirado para fabricar el tubo SG realizado de una aleación a base de Ni, en muchos casos se utiliza un estirado a alta presión (estirado por lubricación forzada). El estirado a alta presión es un tipo de estirado en frío en el que se realiza un tratamiento de lubricación mediante una lubricación directa con aceite. El estirado a alta presión puede estabilizar el estirado en frío y tiene un efecto notable en la mejora de la calidad del tubo estirado.

El trabajo de estirado del tubo mediante el estirado a alta presión se realiza mediante las siguientes etapas de:

25 (1) llenar un recipiente de alta presión, en el que está insertado un tubo como pieza de trabajo, con aceite lubricante y, a continuación, presurizar el aceite lubricante mediante un reforzador de presión;

30 (2) formar una película de aceite lubricante entre el tubo y las herramientas, es decir, una matriz y un punzón, con el aceite lubricante a presión, estando montada la matriz de manera estanca en un extremo abierto del recipiente de alta presión, estando dispuesto el punzón de manera segura en una posición de trabajo mediante el aceite lubricante a presión; y

(3) estirar el tubo en un estado en el que la superficie interior y la superficie exterior del tubo están lubricadas de manera forzada por la película de aceite lubricante formada, para terminar el tubo en un tamaño predeterminado mediante las herramientas.

35 Por lo que respecta al trabajo de estirado mediante dicho estirado a alta presión, se han propuesto varios métodos. Por ejemplo, se propone la Bibliografía de patente 1. En la Bibliografía de patente 1 se propone un método para fabricar un tubo que tiene un diámetro pequeño y una longitud más larga mediante el trabajo en frío utilizando el estirado a alta presión, es decir, un método para estirar un tubo de metal en el que al menos el último trabajo en frío que incluye un trabajo de adelgazamiento de la pared se realiza mediante un arrastre mediante un punzón que utiliza un aceite lubricante a alta presión que tiene una presión de 49 MPa (500 kgf/cm²) o más. En la Bibliografía de patente 1, se describe que, puesto que al menos el último trabajo en frío, incluido el adelgazamiento de la pared, se realiza mediante el estirado a alta presión utilizando el aceite lubricante a alta presión, el tubo de metal fabricado no causa gripado y, por lo tanto, puede reducir variación dimensional a lo largo de la dirección axial del tubo.

40 En la Bibliografía de patente 1, se describe que de acuerdo con un método para estirar un tubo metálico, se puede reducir una variación dimensional a lo largo de la dirección axial del tubo metálico fabricado y, por lo tanto, el ruido generado por la variación dimensional en el tubo metálico se puede prevenir en la detección de defectos mediante corrientes parásitas del tipo de sonda interior de la superficie interior del tubo y, por lo tanto, un defecto en la superficie interior del tubo puede ser detectado correctamente en base a la salida de un dispositivo de detección de defectos. Sin embargo, la rugosidad superficial R_{MAX} (JIS 0601) de la superficie interior del tubo, que se muestra en un ejemplo de la Bibliografía de patente 1, es de 2,8 μm a 4,0 μm , y la relación S/N es de 13 a 18. Estos valores se miden antes de que el tubo sea rectificado mediante una máquina de rectificado de rodillos, pero después del rectificado, se supone que la rugosidad superficial y la relación S/N del tubo de metal rectificado deberían ser menores que estos valores.

55 Por otra parte, un sistema del tipo de rodillos inclinados en el que se combinan una pluralidad de rodillos cóncavos del tipo de tambor globoidal se emplea, en general, como la configuración de una máquina de rectificado de rodillos utilizada en un proceso de rectificado en la fabricación de un tubo SG. La máquina de rectificado del tipo de rodillos inclinados incluye varias configuraciones en términos de la combinación del número de rodillos, el alineamiento de los rodillos (dirección ascendente y descendente, dirección izquierda y derecha) y la disposición de los rodillos (disposición cruzada / opuesta, disposición en zigzag). Sin embargo, en un proceso de acabado del tubo SG se

emplea una máquina de rectificado de rodillos que tiene los rodillos dispuestos de manera que se cruzan y son opuestos entre sí.

La figura 2 es una ilustración que muestra un ejemplo de alineamiento de rodillos de una máquina de rectificado del tipo de rodillos inclinados. La máquina de rectificado de rodillos tiene una pluralidad de pares de rodillos de rectificado Ra, Rb (estos rodillos se denominan en conjunto "R") dispuestos uno frente al otro en la dirección vertical en el estado en el que los ejes giratorios se cruzan entre sí. En el alineamiento de rodillos que se muestra en el dibujo, tres pares de rodillos de rectificado incluidos los rodillos de entrada Ra1, Rb1, los rodillos centrales Ra2, Rb2 y los rodillos de salida Ra3, Rb3 están dispuestos uno frente al otro, y un rodillo auxiliar Rc está dispuesto en el lado de salida de los rodillos de salida. Una máquina de rectificado de rodillos que tiene un alineamiento de rodillos como este se denomina, en general, máquina de rectificado del tipo (2-2-2-1).

Un espacio entre los rodillos opuestos y un ángulo de cruce de un par de rodillos Ra1, Rb1 puede ser ajustado de manera individual. Además, las posiciones verticales de los rodillos de rectificado emparejados Ra1, Rb1 y los siguientes rodillos emparejados Ra2, Rb2 también pueden ser ajustados de manera individual. Aún más, un intervalo horizontal entre los rodillos de rectificado emparejados Ra1, Rb1 y los siguientes rodillos emparejados Ra2, Rb2, es decir, un intervalo entre soportes, también puede ser ajustado de manera individual.

Cuando las curvas del tubo son rectificadas, un ángulo de cruce θ de los ejes giratorios de los respectivos rodillos R de rectificado con respecto al tubo a rectificar, es decir, un ángulo de giro es ajustado de tal manera que la superficie del tubo a ser rectificada es a lo largo de las superficies de los rodillos de rectificado. Además, el espacio de los rodillos de rectificado emparejados opuestos Ra1, Rb1 se ajusta un poco menos que el diámetro exterior del tubo 1 a rectificar, para aplicar de este modo el aplastamiento al tubo 1 a rectificar, y la altura de aplastamiento de los rodillos de rectificado Ra2, Rb2 dispuestos a continuación de los rodillos de rectificado Ra1, Rb1 se ajusta para aplicar con ella la separación hasta el tubo 1 a rectificar, por lo que se pueden rectificar las curvas y la falta de redondez del tubo 1 a rectificar.

En cuanto al método para rectificar un tubo mediante una máquina de rectificado de rodillos, se han propuesto asimismo diversos métodos. Por ejemplo, se proponen las Bibliografías de patente 2 y 3. En la Bibliografía de Patente 2 se propone un método para rectificar un tubo mediante el cual se puede realizar una inspección del tubo con una alta relación S/N en la detección de defectos mediante corrientes parásitas del tipo de sonda interior de la superficie interior del tubo mediante la utilización de los rodillos de rectificado, en el que al menos una capa de la superficie exterior del cuerpo de un rodillo está formada por un elemento elástico que tiene una dureza Hs de 50 a 100 medida mediante un ensayo de dureza de resorte (tipo A) especificada por el documento JIS K 6301.

En un ejemplo en la Bibliografía de patente 2, se utiliza una máquina de rectificado de tipo (2-2-2-1) como máquina de rectificado de rodillos, y se ajusta la magnitud de la separación en una magnitud grande de 10 mm a 11 mm. Además, en el ejemplo de la Bibliografía de patente 2, se muestra una variación en el tamaño exterior de un tubo SG fabricado y es de 0,004 mm a 0,005 mm. Sin embargo, el nivel de tensión desarrollado en la superficie exterior del tubo debido al trabajo en frío y al rectificado es diferente del caso de la superficie interior y, por lo tanto, una variación dimensional en la superficie exterior a lo largo de la dirección longitudinal del tubo también es diferente del caso de la superficie interior. Por lo tanto, incluso si el tubo es rectificado mediante la máquina de rectificado de rodillos descrita en la Bibliografía de Patente 2, no está claro si la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo puede ser o no evitada. Además, la relación S/N del tubo SG que se muestra en los ejemplos de realización de la Bibliografía de patente 2 es tan baja como 20 a 50.

De acuerdo con un método para rectificar un tubo descrito en la Bibliografía de patente 3, un tubo es rectificado mediante al menos tres pares de rodillos de rectificado, cada uno de los cuales está dispuesto uno frente al otro, que se disponen en un lado de salida aplicando una separación al tubo, la separación está formada por tres posiciones a lo largo de una línea central axial del tubo, siendo cada posición una posición de cruce de los rodillos de rectificado superiores e inferiores, en el que η especificado por la fórmula (1) que se describe a continuación, se establece entre $1,0 \times 10^{-3}$ y $1,5 \times 10^{-3}$.

$$\eta = (1/R) \times (d/2) \dots (1)$$

en la que, puesto que d (mm) denota un diámetro exterior del tubo, L (mm) denota un intervalo entre soportes de la máquina de rectificado del rodillo y δ (mm) denota una magnitud de la separación, se cumple $R = (\delta^2 + L^2) / 2\delta$.

En la Bibliografía de patente 3, se describe que, de acuerdo con un método para rectificar un tubo, η especificado por la fórmula (1) descrita anteriormente cumple un rango predeterminado y, por lo tanto, es posible realizar una inspección de la superficie interior del tubo fabricado mediante detección de defectos mediante corrientes parásitas del tipo de tipo de sonda interior con una alta relación S/N. En un ejemplo de realización de la Bibliografía de patente 3, se muestra una relación S/N de un tubo SG que se rectifica mediante la utilización de una máquina de rectificado de tipo (2-2-2-1) que tiene tres pares de rodillos de rectificado con una magnitud de la separación de 6 mm o más aplicados al mismo, y el valor de la relación S/N está entre 32 y 91. Además, en el ejemplo de la Bibliografía de patente 3, no se aborda una variación dimensional en la superficie interior del tubo SG.

5 Cuando se fabrica el tubo SG, las curvas y la falta de redondez son generadas en el tubo por una tensión residual causada en el proceso de tratamiento térmico de solución sólida, por lo que las curvas y la falta de redondez deben ser rectificadas en el proceso de rectificado que sigue. Sin embargo, de acuerdo con el método convencional para rectificar un tubo descrito en las Bibliografías de patente 2 o 3, cuando las curvas y la falta de redondez del tubo son rectificadas mediante la máquina de rectificado de tipo (2-2-2-1), sucede que la variación dimensional en la superficie interior del tubo debe ser perceptible y, por lo tanto, debe disminuir la relación S/N en una inspección mediante detección de defectos mediante corrientes parásitas para reducir la eficiencia de la inspección en algunos casos.

Lista de citas

10 Bibliografía de patente

Bibliografía de patente 1: Publicación de la solicitud de patente japonesa N° 03-18419

Bibliografía de patente 2: Publicación de la solicitud de patente japonesa N° 2000-317521

Bibliografía de patente 3: Publicación de la solicitud internacional N° WO2007/119817 (EP 2 018 991 A1)

Compendio de la invención

15 Problema técnico

20 Tal como se describió anteriormente, de acuerdo con el método convencional para fabricar un tubo SG mediante un proceso de fabricación que incluye un proceso de trabajo en frío, un proceso de tratamiento térmico de solución de sólidos y un proceso de rectificado, las curvas y la falta de redondez del tubo generado en el tratamiento térmico de solución sólida deben ser rectificadas en el proceso de rectificado realizado después del proceso de tratamiento térmico de solución sólida. Sin embargo, de acuerdo con el método convencional para fabricar un tubo SG, cuando la flexión y la redondez del tubo son rectificadas, la variación dimensional en la superficie interior del tubo se hace perceptible y, por lo tanto, disminuye la relación S/N en una inspección mediante detección de defectos mediante corrientes parásitas para reducir la eficiencia de la inspección en algunos casos.

25 La presente invención se ha realizado en vista de esta situación, y un objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor que reduce la variación dimensional en la superficie interior del tubo después de un proceso de rectificado y hace posible inspeccionar el tubo con una relación S/N alta para mejorar de este modo la eficiencia de la inspección.

Solución al problema

30 Los presentes inventores estudiaron el efecto de que la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo afecta a la relación S/N en la inspección de la superficie interior del tubo, y encontraron que una cierta variación dimensional con un ciclo corto tiene un pequeño efecto sobre la relación S/N.

35 La figura 3 es una gráfica que muestra un ejemplo de un gráfico de medición de la rugosidad en la dirección longitudinal en una superficie interior de un tubo fabricado mediante un proceso de fabricación que incluye un proceso de trabajo en frío, un proceso de tratamiento térmico de solución sólida y un proceso de rectificado. El gráfico de rugosidad que se muestra en la figura es una rugosidad superficial de la superficie interior de un tubo fabricado y rectificado en el ejemplo que se describe más adelante, midiéndose la rugosidad superficial mediante un dispositivo de medición de la rugosidad superficial (fabricado por la firma Tokyo Seimitsu Co., Ltd. Tipo: SURFCOM 1500SD3). Cuando se mide la rugosidad superficial, se utilizó como detector una sonda de contacto realizada de diamante y con forma de cono que tiene un diámetro de 4 μm y un ángulo vertical de 60 °.

40 Tal como se muestra en la figura 3, el gráfico de medición de la rugosidad a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo fabricado muestra una ondulación de onda que tiene un ciclo de aproximadamente 35 mm, con variaciones de ciclo corto rodeadas por un punto doble y una línea discontinua que se superponen. Las variaciones de un ciclo corto apenas afectan a la relación S/N mediante la detección de defectos mediante corrientes parásitas, pero teniendo la ondulación de la onda un ciclo largo afecta enormemente la relación S/N. En este caso, para medir la ondulación de la onda que tiene un ciclo largo y ejercer un efecto grande sobre la relación S/N, excepto las variaciones que tienen un ciclo corto, es efectivo aumentar el diámetro de la sonda de contacto del detector que se utiliza en el momento de la medición de una variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo. Además, los presentes inventores encontraron que en la ondulación de onda que tiene un ciclo largo, la amplitud de la variación en la ondulación de onda, es decir, la magnitud de la variación dimensional ejerce un gran efecto sobre la relación S/N.

50 La figura 4 es una ilustración esquemática para representar la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior de un tubo, que se especifica en la presente invención. La ilustración muestra un gráfico de medición de la rugosidad a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo, y un eje horizontal indica las posiciones (mm) en la dirección longitudinal del tubo y un eje vertical indica la

altura (μm). En cuanto a la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo, que se especifica en la presente invención, la tabla de medición de la rugosidad se obtiene mediante la utilización de un detector cuya sonda de contacto tiene un radio de 0,8 mm para encontrar la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo. Tal como se muestra en la figura 4, se determinan un valor máximo y un valor mínimo en una longitud específica de 50 mm tomados del gráfico de rugosidad y se obtiene la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo como la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo.

Como resultado de un estudio serio, los presentes inventores encontraron que cuando la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo, que se muestra en la figura 4, se controla para que sea de 4 μm o menos, se puede realizar una inspección de la superficie interior del tubo mediante la detección de defectos mediante corrientes parásitas con una alta relación S/N para mejorar la eficiencia de la inspección.

Además, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido a un proceso de rectificado es correlacionada con la magnitud de la variación dimensional antes del proceso de rectificado y, en general, la magnitud de la variación dimensional aumenta con el proceso de rectificado. Por ejemplo, cuando se utiliza la laminación Pilger en un proceso de trabajo en frío, se genera una variación dimensional notable a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo en el proceso de trabajo en frío y la variación dimensional perceptible permanece también después de que el tubo es rectificado, lo que, por lo tanto, afecta a la relación S/N en la detección de defectos mediante corrientes parásitas.

En el proceso de trabajo en frío, cuando se utiliza el trabajo de estirado, la variación dimensional generada a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo en el proceso de trabajo en frío se puede reducir en comparación con el caso en el que se utiliza la laminación Pilger. Esto se debe a que, puesto que el trabajo de estirado se realiza mediante la utilización de una matriz y un punzón, la superficie interior del tubo fabricado puede hacerse más lisa. Además, cuando se utiliza el trabajo de estirado mediante un estirado a alta presión, la variación dimensional generada a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo en el proceso de trabajo en frío se puede reducir aún más. De esta manera, se encontró que el trabajo de estirado utilizando un aceite lubricante de alta presión que tiene una presión de 40 MPa o más es adecuado para el proceso de trabajo en frío.

Las condiciones operativas de la máquina de rectificado de rodillos, tales como una magnitud de la separación, el número de pares de rodillos de rectificado (el número de posiciones) y un intervalo entre soportes tienen un gran efecto sobre el aumento de la variación dimensional de la superficie interior del tubo en el proceso de rectificado. Por ejemplo, cuando el número de pares de rodillos de rectificado de la máquina de rectificado de rodillos es pequeño, aumenta la magnitud del trabajo por cada par de rodillos de rectificado y, por lo tanto, el tubo es sometido a desviación cuando el tubo es rectificado, por lo que la magnitud de la variación dimensional del tubo después del rectificado se incrementa notablemente. Por lo tanto, los presentes inventores encontraron que, cuando se utiliza una máquina de rectificado de tipo (2-2-2-2) que tiene cinco pares de rodillos de rectificado, la magnitud del trabajo por cada par de rodillos de rectificado puede disminuir, para evitar que la magnitud de la variación dimensional en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo aumente debido al rectificado.

Efectos ventajosos de la invención

En el tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 μm o menos, de tal modo que cuando se fabrica el tubo, se puede realizar una inspección del tubo mediante detección de defectos mediante corrientes parásitas con una alta relación S/N y, por lo tanto, se puede mejorar la eficiencia de la inspección.

El método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención tiene los marcados efectos que se describen a continuación.

(1) Puesto que el estirado en frío se aplica al tubo mediante la utilización del aceite lubricante a alta presión de 40 MPa o más de presión, se puede reducir la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo después del estirado en frío y antes de que se pueda reducir el rectificado.

(2) El tubo es rectificado mediante la utilización de la máquina de rectificado de rodillos que tiene al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos del tipo de tambor globoidal y un intervalo entre soportes de 300 mm o menos, estando η ajustado a $0,9 \times 10^{-3}$ o más y con una magnitud de separación fijada en 5 mm o menos por al menos tres pares de rodillos de rectificado en una fila. Esto puede reducir un aumento en la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo mediante el rectificado.

(3) El método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, tal como se ha descrito anteriormente en (1) y (2), puede fabricar un tubo en el que la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 μm menor, y en

el que una magnitud de la torsión de la curva en una parte de una longitud de 1.000 mm desde el extremo de un tubo es de 1 mm o menos.

Breve descripción de los dibujos

5 La figura 1 es un ejemplo de un gráfico que muestra el resultado de una detección de defectos mediante corrientes parásitas del tipo de sonda interior de la superficie interior de un tubo.

La figura 2 es una ilustración que representa un ejemplo de alineamiento de los rodillos de una máquina de rectificado del tipo de rodillos inclinados.

10 La figura 3 es un gráfico que muestra un ejemplo de un gráfico de medición de la rugosidad a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior de un tubo fabricado mediante un proceso de fabricación que incluye un proceso de trabajo en frío, un proceso de tratamiento térmico de solución sólida y un proceso de rectificado.

La figura 4 es una ilustración esquemática para representar la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo, que se explica en la presente invención.

Descripción de realizaciones

15 A continuación, en el presente documento, se describirá un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor y un método para fabricar el mismo.

[Tubo de transferencia de calor para generador de vapor]

20 Un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención se caracteriza por que una magnitud de la variación dimensional en una longitud específica de 50 mm tomada de un gráfico de medición de la rugosidad, que se obtiene al medir la rugosidad superficial de la superficie interior del tubo a lo largo de la dirección longitudinal, es de 4 μm o menos y que una magnitud de la curvatura en una parte de una longitud de 1000 mm desde un extremo del tubo es de 1 mm o menos.

25 En la presente invención, cuando la rugosidad superficial de la superficie interior del tubo se mide a lo largo de la dirección longitudinal, la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo se medirá mediante la utilización de un detector que tiene una sonda de contacto de 0,8 mm en radio. Tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 4, esto se debe a que las variaciones de ciclo corto que tienen un pequeño efecto sobre una relación S/N en una detección de defectos mediante corrientes parásitas deben ser eliminadas para medir de este modo la ondulación de la onda con un ciclo largo. Además, en la presente invención, "la magnitud de la variación dimensional" significa la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo en una longitud específica de 50 mm tomada de la tabla de rugosidad medida.

30 La variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es generada e incrementada mediante el trabajo de laminación y estirado de Pilger en un proceso de trabajo en frío o, mediante un rectificado con una máquina de rectificado de rodillos en un proceso de rectificado. Se sabe que la variación dimensional generada y aumentada de este modo tiene un ciclo de 50 mm o menos, de tal modo que se determina una magnitud de la variación dimensional a partir de una longitud específica de 50 mm tomada de la tabla de rugosidad superficial medida.

35 Cuando la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior de un tubo SG es de más de 4 μm , la relación S/N en la detección de defectos en la corriente parásita disminuye para afectar negativamente a la eficiencia de la inspección.

40 Cuando la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo SG es de 4 μm o menos, se puede realizar una inspección mediante la detección de defectos mediante corrientes parásitas con una alta relación S/N y, por lo tanto, se puede mejorar la eficiencia de la inspección.

45 Además, en el caso de que se controle una magnitud de la torsión en una parte de una longitud de 1.000 mm desde un extremo del tubo, es decir, en un rango de 1.000 mm desde el extremo del tubo, para que sea de 1 mm o menos, al ensamblar los tubos en un generador de vapor / intercambiador de calor, se puede inhibir la interferencia del tubo con otras partes atribuibles a dicha torsión del tubo y, por lo tanto, se puede realizar fácilmente una operación de ensamblaje.

[Método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor]

50 Un método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención está caracterizado por lo siguiente: cuando un tubo es sometido a estirado en frío utilizando un aceite lubricante a alta presión de 40 MPa o más en presión y a un tratamiento en caliente de solución sólida, es rectificado mediante la utilización de una máquina de rectificado de rodillos en la que se proporcionan al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos del tipo de tambor globoidal, estando dispuesto cada par de rodillos uno frente al otro en la dirección vertical y de manera cruzada, donde las direcciones de los ejes giratorios se cruzan entre sí, y en

ES 2 720 473 T3

el que el intervalo entre soportes es ajustado en 300 mm o menos, el tubo está sujeto a una separación que está formada por tres puntos literalmente a lo largo de una línea central axial del tubo como posiciones de cruce de al menos tres pares sucesivos de rodillos de rectificado superiores e inferiores de la máquina de rectificado de rodillos, y eso permite que η , expresado por la fórmula (1) descrita a continuación cumpla $0,9 \times 10^{-3}$ o más y para garantizar una magnitud de la separación de 5 mm o menos

$$\eta = 1/R \times (d/2) \dots (1)$$

donde, puesto que un diámetro exterior del tubo es d (mm), un intervalo entre soportes de la máquina de rectificado del rodillo es L (mm) y la magnitud de la separación es de δ (mm), se establece $R = (\delta^2 + L^2) / 2\delta$.

Cuando el tubo es sometido al trabajo de estirado mediante un estirado a alta presión mediante la utilización de aceite lubricante de alta presión de 40 MPa o más en presión en el proceso de trabajo en frío, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal generada en la superficie interior del tubo después del trabajo en frío (antes del rectificado) puede ser reducida en comparación con el caso en el que el tubo es sometido a un trabajo de laminación o estirado de Pilger bajo un tratamiento de lubricación mediante un recubrimiento lubricante de tratamiento químico.

Cuando la presión del aceite lubricante utilizado en el estirado en frío por el estirado a alta presión es inferior a 40 MPa, no se forma una película de aceite lubricante con un grosor suficiente entre las herramientas y el tubo y, por lo tanto, se produce un gripado y/o vibración / traqueteo que, por lo tanto, aumenta la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal generada en la superficie interior del tubo. Por esta razón, la presión del aceite lubricante es ajustada en 40 MPa o más. Es preferible que la presión del aceite lubricante se ajuste a 50 MPa o más. Además, es preferible que la presión del aceite lubricante se ajuste a 150 MPa o menos. Cuando la presión del aceite lubricante supera los 150 MPa, existe el riesgo de que parte del aceite lubricante quede atrapado en una parte de la superficie interior del tubo para formar una parte rebajada y generar de este modo un defecto denominado pozo de aceite. El pozo de aceite generado en la superficie interior del tubo desarrolla variaciones dimensionales de un ciclo corto en una tabla de medición de la rugosidad y, por lo tanto, tiene un efecto pequeño en la relación S/N en la inspección mediante la detección de defectos mediante corrientes parásitas, pero hace que la rugosidad en la superficie interior del tubo, denominada rugosidad de media aritmética, se deteriore.

Se pueden emplear diversos métodos convencionales como tratamiento térmico de solución sólida, y cuando se realiza el tratamiento térmico de solución sólida, se puede determinar adecuadamente una temperatura de calentamiento y un tiempo de mantenimiento del mismo para el tubo a partir del tamaño y la composición química del tubo. El tratamiento térmico de solución sólida se puede aplicar al tubo, por ejemplo, a una temperatura de calentamiento de entre 1.000 °C y 1.300 °C y durante un tiempo de mantenimiento de 5 min a 15 min.

En el proceso de rectificado, el tubo es rectificado mediante la utilización de la máquina de rectificado de rodillos que tiene al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos del tipo de tambor globoidal, estando dispuesto cada uno de los pares de rodillos uno frente al otro en la dirección vertical y de manera cruzada donde las direcciones de los ejes giratorios de los rodillos emparejados se cruzan entre sí, y teniendo un intervalo entre soportes de 300 mm o menos. Puesto que se utiliza la máquina de rectificado de rodillos que tiene al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos del tipo de tambor globoidal, las curvas y la falta de redondez del tubo pueden ser rectificadas, mientras que la magnitud del trabajo por cada par de rodillos de rectificado disminuye en comparación con una máquina de rectificado de tipo convencional (2-2-2-1) que tiene tres pares de rodillos de rectificado. En el caso de que el intervalo entre soportes sea superior a 300 mm, las curvas del tubo no pueden ser rectificadas a menos que se aumente la magnitud de la separación, pero si se aumenta la magnitud de la separación para rectificar las curvas del tubo, se debe aumentar la magnitud de la variación dimensional en la superficie interior del tubo después del rectificado.

Cuando el η expresado por la fórmula (1) descrita anteriormente está en el rango de $0,9 \times 10^{-3}$ o más, se pueden rectificar mejor la falta de redondez y las curvas del tubo. Por otro lado, si el η expresado por la fórmula (1) descrita anteriormente es menor que $0,9 \times 10^{-3}$, las curvas siguen estando en el tubo después de ser sometido al proceso de rectificado, lo que resulta en un producto defectuoso.

Cuando la magnitud de la separación aplicada al tubo es de 5 mm o menos, la magnitud del trabajo por cada par de rodillos de rectificado disminuye y, por lo tanto, la deflexión impuesta del tubo disminuye en el momento del rectificado, lo que puede suprimir, por lo tanto, un aumento en la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo mediante el rectificado. Cuando la magnitud de la desviación aplicada al tubo es de más de 5 mm, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo mediante el rectificado se incrementa notablemente.

De acuerdo con el método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, el estirado en frío es realizado al tubo mediante la utilización del aceite lubricante de alta presión de 40 MPa o más en presión y, a continuación, el tubo es rectificado con una separación en la cual el η expresado por la fórmula (1) descrito anteriormente se encuentra en el rango de $0,9 \times 10^{-3}$ o más y en el que la magnitud de la separación es de 5 mm o menos. En el tubo de transferencia de calor para un generador de vapor

fabricado de esta manera, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 µm o menos y la magnitud de la torsión en una parte de una longitud de 1.000 mm desde el extremo del tubo es de 1 mm o menos, lo que hace posible inspeccionar el tubo por la detección de defectos de corrientes parásitas con una alta relación S/N y, por lo tanto, puede mejorar la eficiencia de la inspección.

Por ejemplo, en el caso en que el tubo sea rectificado mediante la utilización de una máquina de rectificado de tipo (2-2-2-2) que tiene cinco pares de rodillos de rectificado, al menos tres pares sucesivos de rodillos de rectificado en los cuales η y la magnitud de la separación se fijaron en los rangos especificados por la presente invención se puede organizar en el lado de entrada, o en la región intermedia, excluyendo los pares de rodillos más avanzados y posteriores, o en un lado de salida.

Además, un ángulo de cruce del rodillo de rectificado y la magnitud del aplastamiento que son condiciones de configuración de la máquina de rectificado de rodillos pueden ser seleccionados adecuadamente a partir del tamaño y grado del material del tubo a rectificar. Es preferible que, en cada par de rodillos de rectificado, el ángulo de cruce del rodillo se ajuste en un rango de 28° a 31° y la magnitud del aplastamiento se ajuste en un rango de 1,5 mm a 3,0 mm.

[Composición química del tubo]

En el tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención y en el método para fabricar el mismo, es preferible que la composición química del tubo consista en, en % en masa, C: 0,15 % o menos, Si: 1,00 % o menos, Mn: 2,0 % o menos, P: 0,030 % o menos, S: 0,030 % o menos, Cr: entre 10,0 % y 40,0 %, Ni: entre 8,0 % y 80,0 %: Ti: 0,5 % o menos, Cu: 0,6 % o menos, Al: 0,5 % o menos, y N: 0,20 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas.

En este caso, las impurezas significan constituyentes que están mezclados en el tubo a partir de minerales y/o desechos cuando el tubo es fabricado comercialmente, y están permitidas dentro de un rango que no tenga un efecto adverso en la presente invención. Las razones para limitar el contenido de los elementos respectivos son las siguientes. En el presente documento, en la siguiente descripción, "%" del contenido del elemento significa "% en masa".

C: 0,15 % o menos

Si el contenido de C es superior al 0,15 %, es probable que la resistencia al agrietamiento por corrosión bajo tensión pueda deteriorarse. Por lo tanto, cuando existe un contenido de C, es preferible que el contenido de C sea del 0,15 % o menos, más preferiblemente, del 0,06 % o menos. En este caso, C tiene el efecto de aumentar la resistencia de la frontera del grano de una aleación. Para obtener este efecto, es preferible que el contenido de C sea del 0,01 % o más.

Si: 1,00 % o menos

Se utiliza el Si como desoxidante en el momento de la fusión y permanece como impurezas en la aleación. En este momento, es preferible que el contenido de Si esté limitado al 1,00 % o menos. Si el contenido de Si es superior al 0,50 %, se reduce la limpieza de la aleación en algunos casos. Por lo tanto, es más preferible que el contenido de Si esté limitado a un 0,50 % o menos.

Mn: 2,0 % o menos

El Mn es un elemento que inmoviliza el S, un elemento de impureza, como MnS, para mejorar la capacidad de ser trabajado en caliente y que es efectivo como desoxidante. Si el contenido de Mn es superior al 2,0 %, se reduce la limpieza de la aleación. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Mn sea del 2,0 % o menos, más preferiblemente, del 1,0 % o menos. Además, en el caso de obtener el efecto de mejorar la capacidad de ser trabajado en caliente debido al Mn, es preferible que el contenido de Mn sea del 0,1 % o más.

P: 0,030 % o menos

El P es un elemento que permanece como impureza en la aleación, y si el contenido de P es más del 0,030 %, el P tiene un efecto adverso sobre la resistencia a la corrosión en algunos casos. Por lo tanto, es preferible que el contenido de P esté limitado al 0,030 % o menos.

S: 0,030 % o menos

S es un elemento que permanece como impureza en la aleación y cuando el contenido de S es más del 0,030 %, S tiene un efecto adverso en la resistencia a la corrosión en algunos casos. Por lo tanto, es preferible que el contenido de S esté limitado al 0,030 % o menos.

Cr: entre el 10,0 % y el 40,0 %

ES 2 720 473 T3

- El Cr es un elemento necesario para mantener la resistencia a la corrosión de la aleación y, por lo tanto, es preferible que el contenido de Cr sea del 10,0 % o más. Sin embargo, tener Cr por encima del 40,0 % significa que el contenido de Ni es relativamente más pequeño y, por lo tanto, es probable que disminuya la resistencia a la corrosión y la capacidad de la aleación de ser trabajada en caliente. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Cr esté entre el 10,0 % y el 40,0 %. En particular, si el contenido de Cr está entre el 14,0 % y el 17,0 %, la aleación muestra una excelente resistencia a la corrosión en el ambiente, incluido el cloruro, y si el contenido de Cr está entre el 27,0 % y el 31,0 %, la aleación es excelente en la resistencia a la corrosión, incluso en el ambiente que incluye agua pura y álcali a altas temperaturas.
- Ni: entre el 8,0 % y el 80,0 %
- 10 El Ni es un elemento necesario para garantizar la resistencia a la corrosión de la aleación y es preferible que el contenido de Ni sea del 8,0 % o más. Por otro lado, puesto que el Ni es caro, es suficiente que un contenido mínimo de Ni, según sea necesario, esté contenido de acuerdo con la utilización y, por lo tanto, es preferible que el contenido de Ni sea del 80,0 % o menos.
- Ti: 0,5 % o menos
- 15 Si el contenido de Ti es mayor del 0,5 %, es probable que la limpieza de la aleación se deteriore. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Ti sea del 0,5 % o menos y, más preferiblemente, del 0,4 % o menos. Sin embargo, desde el punto de vista de mejorar la capacidad de trabajo de la aleación y de inhibir un crecimiento del grano en el momento de la soldadura, es preferible que el contenido de Ti sea del 0,1 % o más.
- Cu: 0,6 % o menos
- 20 El Cu es un elemento que permanece como impureza en la aleación, y si el contenido de Cu es más del 0,6 %, la resistencia a la corrosión de la aleación se reduce en algunos casos. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Cu esté limitado al 0,6 % o menos.
- Al: 0,5 % o menos
- 25 El Al se utiliza como desoxidante en el momento de la fabricación del acero y permanece como impureza en la aleación. El Al restante se convierte en inclusiones a base de óxido en la aleación y reduce la limpieza de la aleación. Por lo tanto, es probable que el Al tenga un efecto adverso sobre la resistencia a la corrosión y las propiedades mecánicas de la aleación. Por lo tanto, es preferible que el contenido de Al esté limitado al 0,5 % o menos.
- N: 0,20 % o menos
- 30 El N no puede ser agregado a la aleación, pero la aleación prevista por la presente invención típicamente contiene aproximadamente el 0,01 % de N como impureza. Sin embargo, si se agrega N positivamente a la aleación, el N puede aumentar la resistencia de la aleación sin afectar a la resistencia a la corrosión. Sin embargo, cuando el contenido de N es más del 0,20 %, la resistencia a la corrosión disminuye. Por lo tanto, es preferible que el límite superior del contenido de N sea del 0,20 %.
- 35 En el tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención y en el método para fabricar el mismo, es preferible que una aleación a base de Ni que tenga una composición química consistente en C: 0,15 % o menos, Si: 1,00 % o menos, Mn: 2,0 % o menos, P: 0,030 % o menos, S: 0,030 % o menos, Cr: entre el 10,0 % y el 40,0 %, Fe: 15,0 % o menos, Ti: 0,5 % o menos, Cu: 0,6 % o menos, Al: 0,5 % o menos, siendo el resto Ni e impurezas, porque la aleación a base de Ni es más excelente en la resistencia a la corrosión.
- 40 La aleación típica a base de Ni que tiene la composición química mencionada anteriormente y que se utiliza preferiblemente para el tubo incluirá dos tipos de aleaciones que se describen a continuación.
- (a) Aleación a base de Ni que consiste en C: 0,15 % o menos, Si: 1,00 % o menos, Mn: 2,0 % o menos, P: 0,030 % o menos, S: 0,030 % o menos, Cr: entre el 14,0 % y el 17,0 %, Fe: entre el 6,0 % y el 10,0 %, Ti: 0,5 % o menos, Cu: 0,6 % o menos, Al: 0,5 % o menos, siendo el resto Ni e impurezas.
- 45 (b) Aleación a base de Ni que consiste en C: 0,06 % o menos, Si: 1,00 % o menos, Mn: 2,0 % o menos, P: 0,030 % o menos, S: 0,030 % o menos, Cr: entre el 27,0 % y el 31,0 %, Fe: entre el 7,0 % y el 11,0 %, Ti: 0,5 % o menos, Cu: 0,6 % o menos, Al: 0,5 % o menos, siendo el resto Ni e impurezas.
- 50 La aleación (a) descrita anteriormente contiene entre el 14,0 % y el 17,0 % de Cr y aproximadamente el 75 % de Ni, por lo que la aleación (a) es excelente en la resistencia a la corrosión en el ambiente que incluye cloruro. En esta aleación, es preferible que el contenido de Fe esté entre el 6,0 % y el 10,0 % desde el punto de vista del balance del contenido de Ni y el contenido de Cr.

La aleación (b) descrita anteriormente contiene entre el 27,0 % y el 31,0 % de Cr y aproximadamente el 60 % de Ni, de tal manera que la aleación (b) es excelente en la resistencia a la corrosión no solo en el entorno que incluye cloruro, sino también en el entorno que incluye agua pura y álcali a altas temperaturas. También en esta aleación, es preferible que el contenido de Fe esté entre el 7,0 % y el 11,0 % desde el punto de vista del balance del contenido de Ni y el contenido de Cr.

5

Ejemplos

Ensayos para verificar los efectos del tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención y el método para fabricar el mismo.

[Procedimiento del ensayo]

10 Se obtuvo un tubo mediante un proceso de trabajo en frío para terminar el tubo en un tamaño predeterminado, un proceso de tratamiento térmico de solución sólida y un proceso de rectificado utilizando una máquina de rectificado de rodillos para rectificar las curvas y la falta de redondez del tubo. En el proceso de trabajo en frío, el tubo se terminó en un tamaño predeterminado mediante el trabajo de laminación o estirado de Pilger (estirado a alta presión) utilizando un aceite lubricante de alta presión de 120 MPa en presión. En el proceso de rectificado, se utilizó una
15 máquina de rectificado del tipo (2-2-2-1) que tiene tres pares de rodillos de rectificado o una máquina de rectificado del tipo (2-2-2-2) que tiene cinco pares de rodillos de rectificado.

Las condiciones del ensayo son las siguientes.

Composición química del tubo:

Grado del material: Aleación a base de Ni especificada por el estándar ASME SB-163 UNS N06690

20 Aleación a base de Ni que consiste en, en % en masa, C: 0,021 %, Si: 0,33 %, Mn: 0,27 %, P: 0,013 %, S: 0,0002 %, Cr: 29,4 %, Fe: 9,8 %, Ti: 0,25 %, Cu: 0,03 % y Al: 0,11 %, siendo el resto Ni e impurezas.

Se realizó un tratamiento térmico con solución sólida a 1100 °C durante tres minutos.

25 Se probaron el tubo A y el tubo B de aleaciones a base de Ni, que tenían la composición química mostrada en las condiciones del ensayo anteriores y eran diferentes entre sí en tamaño. El tubo A tenía un diámetro exterior de 19,14 mm, un grosor de 1,125 mm y una longitud de 10.000 mm (10 m). El tubo B tenía un diámetro exterior de 17,57 mm, un grosor de 1,05 mm y una longitud de 10.000 mm (10 m).

30 En la Tabla 1 y la Tabla 2, se muestran el número del ensayo, la categoría del ensayo, el tubo probado, el método de acabado en el proceso de trabajo en frío, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo después del proceso de trabajo en frío y antes del rectificado, las condiciones del rectificado y los resultados de los ensayos. Por lo que se refiere a las condiciones del rectificado, en la Tabla 1 y la Tabla 2 se muestran el número de pares de rodillos de rectificado de la máquina de rectificado de rodillos, el intervalo entre soportes, la magnitud de la separación establecida para los tres pares sucesivos de rodillos de rectificado y el valor de η calculado mediante la fórmula (1) descrita anteriormente. En este caso, en los
35 ensayos que utilizan la máquina de rectificado del tipo (2-2-2-2) que tiene cinco pares de rodillos de rectificado, el valor de η y la magnitud de la separación mostrada en la Tabla 1 y la Tabla 2 se fijan para tres pares sucesivos de rodillos de rectificado que se dispusieron en la región intermedia, excluyendo los pares de rodillos más avanzados y posteriores.

Tabla 1

Nº ensayo	Categoría	Tubo probado	Antes del rectificado		Condiciones del rectificado			Resultados del ensayo (tras el rectificado)				
			Proceso de trabajo en frío	Magnitud de la variación dimensional en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo (µm)	Nº de pares de rodillos (par)	Intervalo entre soportes (mm)	Magnitud de la separación (mm)	η ($\times 10^{-3}$)	Curvas restantes	Magnitud de la variación dimensional en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo (µm)	Relación S/N	Evaluación global
1	Ej. comparativo	A		7,5	3	380	4	0,53	x	7,5	12	x
2	Ej. comparativo	A	Laminado Pilger	6,5	3	380	5	0,66	x	6,5	15	x
3	Ej. comparativo	A		8,0	3	380	6	0,80	x	8,5	8	x
4	Ej. comparativo	A		7,5	3	380	9	1,19	O	8,5	9	x
5	Ej. comparativo	A		6,5	3	380	10	1,32	O	8,0	11	x
6	Ej. comparativo	A		1,0	3	380	4	0,53	x	2,0	88	x
7	Ej. comparativo	A	Estirado a alta presión	1,0	3	380	5	0,66	x	3,0	78	x
8	Ej. comparativo	A		1,0	3	380	6	0,80	x	3,5	75	x
9	Ej. comparativo	A		1,0	3	380	9	1,19	O	6,5	25	x
10	Ej. comparativo	A		1,0	3	380	10	1,32	O	7,0	21	x
11	Ej. comparativo	A		7,5	5	270	2	0,53	x	7,5	15	x
12	Ej. comparativo	A	Laminado Pilger	6,5	5	270	3	0,79	x	6,5	13	x
13	Ej. comparativo	A		8,0	5	270	4	1,05	O	8,0	10	x
14	Ej. comparativo	A		7,5	5	270	5	1,31	O	8,5	7	x
15	Ej. comparativo	A		1,0	5	270	2	0,53	x	1,5	95	x
16	Ej. comparativo	A		1,0	5	270	3	0,79	x	1,5	98	x
17	Ej. de la invención	A		1,0	5	270	4	1,05	O	2,5	75	O
18	Ej. de la invención	B	Estirado a alta presión	1,0	5	270	4	0,96	O	2,0	81	O
19	Ej. de la invención	A		1,0	5	270	5	1,31	O	2,5	65	O
20	Ej. de la invención	B		1,0	5	270	5	1,20	O	2,0	79	O
21	Ej. comparativo	A		1,0	5	270	6	1,57	O	5,0	34	x

Tabla 2

Nº ensayo	Categoría	Tubo probado	Antes del rectificado		Condiciones del rectificado				Resultados del ensayo (tras el rectificado)			
			Proceso de trabajo en frío	Magnitud de la variación dimensional en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo (µm)	Nº de pares de rodillos (par)	Intervalo entre soportes (mm)	Magnitud de la separación (mm)	η ($\times 10^{-3}$)	Curvas restantes	Magnitud de la variación dimensional en la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo (µm)	Relación S/N	Evaluación global
22	Ej. comparativo	A	Laminado Pilger	7,5	5	240	2	0,66	x	7,5	18	x
23	Ej. comparativo	A		6,5	5	240	3	1,00	0	6,5	12	x
24	Ej. comparativo	A		8,0	5	240	4	1,33	0	8,5	7	x
25	Ej. comparativo	A		7,5	5	240	5	1,66	0	8,5	8	x
26	Ej. comparativo	A		1,0	5	240	2	0,66	x	1,5	88	x
27	Ej. de la invención	A		1,0	5	240	3	1,00	x	2,5	85	0
28	Ej. de la invención	A		1,0	5	240	4	1,33	x	2,5	76	0
29	Ej. de la invención	B	Estirado a alta presión	1,0	5	240	4	1,22	x	2,0	77	0
30	Ej. de la invención	A		1,0	5	240	5	1,66	0	3,0	58	0
31	Ej. de la invención	B		1,0	5	240	5	1,52	0	2,5	64	0
32	Ej. comparativo	A	1,0	5	240	6	1,99	x	5,5	25	x	

[Criterio de evaluación]

5 En cada ensayo, se midió la magnitud de la variación dimensional en la superficie interior del tubo sometido al trabajo en frío antes y después de someter el tubo al rectificado. Además, se midió la relación S/N del tubo sometido al rectificado mediante la detección de defectos mediante corrientes parásitas y se evaluaron las curvas restantes del tubo. Aún más, se realizó una evaluación global del tubo en base a los resultados de las curvas restantes, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido a rectificado, y la relación S/N.

10 La magnitud de la variación dimensional es la diferencia entre un valor máximo y un valor mínimo en una longitud específica de 50 mm tomada de un gráfico de medición de la rugosidad, que se obtuvo al medir la rugosidad superficial de la superficie interior del tubo mediante la utilización de un dispositivo de medición de rugosidad superficial (fabricado por la firma Tokyo Seimitsu Co., Ltd. Tipo: SURFCOM 1500SD3). Cuando se midió la rugosidad superficial, se utilizó un detector que tiene una sonda de contacto de 0,8 mm de radio.

15 La relación S/N se determinó de la siguiente manera: la superficie interior del tubo fue inspeccionada mediante la utilización de la detección de defectos mediante corrientes parásitas en condiciones de una frecuencia de 600 kHz y un tipo de detección del diferencial local utilizando un orificio pasante perforado con un diámetro de 0,66 mm \varnothing como una entalladura estándar; para obtener de este modo los valores de la relación S/N en los que la longitud total del tubo está subdividida en partes de un pie de longitud y se determina un valor individual de la relación S/N para cada parte: y entre los valores obtenidos de la relación S/N, se consideró el valor mínimo como la relación S/N del tubo.

20 En cuanto a las curvas restantes, particularmente, se observó la torsión de la curva cerca de un extremo del tubo (en lo sucesivo, en este documento, "curva de la nariz") como la curva del tubo sometida al rectificado. Los significados de los signos en la columna de [Curvas restantes] en la Tabla 1 y en la Tabla 2 son los siguientes:

O: la magnitud de la torsión en la curva en una parte de una longitud de 1.000 mm desde un extremo del tubo fue de 1 mm o menos y, por lo tanto, las curvas del tubo se consideran lo suficientemente rectificadas, y

25 x: la magnitud de la torsión en la curva fue de más de 1 mm para la parte anterior y, por lo tanto, las curvas del tubo se consideran insuficientemente rectificadas.

Los significados de los signos en la columna de [Evaluación global] en la Tabla 1 y la Tabla 2 son los siguientes:

30 O: la evaluación de las curvas restantes del tubo sometido al rectificado fue buena (O), la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo fue de 4 μm o menos, y la relación S/N fue de 50 o más.

x: no se cumplió ninguna de las siguientes condiciones: es decir, (Condición 1) la evaluación de las curvas restantes del tubo sometido al rectificado fue buena (O); (Condición 2) la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo fue de 4 μm o menos; y (Condición 3) la relación S/N fue de 50 o más.

35 [Resultados del ensayo]

40 Tal como se muestra en la Tabla 1 y la Tabla 2, en todos los ensayos de números 1 a 5, 11 a 14, y 22 a 25, que son ejemplos comparativos, la laminación de Pilger se empleó como proceso de trabajo en frío y la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo que aún no ha sido sometido a rectificado fue de 4 μm o más. Por esta razón, en todos los ensayos de números 1 a 5, 11 a 14 y 22 a 25, independientemente de las condiciones del rectificado, incluido el número de pares de rodillos de rectificado y el intervalo entre soportes de la máquina de rectificado, la magnitud de la separación, y el valor de η , la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido al rectificado fue de más de 4 μm en cualquiera de los ensayos y, por lo tanto, todas las evaluaciones globales fueron x. En los ensayos de números 6 a 10 de los ejemplos comparativos, el tubo fue sometido a estirado en frío mediante el estirado a alta presión utilizando un aceite lubricante de 40 MPa o más en presión, y se utilizó una máquina de rectificado del tipo (2-2-2-1) con tres pares de rodillos de rectificado y que tenía un intervalo entre soportes de 380 mm. En todos los ensayos de números 6 a 10, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo antes del rectificado fue de 1,0 μm .

50 De estos ensayos, en los ensayos de números 9 y 10, la cantidad de separación se ajustó en 9 mm o 10 mm y η se ajustó en $1,19 \times 10^{-3}$ o $1,32 \times 10^{-3}$, por lo que la magnitud del trabajo para cada par de rodillos de rectificado se incrementó en comparación con las condiciones especificadas por la presente invención. Como resultado, las curvas restantes del tubo sometido al rectificado se hicieron O, pero la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo aumentó y llegó a ser de más de 4 μm , por lo que la evaluación global se convirtió en x. Además, en los ensayos de números 6 a 8, la magnitud de la separación se ajustó en 4 mm a 6 mm y η se ajustó en $0,53 \times 10^{-3}$ a $0,80 \times 10^{-3}$, por lo que la magnitud del trabajo para cada par de rodillos de rectificado se redujo. Como resultado, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal

de la superficie interior del tubo sometido al rectificado se convirtió en 4 μm o menos, pero las curvas restantes del tubo sometido al rectificado se convirtieron en x, de tal modo que la evaluación global se convirtió en x.

5 En los ensayos de números 15, 16 y 21, que son ejemplos comparativos, el tubo fue sometido a estirado en frío mediante el estirado a alta presión utilizando un aceite lubricante de 40 MPa o más en presión y se utilizó una máquina de rectificado del tipo (2-2-2-2) con cinco pares de rodillos de rectificado y que tiene un intervalo entre soportes ajustado a 270 mm. En todos los ensayos de números 15, 16 y 21, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo antes del rectificado fue de 1,0 μm .

10 De estos ensayos, en los ensayos de números 15 y 16, la magnitud de la separación se ajustó en 2 mm o 3 mm, que está dentro del rango especificado por la presente invención, pero η se ajustó en $0,53 \times 10^{-3}$ o $0,79 \times 10^{-3}$, que está fuera del rango especificado por la presente invención. En estos casos, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido al rectificado se convirtió en 4 μm o menos en ambos casos, pero la evaluación de las curvas restantes se convirtió en x, de tal modo que la evaluación global se convirtió en x. Además, en el ensayo número 21, η se ajustó en $1,57 \times 10^{-3}$, que está dentro del rango especificado por la presente invención, pero la magnitud de la separación se ajustó en 6 mm, que está fuera del rango especificado por la presente invención. En este caso, la evaluación de la curva restante del tubo sometido a la compresión se convirtió en O, pero la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo se convirtió en más de 4 μm , por lo que la evaluación global se convirtió en x.

20 En los ensayos de números 26 y 32, que son ejemplos comparativos, el tubo se sometió al estirado en frío mediante el estirado a alta presión utilizando un aceite lubricante de 40 MPa o más en presión y se utilizó una máquina de rectificado del tipo (2-2-2-2-2) con cinco pares de rodillos de rectificado y que tiene un intervalo entre soportes establecido en 240 mm. En los ensayos de números 26 y 32, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo antes del rectificado fue de 1,0 μm .

25 De estos ensayos, en el ensayo número 26, la magnitud de la separación se ajustó en 2 mm, que está dentro del rango especificado por la presente invención, pero η se ajustó en $0,66 \times 10^{-3}$, que está fuera del rango especificado por la presente invención. En este caso, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido al rectificado se convirtió en 4 μm o menos, pero la evaluación de la curva restante se convirtió en x, de tal manera que la evaluación global se convirtió en x. Además, en el ensayo número 32, η se ajustó en $1,99 \times 10^{-3}$, que está dentro del rango especificado por la presente invención, pero la magnitud de la separación se ajustó en 6 mm, que está fuera del rango especificado por la presente invención. En este caso, la evaluación de la curva restante del tubo sometido al rectificado se convirtió en O, pero la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo se convirtió en más de 4 μm , de tal manera que la evaluación global se convirtió en x.

35 Por otra parte, en los ensayos de números 17 a 20 y 27 a 31, que son ejemplos inventivos de la presente invención, el tubo fue sometido al estirado en frío mediante estirado a alta presión utilizando un aceite lubricante de 40 MPa o más en presión. Se utilizó la máquina de rectificado de tipo (2-2-2-2-2) que tiene cinco pares de rodillos de rectificado y que tiene un intervalo de ajuste de posición de 300 mm o menos. El tubo fue rectificado, estando η ajustado en $0,9 \times 10^{-3}$ o más y con la magnitud de la separación ajustada en 5 mm o menos. Como resultado, todas las evaluaciones incluyen las curvas restantes del tubo sometido al rectificado, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo y la relación S/N se convirtió en buena, de tal modo que la evaluación global se convirtió en O.

45 A partir de estos ensayos, se pudieron verificar los siguientes hechos: cuando el tubo sometido al estirado en frío mediante el estirado a alta presión utilizando el aceite lubricante de 40 MPa o más en presión y al tratamiento térmico de solución sólida, fue rectificado por la máquina de rectificado de rodillos que tiene al menos cinco pares de rodillos de rectificado y que tiene un intervalo entre soportes ajustado a 300 mm o menos con el valor de η ajustado a $0,9 \times 10^{-3}$ o más y con la cantidad de separación ajustada en 5 mm o menos, las curvas del tubo podrían ser rectificadas y la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo sometido al rectificado podría ser controlada a 4 μm o menos, y se podría fabricar el tubo que tiene una excelente relación S/N. Por lo tanto, quedó claro que, de acuerdo con el método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, en el cual la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 μm o menos, se puede fabricar.

Aplicabilidad industrial

55 En un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 μm o menos, de tal modo que cuando se fabrica el tubo, se puede realizar una inspección utilizando una detección de defectos mediante corrientes parásitas con una relación S/N alta y, por lo tanto, se puede mejorar la eficiencia de la inspección.

El método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención tiene los siguientes efectos notables:

5 (1) El tubo es sometido a estirado en frío mediante la utilización de aceite lubricante de alta presión de 40 MPa o más en presión, de tal modo que se pueda reducir la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo después del estirado en frío y antes del rectificado.

10 (2) El tubo es rectificado utilizando la máquina de rectificado de rodillos en la que están dispuestos al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos de tipo globoidal y se ajusta un intervalo entre soportes de 300 mm o menos, y aplicando la separación, que está formada por al menos tres pares sucesivos de rodillos de rectificado de la máquina de rectificado de rodillos y se ajusta en $0,9 \times 10^{-3}$ o más y tiene la magnitud de la separación ajustada en 5 mm o menos, al tubo. Esto puede reducir el aumento de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo atribuible al rectificado.

15 (3) El método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención, a partir de los efectos (1) y (2) descritos anteriormente, puede fabricar el tubo en el que la magnitud de la variación dimensional a lo largo de la dirección longitudinal de la superficie interior del tubo es de 4 μm o menos y en el que la cantidad de curvatura en una parte de una longitud de 1.000 mm desde un extremo del tubo es de 1 mm o menos.

Por lo tanto, el tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la presente invención y el tubo fabricado mediante el método para fabricar el mismo pueden garantizar una excelente calidad de precisión y, por lo tanto, pueden garantizar calidad con una alta fiabilidad.

20 **Lista de signos de referencia**

1: tubo a ser rectificado

R, Ra y Rb: rodillo de rectificado

REIVINDICACIONES

1. Un método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor, en el que

5 cuando un tubo es sometido a estirado en frío mediante la utilización de un aceite lubricante a alta presión de 40 MPa o más en presión y a un tratamiento térmico de solución sólida es rectificado mediante la utilización de una máquina de rectificado de rodillos en la que están dispuestos al menos cinco pares de rodillos de rectificado cóncavos del tipo de tambor globoidal, estando dispuesto cada uno de los pares de rodillos uno frente al otro en la dirección vertical y de manera cruzada donde las direcciones de los ejes de rotación se cruzan entre sí, y en el que el intervalo entre soportes se ajusta en 300 mm o menos, el tubo es sometido a una separación que se ajusta en tres puntos a lo largo de la línea central axial del tubo como posiciones cruzadas de al menos tres pares sucesivos de rodillos de rectificado superiores e inferiores de la máquina de rectificado de rodillos, y que permite que el η expresado por la fórmula (1) que se describe a continuación cumpla $0,9 \times 10^{-3}$ o más y garantice una magnitud de la separación de 5 mm o menos:

$$\eta = 1/R \times (d/2) \dots (1)$$

15 donde puesto que el diámetro exterior del tubo es d (mm) y el intervalo entre soportes de la máquina de rectificado del rodillo es L (mm) y la magnitud de la separación es de δ (mm), se establece $R = (\delta^2 + L^2) / 2\delta$.

2. El método para fabricar un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la composición química del tubo consiste en, en % en masa, C: 0,15 % o menos, Si: 1,00 % o menos, Mn: 2,0 % o menos, P: 0,030 % o menos, S: 0,030 % o menos, Cr: entre 10,0 y 40,0 %, Ni: entre 8,0 y 80,0 %, Ti: 0,5 % o menos, Cu: 0,6 % o menos, Al: 0,5 % o menos, y N: 0,20 % o menos, siendo el resto Fe e impurezas.

3. Un tubo de transferencia de calor para un generador de vapor, fabricado mediante el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

FIG. 1

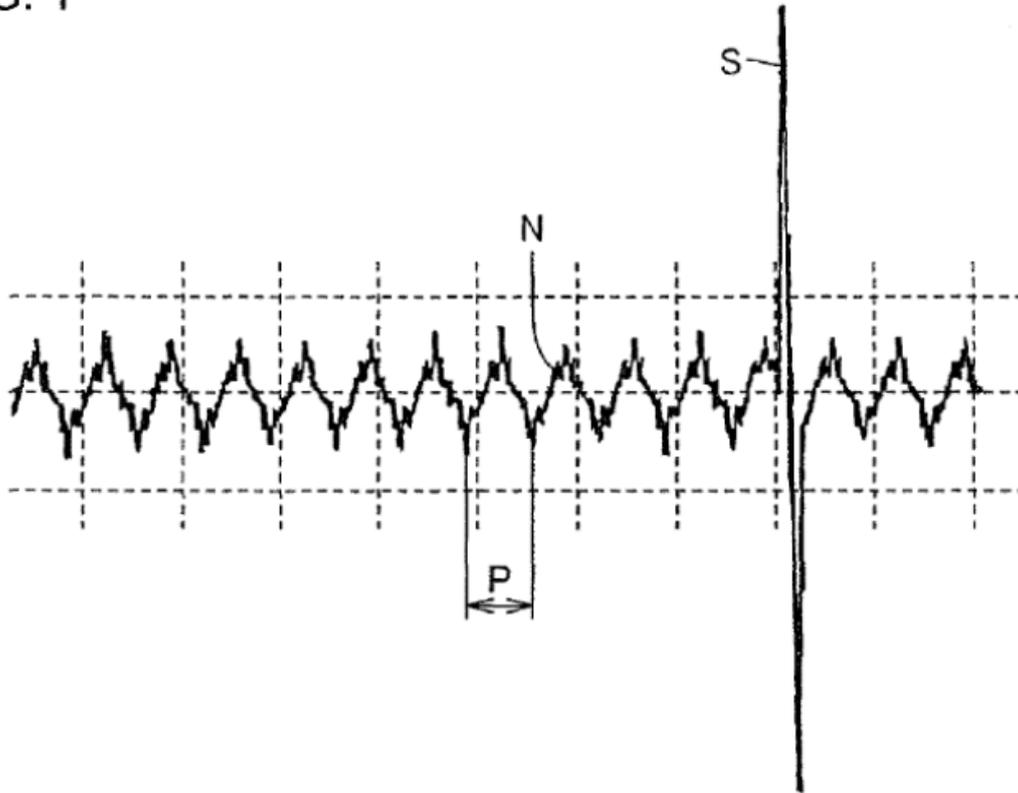


FIG. 2

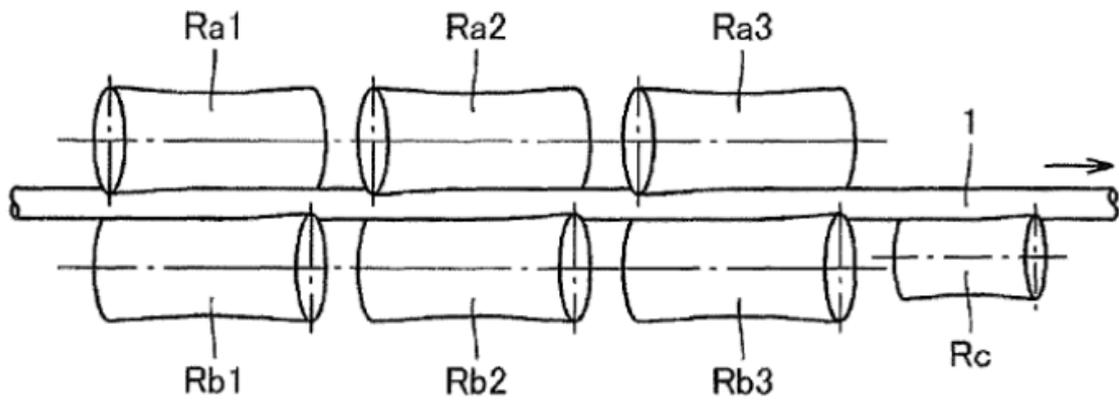


FIG. 3

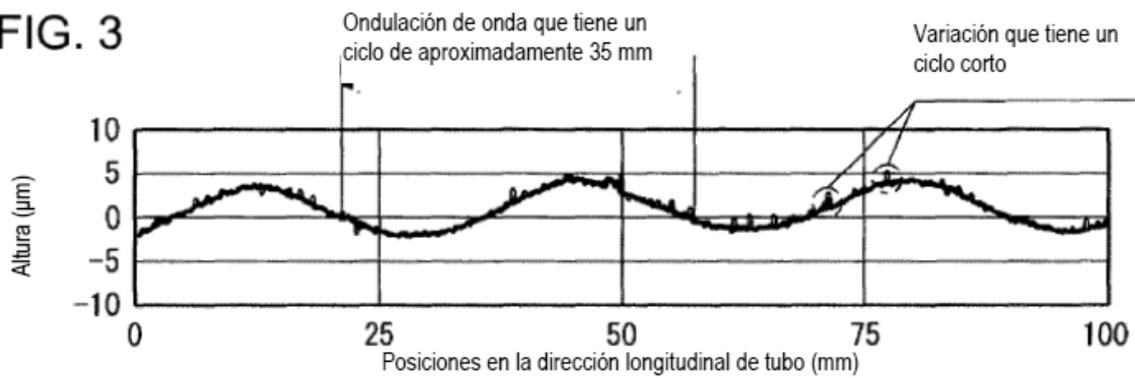


FIG. 4

