

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 232**

51 Int. Cl.:

**B23K 9/028** (2006.01)

**B23K 33/00** (2006.01)

**E04H 12/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.03.2011 PCT/JP2011/057434**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO2012131852**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2011 E 11862152 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.11.2016 EP 2676758**

54 Título: **Tubo de acero soldado con disco de pestaña**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**06.06.2017**

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

72 Inventor/es:  
**HONMA RYUICHI;**  
**ISHIKAWA TADASHI y**  
**SHIMANUKI HIROSHI**

74 Agente/Representante:  
**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 615 232 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 acero soldado con disco de pestaña

5 La presente invención se refiere a un tubo de acero soldado con disco de pestaña.

En años recientes, para reducir el gas CO<sub>2</sub>, que se considera una causa de calentamiento global o para hacer frente al agotamiento futuro de combustibles fósiles, tales como petróleo, se ha intentado positivamente el uso de energía natural renovable. La generación de energía eólica es uno de ellos, y la generación de energía eólica se ha generalizado en todo el mundo.

10 Aquí, las zonas que son más adecuadas para la generación de energía eólica son las zonas que pueden esperar vientos fuertes constantes. Por lo tanto, la generación de energía eólica en el océano (generación de energía eólica marina), que cumple condiciones adecuadas, ha sido planificada y realizada en la mayoría de los países del mundo (referencia a los documentos de patente 1 a 6).

15 Cuando se construye una torre para la generación de energía eólica en el océano, para mejorar la estabilidad de la torre de generación de energía eólica, es necesario introducir una porción de base de la torre en el fondo del suelo del océano. Además, para mantener establemente una pala de turbina de un generador de energía eólica en una posición que está posicionada suficientemente alta sobre el nivel del mar, se requiere que una columna de tubo de acero, que está instalada junto a la porción de base de la torre o sobre la porción de base, tenga una altura suficiente. Por ejemplo, la altura debería ser 80 m o más.

20 De esta manera, la torre para la generación de energía eólica marina es una estructura de acero enorme y está expuesta continuamente a vientos y olas fuertes. De esta manera, toda la torre está sometida repetidas veces a cargas continuas debido a vientos fuertes, olas o vibración debida a la rotación de la pala de una turbina.

25 Este decir que, en estas circunstancias, una porción soldada entre la porción de base de la torre y la columna de tubo de acero instalada sobre la porción de base requiere propiedades de resistencia a la fatiga con respecto a vibración del rango de gigaciclos ( $10^{9-10}$ ) que tiene un orden diferente de un ciclo de fatiga normal ( $10^{6-7}$ ).

30 Por lo tanto, se requiere el desarrollo de un método de soldadura para formar una unión soldada, que pueda resistir circunstancias de vibración del rango de gigaciclos en la construcción de la torre de generación de energía eólica marina.

35 [Documentos de patent]

[Documento de patente 1] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2008-111406  
 [Documento de patente 2] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2007-092406  
 [Documento de patente 3] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2007-322400  
 40 [Documento de patente 4] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2006-037397  
 [Documento de patente 5] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2005-194792  
 [Documento de patente 6] Solicitud de patente japonesa no examinada, primera publicación N° 2005-180239

45 DE 20 2008 006 307 U1 describe una pieza de pestaña para una torre para una planta de energía eólica y una torre para una planta de energía eólica.

50 La figura 5 muestra una vista esquemática de una torre para una generación de energía eólica marina de la técnica relacionada. En la torre de generación de energía eólica marina, una columna de tubo de acero 112 que tiene un diámetro del tubo de 3 m a 5 m y un espesor del tubo de 30 mm a 80 mm está dispuesta sobre la estructura básica (porción de base) 111, y una góndola 113 que incluye una pala de turbina 114 está dispuesta sobre un vértice de la columna de tubo de acero 112.

55 Además, puesto que la altura de la torre de generación de energía eólica marina es 80 m o más y la torre está sometida continuamente a circunstancias de vibración de gigaciclo, una unión A de la estructura básica 111 y el tubo de acero 102', y una unión B del tubo de acero 102' y un tubo de acero 102 tienen que resistir vibración de gigaciclo.

60 Además, cuando la torre de generación de energía eólica marina descrita anteriormente está construida, una unión del tubo de acero 102' y el tubo de acero 102, para uso como una columna de tubo de acero 112, puede ser una unión de tubo que utiliza una pestaña. También en este caso, el montaje, que no es una unión de tubo utilizando una pestaña, de la columna de tubo de acero 112 a la estructura básica 111, y la unión entre un miembro de pestaña (pestaña) y la estructura básica 111, el tubo de acero 102', y el tubo de acero 102 se realizan cada uno de ellos por soldadura con arco (en adelante referida simplemente como soldadura) o similar. De esta manera, cuando se adopta la unión del tubo que utiliza la pestaña, es importante asegurar propiedades de resistencia a la fatiga en la unión y en la proximidad de la unión.

65 A continuación se describirá en detalle la unión B en la figura 5.

La figura 6 es una vista esquemática de la sección transversal en una dirección del eje del tubo de la columna de tubo de acero 112 en la unión B en la figura 5.

5 Un disco de pestaña (referido en adelante simplemente como pestaña) 101 se une a una superficie extrema del tubo de acero 102 con una porción de metal soldado 103 y de esta manera se forma un tubo de acero soldado con disco de pestaña 110. Además, la pestaña 101 está configurada aproximadamente de una porción de pestaña 101a que tiene una forma de anillo plano y una porción de conexión 101b, y la porción de conexión 101b y el tubo de acero 102 se unen por soldadura. Aquí, el disco de pestaña posicionado en el lado de la circunferencia interior (lado de la superficie interior) desde una esquina de pestaña 101c descrita a continuación se refiere como la porción de pestaña 101a, y el disco de pestaña posicionado en el lado de la circunferencia exterior (lado de la superficie exterior) desde la esquina de pestaña 101c se refiere como la porción de conexión 101b. Además, el tubo de acero 102' y la pestaña 101' tienen también una estructura similar. Además, las porciones de conexión 101b y 101b' están previstas para rodear la circunferencia exterior de cada una de las porciones de pestaña 101a y 101a'.

15 Además, la porción de pestaña 101a y la porción de pestaña 101a' están fijadas por bulones 107, y de esta manera el tubo de acero 102 y el tubo de acero 102' están conectados entre sí y forman la columna de tubo de acero 112.

20 La figura 7 es una vista esquemática de la sección transversal ampliada de una porción T mostrada en la figura 6.

Como se muestra en la figura 7, la superficie extrema del tubo de acero 102 y la unión 101b del disco de pestaña 101 se unen entre sí por soldadura de muescas (una muesca en forma de X) que están previstas en una forma de V desde cada una de las superficies interior y exterior del tubo de acero 102 y la porción de conexión 101b.

25 De esta manera, si se sueldan el tubo de acero 102 y la pestaña 101, en general, ocurren tensiones residuales de tracción en la dirección del eje del tubo sobre la porción de metal soldado 103 y las superficies de los lados de la superficie interior de cada uno del tubo de acero 101 y la porción de conexión 101b en la proximidad de la porción de metal 103. Por otra parte, cuando toda la torre de generación de energía eólica marina es sometida a vibración, la localización, donde se requieren las máximas propiedades de resistencia a la fatiga, es la esquina de la pestaña, que es una porción en la que se concentra tensión y que cruza una superficie 101d del lado de la porción de conexión de la porción de pestaña 101a y la superficie interior de la porción de conexión 101b.

35 Por lo tanto, en la técnica relacionada, para hacer que la esquina de la pestaña 101c no esté incluida en la región, en la que ocurren tensiones residuales de tracción debido a la soldaduras, una estructura está diseñada para que la longitud de la porción de conexión 101b en la dirección del eje del tubo sea suficientemente larga y la porción de metal soldado 103 y la esquina de la pestaña 101c están suficientemente separadas una de la otra.

40 Sin embargo, de acuerdo con un incremento en el tamaño de la torre de generación de energía eólica marina, se requiere mejora adicional de propiedades de resistencia a la fatiga, se incrementa el diámetro de la columna de tubo de acero que configura la torre de generación de energía eólica marina y se incrementa el espesor del material de acero (tubo de acero) que se utiliza como la columna de tubo de acero. Sin embargo, en el caso, naturalmente, se incrementa el peso de la pestaña.

45 En general, una pestaña grande para la torre de generación de energía eólica marina es un producto de forja costoso. De esta manera, el incremento en el peso de la pestaña costosa genera el incremento del coste total de la torre de generación de energía eólica marina y, por lo tanto, está sometida a reducir el peso de la pestaña y a suprimir el incremento del coste. Además, como se ha descrito anteriormente, puesto que cada una de la porción de base y la columna de tubo de acero de la torre de generación de energía eólica marina y la porción soldada de la porción de conexión de la pestaña requieren propiedades de resistencia a la fatiga que resistan vibración de rango de gigaciclos, está sometida a mejora de las propiedades de resistencia a la fatiga y de reducción del peso de la pestaña.

55 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un tubo de acero soldado con disco de pestaña que tiene propiedades de fatiga que resisten vibración de rango de gigaciclos cuando la pestaña de peso ligero está soldada al tubo de acero.

[Medios para resolver el problema]

60 En la presente invención, como medidas del problema descrito anteriormente, en una sección transversal que incluye un eje de tubo de un tubo de acero de una porción de metal soldado, una porción de conexión y un extremo del tubo de acero están soldados entre sí, de manera que una zona de la sección transversal de una porción de metal soldado de un lado circunferencial exterior (lado de la superficie exterior) desde 1/2 línea del espesor de un tubo (línea central del espesor del tubo), es decir, un centro del espesor del tubo es 1,5 veces o más mayor que una zona de la sección transversal de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior (lado de la superficie interior). Además, una distancia entre una puntera soldada de un lado de la pestaña en el lado de la superficie interior de la porción de metal soldado y una esquina de la pestaña está configurada para tener un valor constante. De esta manera, se aplica tensión residual compresiva a la esquina de la pestaña, y se mejoran las propiedades de

fatiga con respecto a vibración de gigaciclo de rango de gigaciclos en un tubo de acero soldado con disco de pestaña.

Lo esencial de la presente invención es lo siguiente:

- 5
- (1) En un tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un tubo de acero soldado con disco de pestaña, en el que un disco de pestaña está soldado en un extremo del mismo en una dirección del eje del tubo, que incluye: un disco de pestaña que incluye una porción de pestaña que tiene una forma de anillo plano, y una porción de conexión que está posicionada en un lado circunferencial exterior de la porción de pestaña y tiene una porción anular, en la que al menos una porción se proyecta desde un lado de la superficie de la porción de pestaña; un tubo de acero que está soldado a un lado de la superficie de la porción de conexión y tiene un espesor  $t$  del tubo (mm); y una porción de metal soldado que está formada por soldadura entre la porción de conexión y el tubo de acero, en el que en la sección transversal, que incluye un eje de tubo del tubo de acero, de la porción de metal soldado, un área de la sección transversal  $S_0$  de un lado circunferencial exterior desde un centro en una dirección del espesor del tubo de acero y un área de la sección transversal  $S_1$  de un lado circunferencial interior satisfacen una relación de  $S_0 \geq 1,5 S_1$ , y en el que una distancia entre una puntera soldada del lado de la porción de pestaña en un lado de la superficie interior de la porción de metal soldado y una esquina de la pestaña, que es una porción en la que una superficie interior de la porción de conexión y una superficie de la porción de pestaña se cruzan, es 5 mm o más y el espesor del tubo es  $t$  o menos.
- 10
- (2) En el tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con (1), una longitud en una dirección del eje del tubo de una superficie lateral de un lado circunferencial exterior del disco de pestaña puede ser menor que un espesor de una placa de la porción de pestaña.
- 15
- (3) En el tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con (1) o (2), se puede formar tensión residual compresiva sobre la esquina de la pestaña por la soldadura.
- 20
- (4) En el tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con (1) o (2), el espesor  $t$  del tubo de acero puede ser 30 mm o más.
- 25
- (5) En el tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con (1) o (2), el tubo de acero puede ser utilizado en una columna de tubo de acero de una torre de generación de energía eólica. El problema anterior se puede resolver por las características definidas en las reivindicaciones.
- 30

De acuerdo con la presente invención, en el tubo de acero, al que se une el disco de pestaña por soldadura, en la sección transversal, que incluye el eje del tubo de acero de la porción de metal soldado, puesto que el área de la sección transversal  $S_0$  del lado circunferencial exterior desde el centro del tubo de acero en la dirección del espesor del tubo de acero es mayor que 1,5 veces el área de la sección transversal  $S_1$  del lado circunferencial interior del tubo de acero, y la distancia entre la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y la esquina de la pestaña es suficientemente pequeña, puede permanecer tensión compresiva sobre la superficie de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y en la proximidad de la superficie. Además, posicionando la esquina de la pestaña en la región generada de la tensión residual compresiva, se puede proporcionar el tubo de acero soldado con disco de pestaña, que tiene propiedades de resistencia a la fatiga en vibración en el rango de gigaciclos.

35

40

La invención se describe en detalle en combinación con los dibujos, en los que:

- 45
- La figura 1 es una vista esquemática de la sección transversal que ilustra un tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente forma de realización.
- La figura 2A es una vista esquemática de la sección transversal que ilustra una distribución de la tensión en la proximidad de una porción de metal soldado de un tubo de acero soldado con disco de pestaña de la técnica relacionada.
- 50
- La figura 2B es un grafo que muestra una distribución de la tensión en la línea X-X' de la figura 2A.
- La figura 2C es un grafo que muestra una distribución de la tensión en la línea Y-Y' de la figura 2A.
- La figura 3A es una vista esquemática de la sección transversal que ilustra una distribución de la tensión en la proximidad de una porción de metal soldado de un tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente forma de realización.
- 55
- La figura 3B es un grafo que muestra una distribución de la tensión en la línea X-X' de la figura 3A.
- La figura 3C es un grafo que muestra una distribución de la tensión en la línea Y-Y' de la figura 3A.
- La figura 4 es una vista esquemática de la sección transversal de un disco de pestaña.
- La figura 5 es una vista esquemática que ilustra una estructura de una torre para una generación de energía eólica marina.
- 60
- La figura 6 es una vista esquemática de la sección transversal en una dirección del eje del tubo de un tubo de acero 102 en una unión B de la figura 5.
- La figura 7 es una vista esquemática de la sección transversal ampliada de una porción en T mostrada en la figura 6.
- 65
- La figura 8 es una vista esquemática de la sección transversal del tubo de acero soldado con disco de pestaña para ilustrar una forma de muesca en el ejemplo de la presente invención.
- La figura 9 es una vista en perspectiva de una pieza de ensayo en forma de placa.

La figura 10 es un grafo que muestra resultados de un ensayo de fatiga y un ensayo preliminar de fatiga en el ejemplo de la presente invención.

La figura 11 muestra una vista esquemática que ilustra un método del ensayo preliminar de fatiga en el ejemplo de la presente invención.

5 En la presente invención, en un tubo de acero soldado con disco de pestaña se suelda una muesca, que se define por una superficie de muesca del lado de la pestaña prevista sobre un extremo del disco de pestaña y una superficie de muesca del lado de la columna de tubos de acero prevista sobre un extremo de un tubo de acero. Además, un disco de pestaña de la presente invención está configurado aproximadamente de una porción de pestaña que tiene una forma de anillo plano y una porción de conexión que está posicionada en un lado circunferencial exterior de la porción de pestaña y tiene una porción anular, en la que al menos una porción de la misma se proyecta desde un lado de la superficie (una superficie del lado al que está soldado el tubo de acero) de la porción de pestaña. Además, la muesca, que está definida por la superficie de muesca del lado de la pestaña y la superficie de muesca del lado del tubo de acero, es una muesca en forma de X, una muesca en forma de V, una muesca de cono individual, una muesca en forma de K, una muesca en forma de U o similar.

A continuación se describirá el tubo de acero soldado con disco de pestaña de acuerdo con una forma de realización de la presente invención con referencia a los dibujos.

20 La figura 1 es una vista esquemática de la sección transversal en una dirección del eje del tubo de acero soldado con disco de pestaña en la presente forma de realización.

Como se muestra en la figura 1, un tubo de acero soldado con disco de pestaña 10 de acuerdo con la presente forma de realización incluye un disco de pestaña 1, que incluye una porción de pestaña 1a que tiene una forma de anillo plano, y una porción de conexión 1b que está posicionada en un lado circunferencial exterior de la porción de pestaña 1a e incluye una porción anular 1b', en la que al menos una porción de la misma se proyecta desde un lado de la superficie 1d (una superficie del lado al que está soldado el tubo de acero 2) de la porción de pestaña 1a; un tubo de acero 2 que está soldado al disco de pestaña 1 y en el que un espesor del tubo es  $t$  (mm); y una porción de metal soldado 3 descrita anteriormente. Además, el tubo de acero 2 está soldado a un lado de la superficie 1d del disco de pestaña 1.

Además, el disco de pestaña 1 incluye una superficie de muesca 1e del lado de la pestaña, que está formada sobre un extremo del disco de pestaña 1 que mira hacia el tubo de acero 2, y el tubo de acero 2 incluye una superficie de muesca 2e del lado del tubo de acero, que está formada sobre un extremo del tubo de acero 2 que mira hacia el disco de pestaña 1.

Además, una muesca entre el disco de pestaña 1 y el tubo de acero 2, que se define por la superficie de muesca 1e del lado de la pestaña y la superficie de muesca 2e del lado del tubo de acero, está soldada y de esta manera se forma la porción de metal soldado 3. Además, en una sección transversal de la porción de metal soldado 3 mostrada en la figura 1, un área de la sección transversal  $S_0$  de un lado de la circunferencial exterior desde una línea central (línea C-C) en una dirección del espesor del tubo de acero 2 (una dirección del espesor del tubo de acero 2) es mayor que 1,5 veces un área de la sección transversal  $S_1$  de un lado circunferencial interior del tubo de acero 2, y una distancia entre una puntera soldada 1e' del lado de la porción de pestaña 1a en un lado de la superficie interior de la porción de metal soldado 3 y una esquina de la pestaña 1c, que es una porción, en la que una superficie 1d y la superficie interior de la porción de conexión 1b se cruzan, es 5 mm o más y el espesor del tubo es  $t$  o menos.

Aquí, en una estructura que utiliza un tubo de acero soldado con disco de pestaña de la técnica relacionada como se muestra en la figura 7, en general, desde el punto de vista de la eficiencia de soldadura, se adopta una muesca en forma de X como una muesca de la porción de metal soldado 103. Además, como se ha descrito anteriormente, en la estructura de la técnica relacionada, existe el problema de que tensiones residuales de tracción en una dirección del eje del tubo de acero ocurren sobre regiones de la superficie de la porción de metal soldado 103, un tubo de acero 102 y una porción de conexión 101b en la proximidad de la porción de metal soldado.

Con el fin de resolver el problema, en la estructura de la técnica relacionada, se considera importante que la porción de metal soldado 103 esté formada de manera que esté más separada de una esquina 101c de la pestaña, en la mayor medida posible, la esquina 101 de la pestaña no está incluida en una región en la que ocurren tensiones residuales de tracción y, por lo tanto, se reducen en la mayor medida posible las influencias de las tensiones residuales de tracción en la esquina 101c de la pestaña.

60 No obstante, con el fin de separar la porción de metal soldado 103 de la esquina de la pestaña 101c, en la mayor medida posible, no se puede evitar que se incremente una longitud en la dirección del eje del tubo de la porción de conexión 101b y, como resultado, existe el problema de que se incrementa el peso de la pestaña 101 costosamente.

Por lo tanto, los inventores han revisado con interés una estructura de unión que se puede acortar para reducción del peso de la porción de conexión 101b de la pestaña, y en la que la esquina de la pestaña 101c, en la que se concentra la tensión, tiene propiedades de fatiga que resisten vibración de un rango de gigaciclos.

A continuación se describirá en detalle la pestaña del tubo de acero soldado con disco de pestaña 10.

5 Como se muestra en la figura 1, un tubo de acero soldado con disco de pestaña 10 de la presente forma de realización está configurado aproximadamente de: una disco de pestaña 1 que incluye la porción de pestaña 1a que tiene una forma de anillo plano, y una porción de conexión 1b que está posicionada en un lado circunferencial exterior de la porción de pestaña 1a e incluye una porción anular 1b', en la que al menos una porción se proyecta desde un lado de lado de la superficie 1d (una superficie del lado al que está soldado el tubo de acero 2) de la porción de pestaña 1a; un tubo de acero 2 que está soldado al disco de pestaña 1 y en el que un espesor del tubo es t (mm); y la porción de metal soldado 3 descrita anteriormente.

15 Además, el disco de pestaña 1 incluye una superficie de muestra 1e del lado de la pestaña, que está formada sobre un extremo de la misma que mira hacia el tubo de acero 2, y el tubo de acero 2 incluye la superficie 2e de la muesca del lado del tubo de acero, que está formada sobre un extremo de la misma, que mira hacia la pestaña 1.

20 Además, la muesca entre el disco de pestaña 1 y el tubo de acero 2, que se define por la superficie 1e de la muesca del lado de la pestaña y la superficie 2e de la muesca del lado del tubo de acero está soldada y de esta manera se forma la porción de metal soldado 3. La porción de metal soldado 3 penetra en el tubo de acero 2 en la dirección del espesor del tubo (la dirección del espesor del tubo de acero 2).

25 Además, en la presenta forma de realización, una porción de abertura que penetra en la dirección del eje del tubo de acero se forma en una porción central en una dirección radial del disco de pestaña 1, de manera que una persona se mueve con el fin de realizar la inspección o similar de una porción interior de la columna de tubos de acero.

30 Además, en la presente forma de realización, en la sección transversal que incluye un eje del tubo de acero 2, de la porción de metal soldado 3, el área de la sección transversal  $S_0$  del lado circunferencial exterior del tubo de macero 2 desde el centro en la dirección del espesor del tubo (la dirección del espesor del tubo de acero 2) del tubo de acero 2 y el área de la sección transversal  $S_1$  del lado circunferencial interior del tubo de acero 2 tienen que cumplir la relación  $S_0 \geq 1,5 S_1$ . Es decir, que como se muestra en la figura 1, el área de la sección transversal  $S_0$  de una porción de metal soldado 3a del lado circunferencial exterior, que se forma sobre el lado circunferencial exterior desde la línea C-C, que es la línea central (1/2) del espesor del tubo de acero 2, es decir, el centro del espesor del tubo, se ajusta a 1,5 veces o más el área de la sección transversal  $S_1$  de una porción de metal soldado 3b del lado circunferencial interior, que se forma sobre el lado circunferencial interior desde el centro del espesor del tubo. A continuación, se describirán razones para la limitación del área de la sección transversal  $S_0$  y el área de la sección transversal  $S_1$ .

35 Como se muestra en la figura 1, en la sección transversal que incluye el eje del tubo de acero 2 se forma la porción de metal soldado 3 de la presente forma de realización, de manera que el área de la sección transversal  $S_0$  del lado circunferencial exterior desde el centro en la dirección del espesor del tubo de acero 2 y el área de la sección transversal  $S_1$  del lado circunferencial interior satisfacen la relación  $S_0 \geq 1,5 S_1$ . Es decir, que la porción de metal soldado 3 tiene una estructura en la que una cantidad de metal soldado de la porción de metal soldado 3a del lado circunferencial exterior de la porción de metal soldado 3 es mayor que una cantidad de metal soldado de la porción de metal soldado 3b del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 y, por lo tanto, puede permanecer tensión compresiva en una región desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 hasta la esquina de la pestaña 1c.

40 Además, si el área de la sección transversal  $S_0$  es inferior a 1,5 veces el área de la sección transversal  $S_1$ , la tensión compresiva, que permanece en la región desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 hasta la esquina de la pestaña 1c, no se puede asegurar suficientemente y, por lo tanto, existe la preocupación de que no se puedan alcanzar suficientemente las propiedades de resistencia a la fatiga de la esquina de la pestaña 1c. Por lo tanto, en la presente forma de realización, se ajusta  $S_0 \geq 1,5 S_1$ . Además, con el fin de ejercer adicionalmente efectos de mejora de las propiedades de resistencia a la fatiga, se satisface con preferencia  $S_0 \geq 2,0 S_1$ , y se satisface más preferentemente  $S_0 \geq 2,5 S_1$ .

45 De esta manera, puesto que el área de la sección transversal  $S_0$  es mayor que el área de la sección transversal  $S_1$ , puede permanecer tensión compresiva en la región desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 hasta la esquina de la pestaña 1c.

50 Además, en la presente forma de realización, se requiere que una distancia d entre una puntera soldada 1e' del lado de la porción de pestaña 1a en el lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3b y la esquina de la pestaña 1c sea 5 mm o más y el espesor del tubo es t o menos.

55 Si la distancia d es demasiado pequeña, la concentración de tensión influye en la puntera soldada 1e' del lado de la porción de pestaña 1a de la porción de metal soldado 3b del lado circunferencial interior y puesto que existe una preocupación de que se pueden deteriorar las propiedades de resistencia a la fatiga de la esquina de la pestaña 1c, la distancia d se ajusta a 5 mm o más. Además, si la distancia d excede el espesor del tubo t, la posición de la

esquina de la pestaña 1c está fuera de un rango de una región residual de la tensión compresiva, y no se pueden obtener suficientemente las propiedades de resistencia a la fatiga de la esquina de la pestaña 12c, por lo tanto la distancia d se ajusta a l espesor del tubo t o menos. Además,, con el fin de ejercer adicionalmente efectos de mejora de las propiedades de resistencia a la fatiga, es preferible que el límite inferior de la distancia d sea 8 mm o 10 mm y el límite superior de la distancia d sea 80 % o 65 % del espesor del tubo t.

Aquí, se describirá la distribución de la tensión de la porción de metal soldado 3 en la proximidad de la misma en la presente forma de realización, comparando al mismo tiempo la estructura del tubo de acero soldado con disco de pestaña 110 de la técnica relacionada.

La figura 2A es una vista esquemática de la sección transversal en la dirección del eje del tubo de acero soldado con disco de pestaña de la técnica relacionada que adopta una muesca en forma de X.

Las figuras 2B y 2C muestran la distribución de la tensión en la proximidad de la porción de metal soldado 103 del tubo de acero soldado con disco de pestaña mostrado en la figura 2A. Además, la figura 2B muestra la distribución de la tensión en un centro X-X' de la porción de metal soldado 103, y la figura 2C muestra la distribución de la tensión en Y-Y' (perpendicular a X-X') que se extiende sobre la esquina de la pestaña 1'1c desde el centro de la superficie de la porción de metal soldado 103a del lado circunferencial interior del tubo de acero.

Cuando se adopta la estructura de la técnica relacionada como la estructura del tubo de acero soldado con disco de pestaña, como se muestra en la figura 2B, la tensión compresiva permanece sólo en una porción central en una dirección radial de la porción de metal soldado 103, y permanece tensión de tracción en el lado circunferencial exterior y en el lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 103.

Además, como se muestra en la figura 2C, la tensión residual en una dirección perpendicular a una línea de soldadura desde la porción de metal soldado 103b del lado circunferencial interior hasta la esquina de la pestaña 101c es siempre tensión de tracción.

De esta manera, en la técnica relacionada, se considera que la mejor medida es incrementar la longitud en la dirección del eje del tubo de la porción de conexión 101n, teniendo en cuenta al mismo tiempo el desplazamiento de la esquina de la pestaña 101c fuera de la región, en la que permanece la tensión de tracción, para no influir sobre las propiedades de fatiga de la esquina de la pestaña 101c. De esta manera, el tamaño de la pestaña 101 se incrementa y se incrementan los costes de la pestaña 101.

Aquí, cuando se forma una porción de metal soldado de una muesca en forma de V, en la que una anchura de la muesca del lado circunferencial exterior es amplia, restringiendo al mismo tiempo la deformación debida a soldadura, la tensión residual en la dirección, que está perpendicular a la superficie del lado circunferencial exterior de la porción de metal soldado y a la línea de soldadura en la proximidad de la misma, es tensión de tracción. Por otra parte, la tensión residual sobre la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado es tensión compresiva. Esto es debido a que la anchura de la muesca del lado circunferencial exterior es relativamente más ancha que la del lado circunferencial interior y la cantidad de metal soldado del lado circunferencial exterior es mayor que la del lado circunferencial interior.

Utilizando el fenómeno, los inventores revisan la forma de la muesca en el tubo de acero soldado con disco de pestaña y consideran que se pueden conseguir mejoras de las propiedades de resistencia a la fatiga de la esquina de la pestaña y reducción del peso del disco de pestaña si se puede aplicar tensión residual compresiva a la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y a la esquina de la pestaña.

Esto decir, que para utilizar la tensión compresiva que permanece sobre la superficie de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior 3b y en la proximidad de la misma al máximo, la presente forma de realización tiene la estructura, en la que la puntera soldada del lado de la porción de pestaña de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior 3b se aproxima a la esquina de la pestaña 1c. Es decir, que la estructura del tubo de acero soldado con disco de pestaña 10 de la presente forma de realización incorpora una nueva idea que es completamente inversa a la idea de la técnica relacionada.

La figura 4A es una vista esquemática de la sección transversal en la dirección del eje del tubo de acero 2 soldado con disco de pestaña 1 de la presente forma de realización.

Las figuras 3B y 3C muestran la distribución de la tensión en la proximidad de la porción de metal soldado 3 mostrada en la figura 3A. Además, la figura 3B muestra la distribución de la tensión en un centro X-X' de la porción de metal soldado 3, y la figura 3C muestra la distribución de la tensión en Y-Y', que se extiende sobre la esquina de la pestaña 1c desde el centro de la superficie de la porción de metal soldado 3a del lado circunferencial interior del tubo de acero (lado de la superficie interior).

De acuerdo con el tubo de acero soldado con disco de pestaña 10 de la presente forma de realización, como se muestra en la figura 3B, sobre la superficie del lado circunferencial exterior y la superficie del lado circunferencial

interior de la porción de metal soldado 3, la tensión residual en la dirección radial (X-X' en la figura 3A) del tubo de acero es tensión de tracción en el lado circunferencial exterior de la pestaña, pero la tensión residual es tensión compresiva en el lado circunferencial interior.

5 Además, como se muestra en la figura 3C, la tensión residual en la dirección perpendicular a la línea de soldadura (Y-Y' en el dibujo) desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 hasta la esquina de la pestaña 1c es tensión compresiva depositando la esquina de la pestaña 1c en la proximidad de la porción de metal soldado 3.

10 A continuación se describirá la estructura del disco de pestaña 1 en la presente forma de realización. Las figuras 4(a) a 4(e) muestran la estructura del disco de pestaña 1.

15 En la presente forma de realización, el disco de pestaña 1 está configurado aproximadamente de la porción de pestaña 1a que tiene una forma de anillo plano que está posicionado 3 en el lado interior en la dirección radial del tubo de acero desde la esquina de la pestaña 1, y la porción de conexión 1b que está posicionada en el lado circunferencial exterior de la porción de pestaña 1a e incluye la porción anular 1b' en la que al menos una porción de la misma se proyecta desde un lado de la superficie 1d de la porción de pestaña 1a. Además, el disco de pestaña 1 incluye la esquina de pestaña 1c que es la porción donde se cruzan una superficie 1d y la superficie interior de la porción de conexión 1b.

20 En la presente forma de realización, como se muestra en las figuras 4(a) y 4(b), la longitud h1 es menor que el espesor de la placa h de la porción de pestaña 1a. Además, la longitud h1 en la dirección del eje del tubo de la superficie lateral exterior de la porción de conexión 1b del disco de pestaña 1 se puede considerar como el espesor de la placa sobre la superficie extrema circunferencial exterior del disco de pestaña 1.

25 Cuando la longitud h1 es menor que el espesor de la placa h de la porción de pestaña 1a, se cumple la condición  $S_0 \geq 1,5 S_1$ , es decir, que se puede cumplir fácilmente la relación descrita anteriormente entre el área de la sección transversal  $S_0$  y el área de la sección transversal  $S_1$ . Como resultado, el área de la sección transversal  $S_0$  se puede asegurar más fácilmente que el área de la sección transversal  $S_1$  y, por lo tanto, se pueden obtener fácilmente los efectos en la presente forma de realización. Es decir, que se puede incrementar la tensión compresiva, que permanece en la región desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado 3 hasta la esquina de la pestaña 1c y, por lo tanto, se pueden mejorar adicionalmente las propiedades de resistencia a la fatiga de la esquina de la pestaña 1c.

35 Además, una distancia entre una porción, donde una superficie opuesta a un superficie 1d que es el lado soldado al tubo de acero y la otra superficie lateral del disco de pestaña 1 se cruzan, en el disco de pestaña 1, y la puntera soldada del lado del disco de pestaña 1 en el lado de la superficie exterior de la porción de metal soldado 3, se puede considerar como la longitud h1.

40 Además, como se ha descrito anteriormente, la porción de conexión 1b en la presente forma de realización incluye la porción anular 1b', que está posicionada sobre el lado circunferencial exterior de la porción de pestaña 1a y en la que al menos una porción de la misma se proyecta desde una superficie 1d de la porción de pestaña 1a.

45 Aquí como se muestra en las figuras 4(a) y 4(b), en la presente forma de realización, la porción anular 1b' puede no contactar necesariamente con la superficie del lado exterior del disco de pestaña 1. Es decir, que la porción de conexión 1b del disco de pestaña en la presente forma de realización puede estar formada de manera que al menos una porción de la porción de conexión 1b soldada al tubo de acero 2 se proyecta desde un lado de la superficie 1d hasta el lado del tubo de acero 2 y la distancia d es 5 mm o más y un espesor del tubo t o menos.

50 Además, el espesor de la placa h de la porción de pestaña 1a del disco de pestaña 1 en la presente forma de realización es con preferencia 2 veces o más el espesor del tubo t y 200 mm o menos. De esta manera, ajustando el espesor de la placa para que sea 2 veces o más el espesor del tubo t se puede mejorar la resistencia de la unión mecánica en el tubo de acero 2 soldado con disco de pestaña 1. Sin embargo, si el espesor de la placa h de la porción de pestaña 1a es demasiado grueso, existe la preocupación de que puede ocurrir un incremento en el coste de fabricación. De esta manera, un límite superior del espesor de la placa 1 de la porción de pestaña 1a es con preferencia 200 mm o menos.

55 Además, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga, la soldadura de la presente invención es con preferencia soldadura de penetración total. No obstante, la soldadura de la presente forma de realización puede no ser necesariamente soldadura de penetración total. Es decir, que se puede utilizar soldadura de penetración parcial, en la que la porción de metal soldado no penetra necesariamente en la dirección del espesor del tubo. Específicamente, en una muesca en forma de X, en la porción interior de la porción de metal soldado, puede existir una porción en la que no se suelda una porción de una cara de la raíz.

65 En la presente forma de realización, la muesca, que se define por la superficie de muesca 1e del lado de la pestaña y la superficie de muesca 2e del lado del tubo de acero, es cualquiera de una muesca en forma de X, una muesca

en forma de V, una muesca de cono individual, una muesca en forma de K, o una muesca en forma de U. Además, si se considera que se cumple la relación descrita anteriormente entre el área de la sección transversal  $S_0$  y el área de la sección transversal  $S_1$ , la muesca es más particularmente la muesca en forma de V, la muesca en forma de X, la muesca en forma de K. Adoptando la muesca en forma de V, la muesca en forma de X o la muesca en forma de K, se puede obtener fácilmente la relación descrita anteriormente entre el área de la sección transversal  $S_0$  y el área de la sección transversal  $S_1$ . Esto es debido a que se puede aplicar fácilmente una tensión residual compresiva grande a la superficie de la porción de metal soldado 3b del lado circunferencial interior y la proximidad de la superficie.

5  
10  
15 Además, cuando se adopta la muesca en forma de X o la muesca en forma de K, puesto que se genera tensión compresiva por la posición de metal soldado del lado circunferencial interior, se prefiere que el tubo de acero 2 y el lado circunferencial interior (lado de la superficie interior) del disco de pestaña 1 se suelden entre sí de antemano y después se sueldan el tubo de acero y el lado circunferencial exterior (lado de la superficie exterior) entre sí. Además, en este caso mediante decapado de la sección transversal de la porción de metal soldado, se identifica fácilmente el lado de la superficie soldada.

20 Además, cuando cuando se adopta la muesca en forma de X o la muesca en forma de K, la profundidad de la muesca del lado circunferencial exterior es con preferencia mayor que la profundidad de la muesca del lado circunferencial interior. Por lo tanto, se puede generar tensión residual compresiva grande sobre la superficie de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y en la proximidad de la superficie.

25 Además, en el tubo de acero soldado 10 con disco de pestaña 1 de la presente forma de realización el espesor  $t$  del tubo de acero 2 y un espesor en la dirección radial de la porción de conexión 1b pueden ser diferentes entre sí. Incluso en este caso se pueden obtener efectos similares a los efectos de la presente forma de realización.

30 Además, como el tubo de acero 2, que se utiliza en el tubo de acero soldado 10 con disco de pestaña 1 de acuerdo con la presente forma de realización, se utiliza con preferencia un tubo de acero que tiene una alta resistencia y un diámetro grande, en el que el espesor  $t$  del tubo es 30 mm o más. El tubo de acero que tiene alta resistencia y un diámetro grande puede fabricarse a partir de un tubo de acero estructural para soldadura que tiene una composición de componentes bien conocida y en la que el límite aparente de elasticidad es 315 MPa o más o 355 MPa o más. Además, el límite aparente de elasticidad puede ser 690 MPa o menos o 600 MPa o menos.

35 Además, el espesor  $t$  del tubo de acero 2 es más preferentemente 40 mm o más y más preferentemente 50 mm o más. Adoptando el espesor  $t$  del tubo como éste, se puede aplicar fácilmente la tensión residual compresiva a la superficie de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y en la proximidad de la superficie.

40 Como se ha descrito anteriormente, de acuerdo con el tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente invención, en la sección transversal que incluye el eje del tubo de acero de la porción de metal soldado, puesto que el área de la sección transversal de lado circunferencial exterior desde el centro en la dirección del espesor del tubo de acero mayor que el área de la sección transversal del lado circunferencial interior del tubo de acero, y la distancia entre la porción de metal soldado del lado circunferencial interior del tubo de acero y la esquina de la pestaña es suficientemente pequeña, puede permanecer tensión compresiva sobre la superficie de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior del tubo de acero y en la proximidad de la superficie. Además, posicionado la esquina de la pestaña en la región generada de la tensión de compresión residual, se pueden mejorar las propiedades de resistencia a la fatiga en vibración en el rango de gigaciclos.

45  
50 De esta manera, en el tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente invención, el tubo es adecuado para una columna de tubo de acero para una torre de generación de energía eólica, en la que se requieren propiedades de resistencia a la fatiga en circunstancias de vibración de rango de gigaciclos.

55 Además, en la estructura tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente invención, comparada con la estructura de la técnica relacionada, puesto que la porción de conexión que se forma para rodear la circunferencia exterior de la porción de pestaña es menor, se puede conseguir una reducción significativa del peso del disco de pestaña. De esta manera, después de que una placa de acero gruesa, que se fabrica no por forjado sino por laminación, se corta circularmente, cortando una porción en la dirección del espesor de la placa, se puede fabricar un disco de pestaña.

60 Esto es, puesto que el espesor de la placa en la superficie extrema circunferencial exterior de la porción de conexión en la presente invención tiene la estructura más fina comparada con la técnica relacionada, el disco de pestaña costoso puede ser de peso ligero y, por lo tanto, se puede suprimir el coste de fabricación.

65 Además, como se ha descrito anteriormente, la presente invención no está limitada si se puede aplicar la tensión residual compresiva a la esquina de la pestaña, y la forma de la muesca o la posición en la unión (porción de metal soldada) no está limitada dentro del alcance que no se aparta del alcance de la presente invención. Además, de manera similar, el método de soldadura no está tampoco limitado.

Además, de acuerdo con la eficiencia de soldadura o la máquina de soldar, la forma de la muesca y la posición se pueden ajustar para que la esquina de la pestaña esté posicionada en la región en la que se genera tensión residual compresiva. Además, la tensión residual compresiva se puede medir por medición de la tensión residual por rayos-X o por extensómetro.

5 A continuación se describirá un ejemplo de la presente invención. No obstante, las condiciones en el ejemplo son condiciones de un ejemplo, que se adaptan para confirmar la factibilidad y los efectos de la presente invención, y la presente invención no está limitada a las condiciones del ejemplo.

10 Si el objeto de la presente invención se consigue sin apartarse del alcance de la invención, la presente invención puede adoptar varias condiciones y combinaciones de las condiciones.

[Ejemplo]

15 Utilizando un tubo de acero que tiene composición de componentes y características mecánicas mostradas en la Tabla 1, un disco de pestaña, y un alambre de soldar que se especifica en JIS Z 3313 YFL-C506R y que tiene un diámetro de 1,2 mm, se fabricó un tubo de acero soldado con disco de pestaña en las condiciones de soldadura de una corriente de 200 A, una tensión de 21 V, una velocidad de soldadura de 7 cpm a 25 cpm, y un gas protector Ar + 20 % CO<sub>2</sub> (25 l/min). Además, con respecto a la resistencia a la tracción del tubo de acero utilizado en la presente forma de realización, en el caso en el que el espesor de la placa (espesor del tubo) es inferior a 50 mm, se fabricó una pieza de ensayo N° U1, que se define en el Punto de Inspección (Parte K del material), Steel Boat Rule, Nippon Kaiji Kyokai (NK), y en el caso en el que el espesor de la placa (espesor del tubo) es más que 50 mm, se fabricó la pieza de ensayo JIS Z2201 N° 14A, luego se realizó el ensayo de tracción y se midió la resistencia a la tracción.

20 Además, el espesor  $t$  del tubo de acero utilizado, el espesor  $h$  de la placa de la porción de pestaña del disco de pestaña, la longitud  $h_1$  en la dirección del eje del tubo de la superficie del lado exterior del disco de pestaña, una relación  $h_1/h$  entre el espesor de la placa  $h$  y la longitud  $h_1$ , y las formas de la muesca se muestran en la Tabla 2 y en la Tabla 3. Además, en el presente ejemplo, el diámetro del tubo de acero utilizado era 700 mm.

30 Aquí, como el tipo de la forma de la muesca se adoptó o bien la muesca en forma de X mostrada en la figura 8(a) o la muesca en forma de V mostrada en la figura 8(b). En la porción de metal soldado 3 (porción soldada) una distancia  $t_1$  desde el lado circunferencial exterior de la porción soldada hasta la cara de la raíz, una distancia  $t_2$  desde el lado circunferencial interior de la porción soldada hasta la cara de la raíz, los ángulos de la muesca  $\theta_1$  y  $\theta_2$ , y un intersticio de la raíz  $g$  se muestran en la Tabla 2 y la Tabla 3, respectivamente. Además, en el caso de la muesca en forma de V como se muestra en la figura 8(b), la distancia  $t_1$  desde el lado circunferencial exterior de la porción soldada hasta la cara de la raíz y el espesor  $t$  del tubo son iguales entre sí.

35 A continuación, la porción de metal soldado en el tubo de acero, al que se soldó al disco de pestaña obtenido, se cortó en la dirección del eje del tubo. En la superficie cortada de la porción de metal soldado, se midieron, respectivamente, el área de la sección transversal  $S_0$  del lado circunferencial exterior desde el centro en la dirección del espesor del tubo y el área de la sección transversal  $S_1$  del lado circunferencial interior y se obtuvo una relación de la sección transversal  $S_0/S_1$  entre  $S_0$  y  $S_1$ .

40 Además, se midió la distancia  $d$  entre la puntera soldada del lado del disco de pestaña de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y la esquina de la pestaña y se obtuvo una relación entre la distancia  $d$  y el espesor  $t$  del tubo.

45 A continuación, con respecto al rendimiento del tubo de acero, al que se soldó el disco de pestaña obtenido, se evaluaron las características mecánicas mostradas en las Tablas 2 y 3. A continuación se describirá el método de evaluación.

50 En primer lugar, después de que los tubos de acero, a los que se soldó el disco de pestaña obtenido, se conectaron entre sí, para ser fijados por bulones 7, como se muestra en la figura 9, se cortó una pieza de ensayo similar a una placa y se extrajo, se realizó un ensayo de fatiga en la pieza de ensayo a temperatura ambiente en las condiciones de una relación de la tensión de -1 y una tasa de repetición de 10 Hz a 30 Hz, y se midió la resistencia a la fatiga de la unión F1, en la que la vida de rotura era 2 millones de veces ( $2 \times 10^6$  veces) en el número de repeticiones. Los resultados se muestran en las Tablas 2 y 3.

55 Por otra parte, puesto que la medición de la resistencia a la fatiga en un gigaciclo requiere un tiempo extremadamente largo en un dispositivo de ensayo de fatiga general, se estimó la resistencia a la fatiga de la unión F2 que corresponde a un gigaciclo ( $1 \times 10^9$  veces) por un método descrito a continuación y se evaluó. Se describirá el método de estimación de la resistencia a la fatiga de la unión F2.

60 En primer lugar, en una condición de la muesca del ensayo número 3 similar a F1, se cortó el tubo de acero soldado con disco de pestaña en la pieza de ensayo similar a una placa, con una anchura de 80 mm y se extrajo, y se realizaron ensayos cambiando la tensión desde 250 MPa en amplitud de tensión en la dirección del eje del tubo de acero hasta 5 niveles a temperatura ambiente en una condición de una relación de tensión de -1 y una tasa de

repetición de 10 Hz a 30 Hz. Como se muestra en (A) de la figura 10, como resultado, se rompió la pieza de ensayo cuando el número de repeticiones era aproximadamente  $1,3 \times 10^6$ ,  $2,2 \times 10^6$  y  $(1,2 \times 10^7)$ , y cuando la amplitud de la tensión era 140 MPa y 130 MPa, la pieza de ensayo no se rompió, aunque el número de repeticiones era  $1 \times 10^9$ . Como se entiende a partir de (A) de la figura 10, se considera que la resistencia a la fatiga alcanza aproximadamente un límite de fatiga entre  $1 \times 10^7$  veces y  $1 \times 10^8$  veces, y la resistencia a la fatiga no se reduce sustancialmente entre  $1 \times 10^8$  veces y  $1 \times 10^9$  veces. Además, puesto que el material de acero utilizado en el presente ejemplo tiene un rango de aproximadamente 500 MPa a 800 MPa en la resistencia a la tracción, se considera que el límite de fatiga (145 MPa en el presente ejemplo) se muestra entre  $1 \times 10^7$  veces y  $1 \times 10^8$  veces, como se muestra en (A) de la figura 10, incluso cuando se cambia la condición de la soldadura. La resistencia a la fatiga de la unión F2 se evaluó en un gigaciclo ( $1 \times 10^9$  veces) utilizando la relación. Específicamente, la resistencia a la fatiga en  $2 \times 10^6$  en la pieza de ensayo similar a una placa estimada a partir de (A) de la figura 10 y la resistencia a la fatiga en  $1 \times 10^8$  veces que corresponde al límite de fatiga se compararon entre sí y se obtuvo una tasa decreciente entre dos condiciones. La tasa decreciente se multiplicó hasta la resistencia a la fatiga de la unión F1 de  $2 \times 10^6$  veces, que se obtuvo con cada condición de la muesca, y se obtuvo la resistencia a la fatiga de la unión (valor estimado) F2 en un gigaciclo. Además, la tasa decreciente era 85 %.

Aquí, se realizó un ensayo de fatiga preliminar utilizando un tubo de acero que simuló un producto real y al que se soldó un disco de pestaña que simulaba un producto real, y se comparó con los resultados del ensayo de fatiga en la pieza de ensayo similar a una placa.

En el ensayo de fatiga preliminar, en primer lugar, como se muestra en la figura 11, se soldó el disco de pestaña 1 que tiene el espesor de la placa de 80 mm al tubo de acero 2, que simulaba un producto real y que tenía un diámetro de 700 mm y un espesor del tubo de 400 mm, por la forma de la muesca del ensayo número 3 de la Tabla 2. Además, de forma similar, se soldaron también un tubo de acero 2' y un disco de pestaña 1' entre sí por la forma de la muesca del ensayo número 3, y se preparó el tubo de acero soldado con disco de pestaña. Los discos de pestaña 1 y 1' se fijaron por bulones y se preparó una unión del tubo.

A continuación, como se muestra en la figura 11, ambos extremos de la unión de tubo se fijaron entre sí, dos localizaciones (ver localizaciones de las flechas en la figura 11) en la porción central fueron osciladas en direcciones de las flechas, y se realizó un ensayo de flexión de cuatro puntos. Además, se fijaron ambos extremos para asegurar suficientemente el alargamiento, contracción, y un grado de libertad con respecto a la rotación de un miembro debido a deformación elástica. Además, se realizó el ensayo de fatiga preliminar en una atmósfera a temperatura ambiente en una condición de una relación de tensión de -1, una tasa de repetición de 0,1 Hz a 0,3 Hz y una amplitud de la tensión de 180 MPa y 200 MPa. Además, se obtuvo la resistencia a la fatiga de la unión A1, en la que la vida de rotura era 2 millones de veces ( $2 \times 10^6$  veces) en el número de repeticiones. Como resultado, en el ensayo número 3, se obtuvieron los resultados que se muestran en (B) en la figura 10. Es decir, que en la resistencia a la fatiga en cada tubo de acero, que simuló un producto real y al que se soldó el disco de pestaña y se cortó la pieza de ensayo similar a una placa desde el tubo de acero, se obtuvo un resultado de  $A1 > F1$ . Se supone que esto es debido a que un estado de restricción de la deformación de la soldadura en el tubo de acero soldado con disco de pestaña es diferente del estado de restricción en la pieza de ensayo similar a una placa que se muestra en la figura 9 y se cortó y de extrajo del tubo de acero. Es decir, que puesto que una fuerza de restricción es mayor con respecto a la deformación de la soldadura en el tubo de acero soldado con disco de pestaña, se considera que se genera una tensión residual mayor que la pieza de ensayo similar a una placa. De esta manera, los efectos en la presente invención se ejercieron en el tubo de acero soldado con disco de pestaña. Sin embargo, puesto que pudo confirmarse que los efectos de la presente invención se ejercían también claramente en la pieza de ensayo similar a una placa, en el presente ejemplo, se realizó la evaluación en la pieza de ensayo similar a una placa.

Además, cuando se preparó la pieza de ensayo, puesto que la pieza de ensayo se fijó y se preparó de manera que no se generó deformación de soldadura, la tensión residual de la pieza de ensayo se aproximaba más al estado de tensión residual del tubo de acero soldado con disco de pestaña, en la medida posible.

A continuación, se midió la tensión residual de la esquina de la pestaña en la dirección del eje del tubo de acero aplicando un método de intercepción. Se fijó un tipo de eje sencillo de extensómetro (FLG-02-11 o similar fabricado por Tokyo Sokki Co., Ltd.) en paralelo en la dirección del eje del tubo de acero en la proximidad de la esquina de la pestaña del lado de la superficie interior del tubo de acero, y se realizó la medición. Además, en este tiempo, cuando la distancia d entre la esquina de la pestaña y la puntera soldada del lado de la superficie inferior era inferior a 7 mm, puesto que no se podía asegurar el espacio para instalar el extensómetro, no se realizó la medición.

Las propiedades de resistencia a la fatiga del tubo de acero soldado con disco de pestaña se evaluaron de la siguiente manera.

En la resistencia a la fatiga de la unión F2 en un gigaciclo, que se obtuvo a partir del ensayo de fatiga descrito anteriormente, se evaluó el cumplimiento de  $F2 > 110$  MPa para aceptación en las propiedades de resistencia a la fatiga de la unión.

Los resultados de la medición descritos anteriormente y los resultados de la evaluación se muestran en las Tablas 2

ES 2 615 232 T3

y 3.

[Tabla 1]

Tipo tubo acero	Composición del componente (% en masa)								Límite elástico	Resistencia a tracción
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	N	(MPa)	(MPa)
B1	0,2	1,2	0,41	0,003	0,003	0,5	0,2	0,005	432	632
B2	0,2	1,5	0,25	0,003	0,004	1,1	0,2	0,004	511	745
B3	0,05	2,1	0,21	0,004	0,004	0,5	0	0,004	392	521

[Tabla 2 (1/2)]

Nº de ensayo	Tipo tubo acero	Espesor del tubo t (mm)	Espesor de la placa de la porción de pestaña h (mm)	Forma de la muesca						Área de la sección transversal de la porción de metal soldado	
				Tipo	t1 (mm)	θ1 (°)	t2 (mm)	θ2 (°)	g (mm)	Lado exterior S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	Lado interior S <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )
1	B3	50	100	X	35	50	15	5	5	1466	264
2	B2	30	60	X	20	45	10	15	5	450	127
3	B1	40	80	X	30	40	10	15	8	831	271
4	B3	60	120	X	45	35	15	20	10	1560	539
5	B1	70	140	X	45	30	25	15	10	1461	575
6	B3	30	60	X	20	45	10	30	8	495	203
7	B3	50	100	X	40	26	10	10	10	921	377
8	B1	40	80	X	25	30	15	30	8	506	304
9	B2	60	120	X	40	30	20	30	15	1316	730
10	B3	30	60	X	20	30	10	30	15	442	297
11	B2	40	80	X	18	60	22	12	8	714	270
12	B3	50	140	X	35	50	15	5	5	1466	264
13	B1	40	80	V	40	40	-	-	5	1107	436
14	B2	30	60	V	30	30	-	-	3	435	174
15	B3	50	100	V	50	25	-	-	3	949	366
16	B3	50	100	V	50	15	-	-	3	577	242

ES 2 615 232 T3

17	B1	50	100	V	50	30	-	-	10	1333	611
18	B2	60	120	V	60	30	-	-	15	2009	970
19	B3	40	80	V	40	35	-	-	10	1040	480
20	B3	40	80	V	40	30	-	-	10	893	431
21	B1	60	120	V	60	25	-	-	10	1559	720
22	B2	30	60	V	30	30	-	-	10	540	280
23	B1	40	80	V	40	15	-	-	10	522	307
24	B2	40	80	V	40	15	-	-	10	522	307
25	B1	50	100	V	50	25	-	-	20	1374	791
26	B4	40	80	V	40	60	-	-	31	2698	1313
27	B1	40	120	V	40	40	-	-	5	1107	436

Tabla 2 (2/2)

Relación área sección transversal de porción metal soldada $S_0 / S_1$	Relación entre lado interior puntera soldada y esquina pestaña  d (mm)	Longitud en dirección eje tubo de superficie lado exterior disco de pestaña h1 (mm)	d/t	h1/h	Tensión residual compresiva de esquina de pestaña (MPa)	Características mecánicas			
						Resistencia a fatiga de la unión de 2 millones de toneladas	Resistencia a fatiga de la unión de Gigaciclos	Evaluación propiedades resistencia a la fatiga	Nota
						F1 : MPa	F2 : MPa	Aceptación	
5,6	30	70	0,60	0,70	113	175	149	Aceptación	Ejemplo
3,5	23	53	0,77	0,88	167	148	126	Aceptación	Ejemplo
3,1	5	51	0,13	0,64	No medible	169	144	Aceptación	Ejemplo
2,9	18	96	0,30	0,80	131	159	135	Aceptación	Ejemplo
2,5	30	130	0,43	0,93	85	141	120	Aceptación	Ejemplo
2,4	35	55	0,83	0,92	46	139	118	Aceptación	Ejemplo
2,4	22	98	0,44	0,98	63	151	128	Aceptación	Ejemplo
1,7	10	67	0,25	0,84	77	135	115	Aceptación	Ejemplo
1,8	16	101	0,27	0,84	85	132	112	Aceptación	Ejemplo
1,5	5	48	0,17	0,79	No medible	147	125	Aceptación	Ejemplo
2,6	42	53	0,66	1,05	35	121	103	Aceptación	Ejemplo
5,6	30	110	0,60	0,79	113	175	149	Aceptación	Ejemplo
2,5	20	66	0,50	0,83	97	159	135	Aceptación	Ejemplo

ES 2 615 232 T3

2,5	5	48	0,17	0,79	No medible	167	142	Aceptación	Ejemplo
2,6	22	99	0,44	0,99	78	147	125	Aceptación	Ejemplo
2,4	6	93	0,12	0,93	No medible	165	140	Aceptación	Ejemplo
2,2	17	88	0,34	0,88	91	155	132	Aceptación	Ejemplo
2,1	30	115	0,50	0,96	51	142	121	Aceptación	Ejemplo
2,2	24	76	0,60	0,95	41	153	130	Aceptación	Ejemplo
2,1	7	64	0,18	0,80	108	164	139	Aceptación	Ejemplo
2,2	25	117	0,42	0,98	48	134	114	Aceptación	Ejemplo
1,9	5	48	0,17	0,79	No medible	159	135	Aceptación	Ejemplo
1,7	10	79	0,25	0,99	79	142	121	Aceptación	Ejemplo
1,7	6	75	0,15	0,94	No medible	152	129	Aceptación	Ejemplo
1,7	20	97	0,40	0,97	45	135	115	Aceptación	Ejemplo
2,1	43	54	0,67	1,08	28	114	97	Aceptación	Referencia
2,5	20	106	0,50	0,89	97	159	135	Aceptación	Ejemplo

[Tabla 3 (1/2)]

Nº de ensayo	Tipo tubo acero	Espesor del tubo t (mm)	Espesor de la placa de la porción de pestaña h (mm)	Forma de la muesca						Área de la sección transversal de la porción de metal soldado	
				Tipo	t1 (mm)	θ1 (°)	t2 (mm)	θ2 (°)	g (mm)	Lado exterior S <sub>0</sub> (mm <sup>2</sup> )	Lado interior S <sub>1</sub> (mm <sup>2</sup> )
28	B1	60	120	X	40	40	20	30	15	1709	765
29	B2	50	100	X	40	30	10	30	20	1294	68
30	B2	30	60	X	18	40	12	30	10	1294	688
31	B2	40	80	X	30	15	10	30	20	414	241
32	B3	60	120	X	35	10	25	10	20	614	485
33	B1	30	60	X	20	10	10	15	30	812	715
34	B1	60	120	V	60	25	-	-	10	516	481
35	B1	50	100	V	50	25	-	-	10	1559	720
36	B2	30	60	V	30	25	-	-	10	1124	541
37	B2	40	80	V	40	15	-	-	30	465	255
38	B3	60	120	V	60	10	-	-	40	922	707
39	B3	30	60	V	30	5	-	-	30	1676	1350

Tabla 3 (2/2)

Relación área sección transversal de porción metal soldada $S_0 / S_1$	Relación entre lado interior puntera soldada y esquina pestaña $d$ (mm)	Longitud en dirección eje tubo de superficie y lado exterior disco de pestaña $h_1$ (mm)	$d/t$	$h_1/h$	Tensión residual compresiva de esquina de pestaña (MPa)	Características mecánicas			
						Resistencia a fatiga de la unión de 2 millones de toneladas	Resistencia a fatiga de la unión de Gigaciclos	Evaluación propiedades resistencia a la fatiga	Nota
						F1 : MPa	F2 : MPa		
2,2	4	74	0,07	0,61	No medible	52	44	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1.9	56	127	1,12	1,27	5	78	66	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1,7	61	98	2,10	1,63	-148	45	38	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1,3	20	89	0,50	1,12	-2	71	80	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1,1	5	114	0,08	0,95	No medible	69	59	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1,1	12	67	0,40	1,11	-36	82	70	Rechazo	Ejemplo Comparat.
2,2	4	96	0,07	0,80	No medible	45	38	Rechazo	Ejemplo Comparat.
2,1	52	129	1,04	1,29	26	88	75	Rechazo	Ejemplo Comparat.
1,8	50	96	1,67	1,60	-140	51	43	Rechazo	Ejemplo Comparat.

									at.
1,3	25	94	0,6 3	1,1 8	-30	76	65	Rechazo	Ejemplo Compar at.
1,2	6	115	0,1 0	0,9 6	No medible	91	77	Rechazo	Ejemplo Compar at.
1,1	10	67	0,3 3	1,1 2	-29	75	64	Rechazo	Ejemplo Compar at.

En la Tabla 2, los números de ensayo 1 a 27 son ejemplos de la presente invención y cumplen totalmente las condiciones de la presente invención, y la resistencia a la fatiga de la unión en 2 millones de veces ( $2 \times 10^6$  veces) y la resistencia a la fatiga de la unión en un gigaciclo ( $1 \times 10^9$  veces) fueron buenas.

5 En los ejemplos comparativos de los números de ensayo 29, 30, 35 y 36 mostrados en la tabla 3, puesto que la distancia d entre la puntera de soldadura de la porción de metal soldado del lado circunferencial interior y la esquina de la pestaña era demasiado grande, no se podía aplicar tensión residual compresiva a la esquina de la pestaña, la resistencia a la fatiga en 2 millones de veces en el número de repeticiones y en un gigaciclo se redujo considerablemente.

10 Por otra parte, en los ejemplos comparativos de los números de ensayo 28 y 34, puesto que la distancia d era demasiado pequeña, se generaron grietas de fatiga desde la puntera de la porción soldada, que era una porción en la que se concentró tensión, y se redujeron significativamente la resistencia a la fatiga en 2 millones de veces en el número de repeticiones y la resistencia a la fatiga en un gigaciclo.

15 En los ejemplos comparativos de los números de ensayo 31 a 33 y 37 a 39, puesto que la relación de la sección transversal de la porción de metal soldado era inferior a 1,5 veces, no se pudo aplicar tensión residual compresiva a la región desde la superficie del lado circunferencial interior de la porción de metal soldado hasta la esquina de la pestaña y, por lo tanto, se redujeron significativamente la resistencia a la fatiga en 2 millones de veces en el número de repeticiones y la resistencia a la fatiga en un gigaciclo.

[Aplicabilidad industrial]

25 El tubo de acero soldado con disco de pestaña de la presente invención tiene propiedades de fatiga que resisten repetición del rango de gigaciclos, y se puede aplicar a un tubo de acero para una torre de generación de energía eólica marina.

A continuación se listan los signos de referencia utilizados en la descripción.

- 30 1, 1', 101 y 101': disco de pestaña (pestaña)  
 1a, 101a, 101a': porción de pestaña  
 1b, 101b, 101b': porción de conexión  
 1b': porción anular  
 1c y 101c: esquina de la pestaña  
 35 1d y 101d: una superficie (superficie) de porción de pestaña  
 1e: superficie de la muescas del lado de la pestaña  
 1e': puntera soldada del lado circunferencial interior  
 2, 2', 102 y 102': tubo de acero  
 2e: superficie de la muesca del lado del tubo de acero  
 40 3, 3', 103 y 103': porción de metal soldado  
 3a y 103a: porción de metal soldado del lado circunferencial exterior  
 3b y 103b: porción de metal soldado del lado circunferencial interior  
 10 y 110: tubo de acero soldado con disco de pestaña  
 d: distancia  
 45 h: espesor de la placa de la porción de pestaña  
 h1: longitud en la dirección del eje del tubo de la superficie lateral de la porción de la circunferencia exterior de la porción de conexión  
 t: espesor del tubo de acero  
 107: bulón

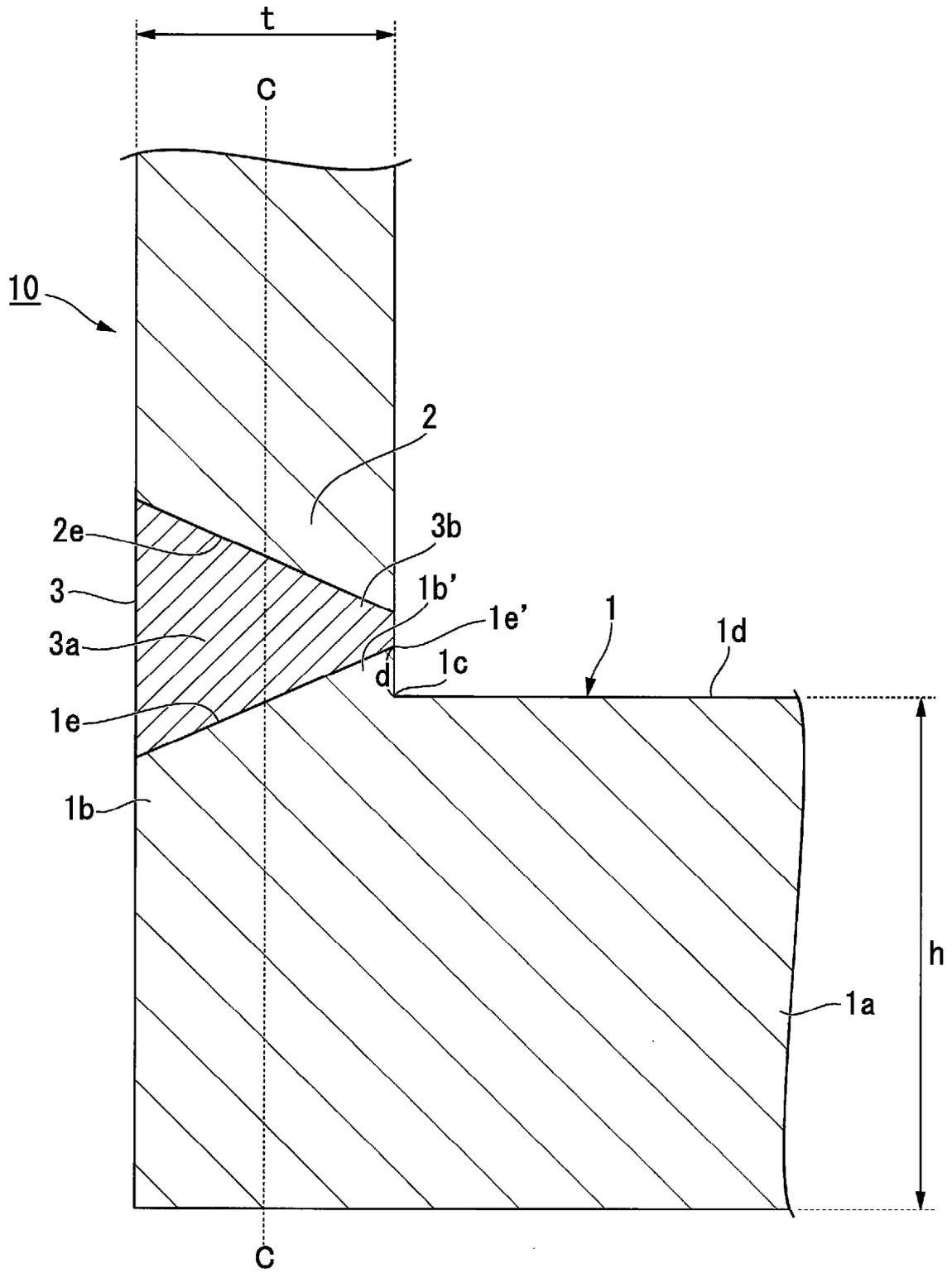
- 111: estructura básica
- 112: columna de tubo de acero
- 113: góndola
- 114: pala de turbina

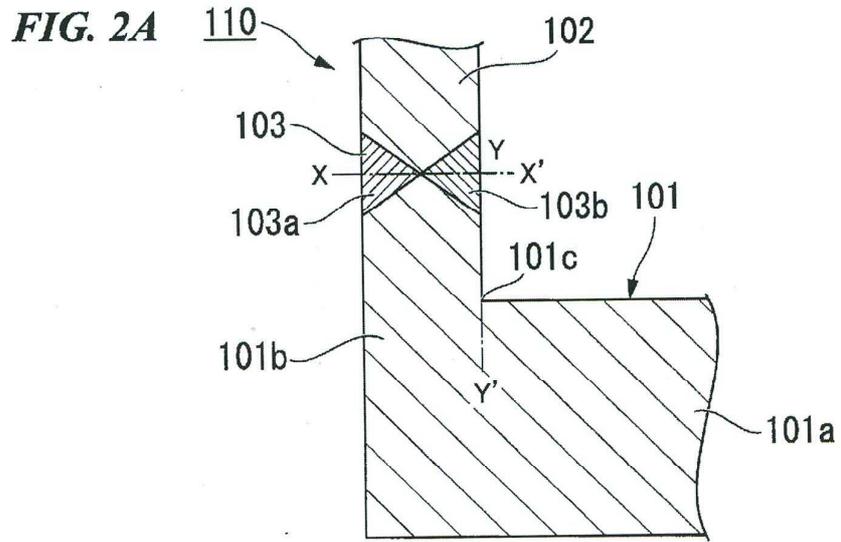
5

## REIVINDICACIONES

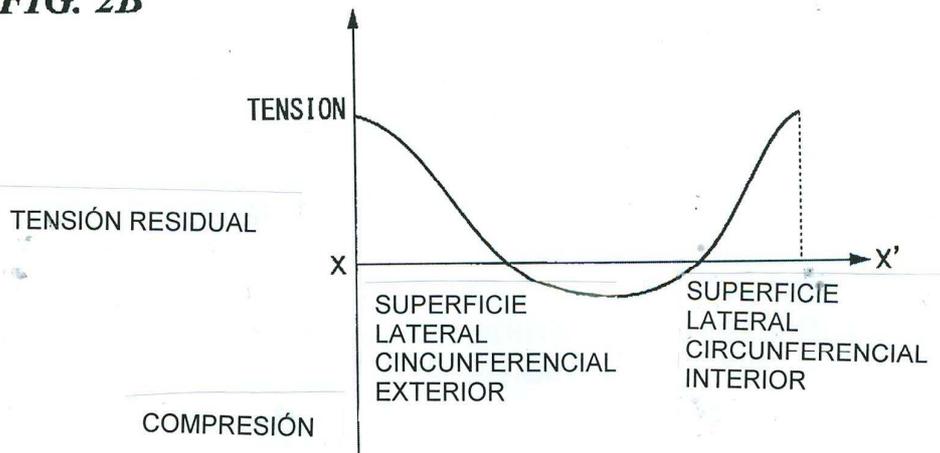
- 5 1.- Un tubo de acero soldado con disco de pestaña (10), en el que un disco de pestaña (1) está soldado en un extremo del tubo de acero (2) en una dirección del eje del tubo, comprendiendo el tubo de acero soldado con disco de pestaña (10):
- 10 el disco de pestaña (1) que incluye una porción de pestaña (1a) que tiene una forma de anillo plano y una porción de conexión (1b) que está posicionada en un lado circunferencial exterior de la porción de pestaña (1a) y tiene una porción anular (1b), en la que al menos una porción de la misma se proyecta desde un lado de la superficie (1d) de la porción de pestaña (1a);
- 15 el tubo de acero (2) está soldado a dicho lado de la superficie (1d) de la porción de conexión (1b) y tiene un espesor del tubo  $t$ ; y una porción de metal soldado (3) que está formada mediante soldadura entre la porción de conexión (1b) y el tubo de acero (2), en la que
- 20 en la sección transversal que incluye un eje del tubo de acero (2), se forma la porción de metal soldado (3), de manera que un área de la sección transversal  $S_0$  de un lado circunferencial exterior desde una línea central (C-C) del tubo de acero (2) en una dirección del espesor del tubo de acero (2) y una sección transversal  $S_1$  de un lado circunferencial interior del tubo de acero (2) satisfacen una relación de  $S_0 \geq 1,5 S_1$ ,
- 25 una distancia (d) entre una puntera soldada (1e') del lado de la porción de pestaña en un lado de la superficie interior de la porción de metal soldado (3) y una esquina de la pestaña (1c), que es una porción en la que una superficie interior de la porción de conexión (1b) y una superficie (1d) de la porción de pestaña se cruzan, tiene un límite inferior de 5 mm o más y un límite superior del espesor del tubo (t)  $t$  o menos, y una longitud (h1) en la dirección del eje del tubo de una superficie lateral de un lado de la circunferencial exterior del disco de pestaña (1) es menor que un espesor de la placa de la porción de pestaña (1a).
- 30 2.- El tubo de acero soldado con disco de pestaña (10) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que se forma una tensión residual compresiva sobre la esquina de la pestaña (1c) por soldadura.
- 3.- El tubo de acero soldado con disco de pestaña (10) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el espesor del tubo (1) del tubo de acero (2) es 30 mm o más.
- 4.- El tubo de acero soldado con disco de pestaña (10) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el tubo de acero (2) se utiliza en una columna de tubo de acero de una torre de generación de energía eólica.

**FIG. 1**

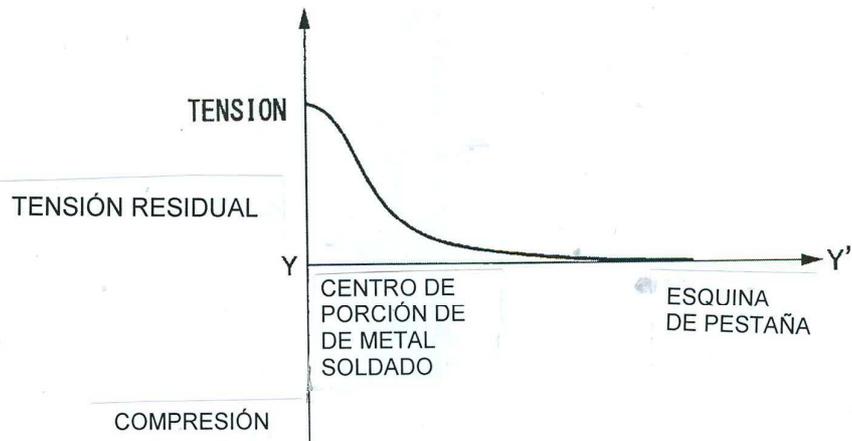




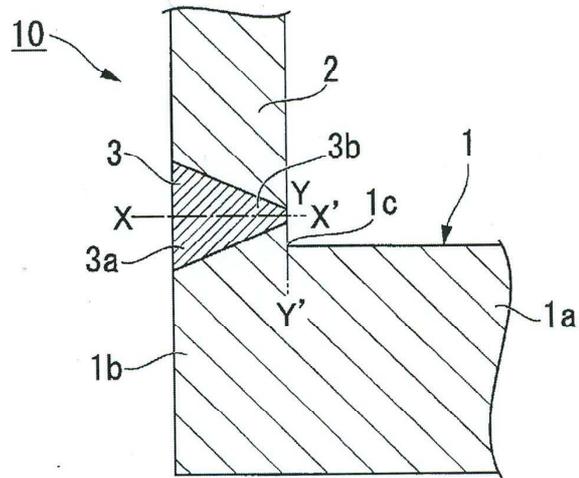
**FIG. 2B**



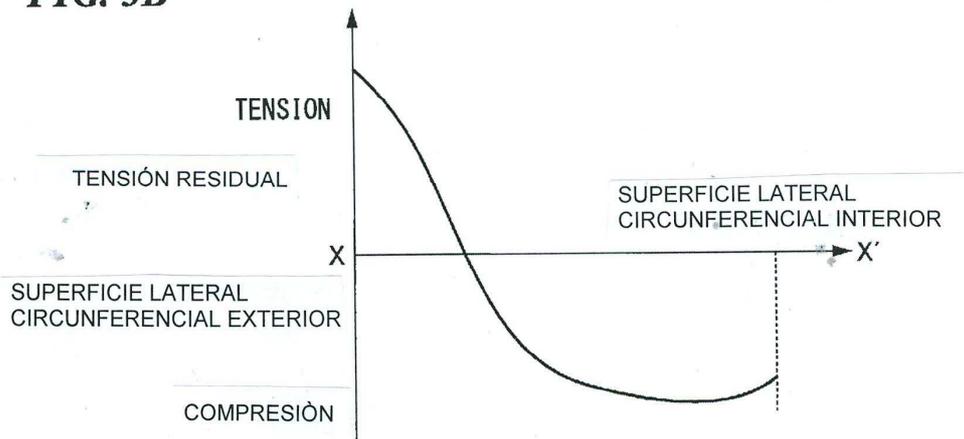
**FIG. 2C**



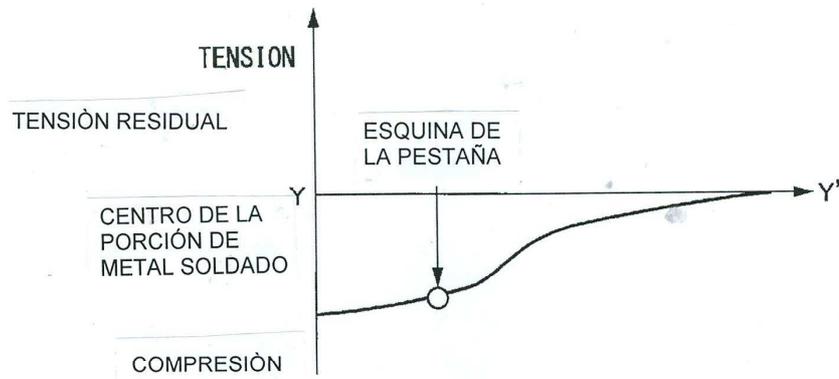
**FIG. 3A**



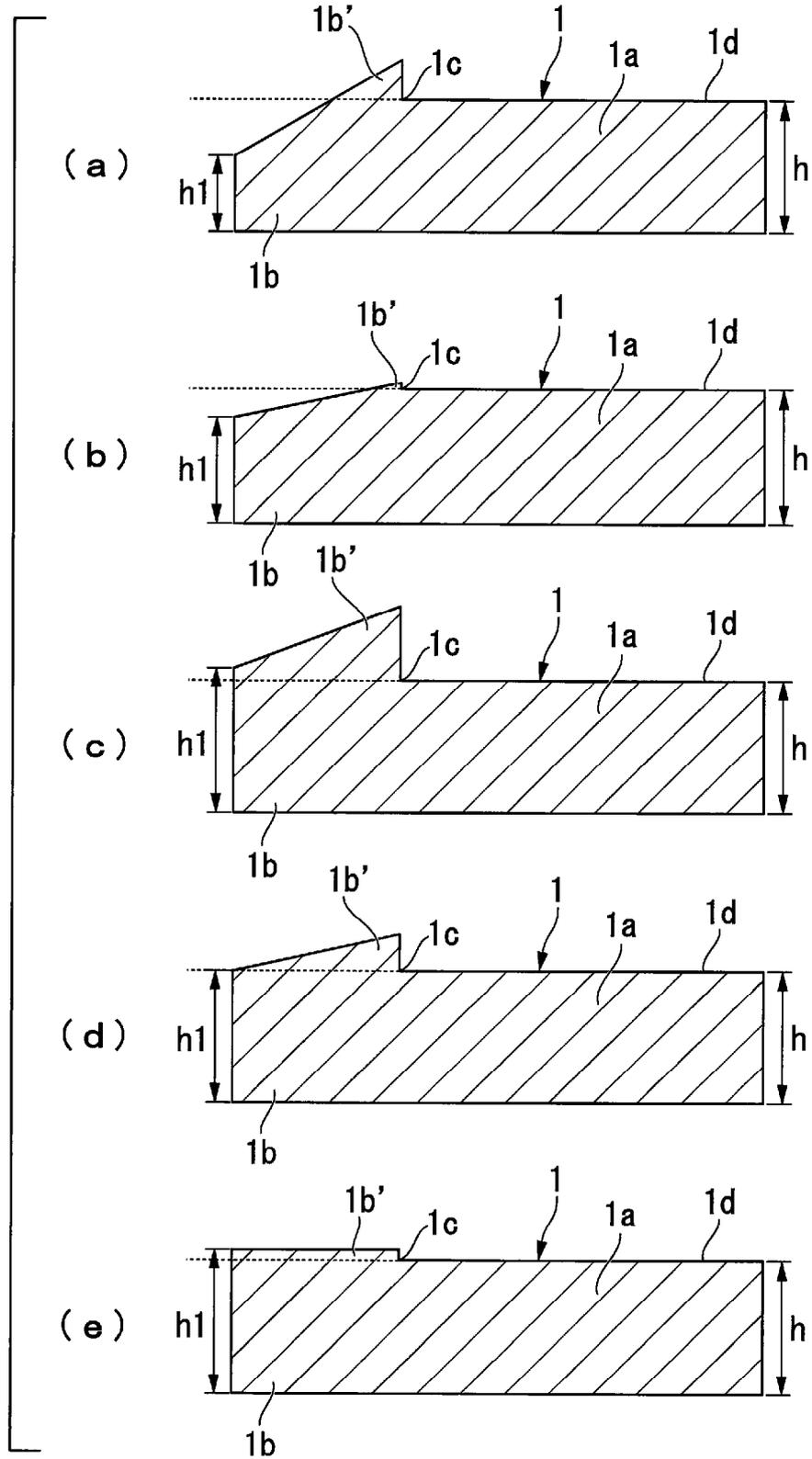
**FIG. 3B**



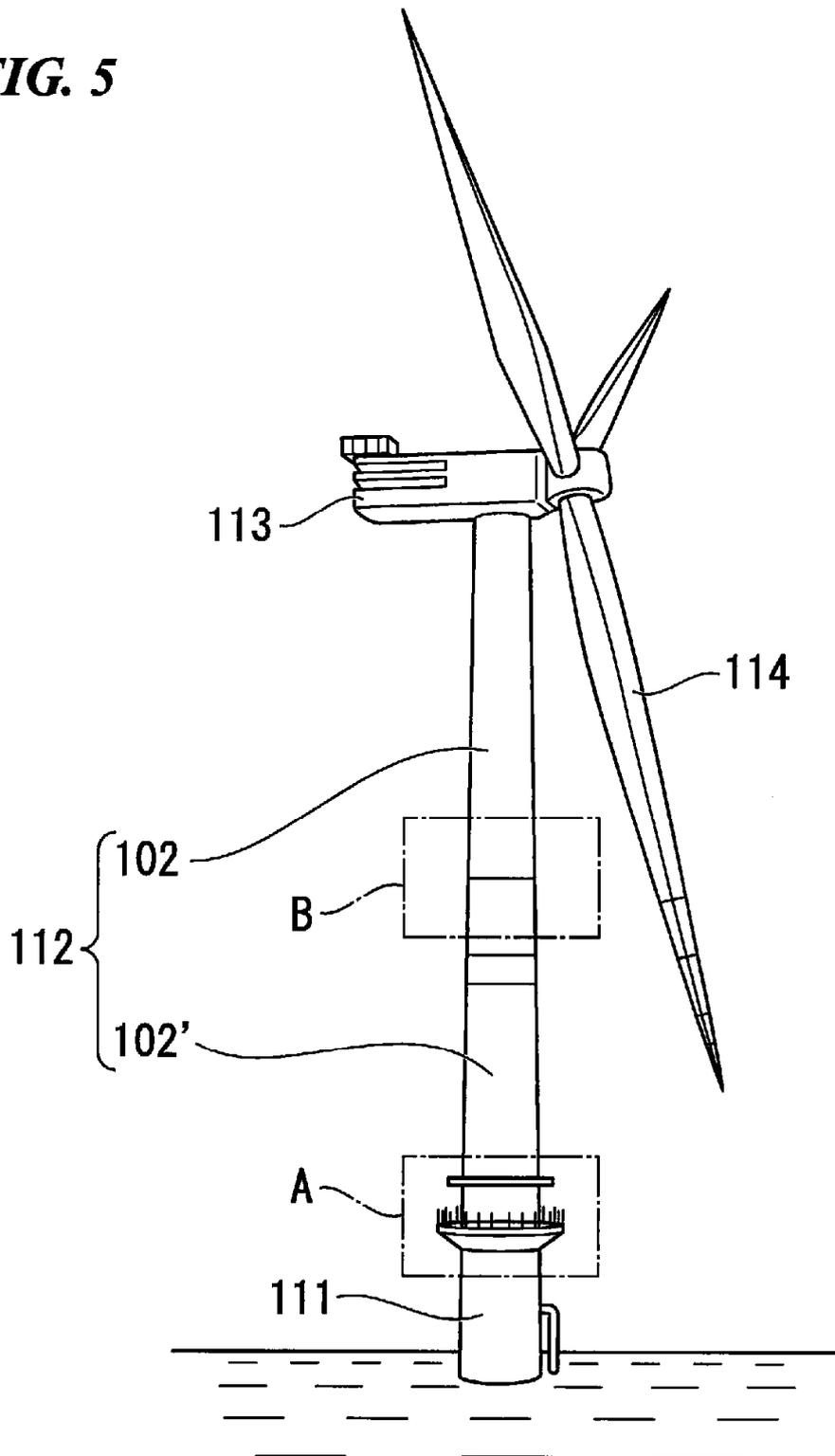
**FIG. 3C**

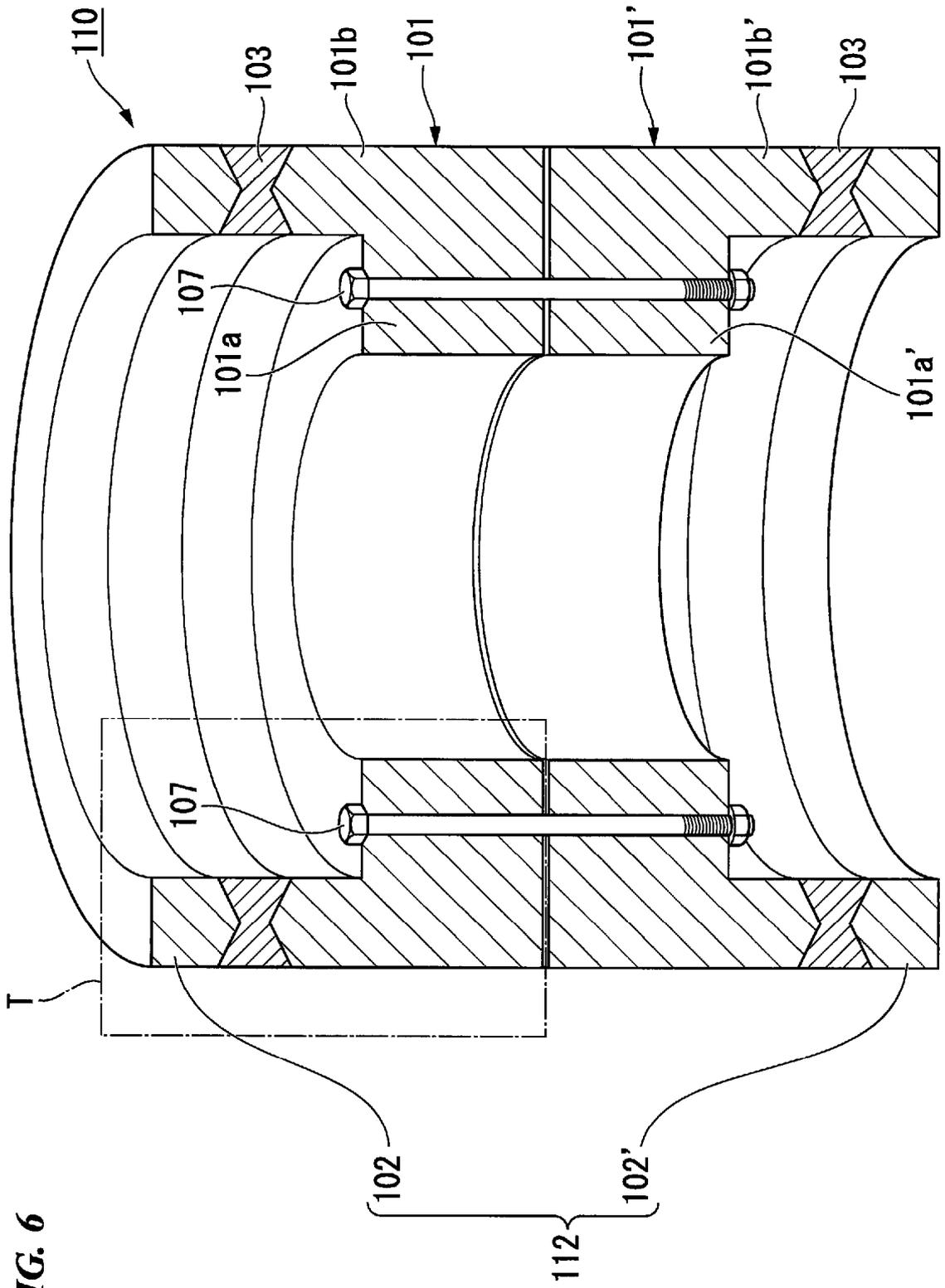


**FIG. 4**

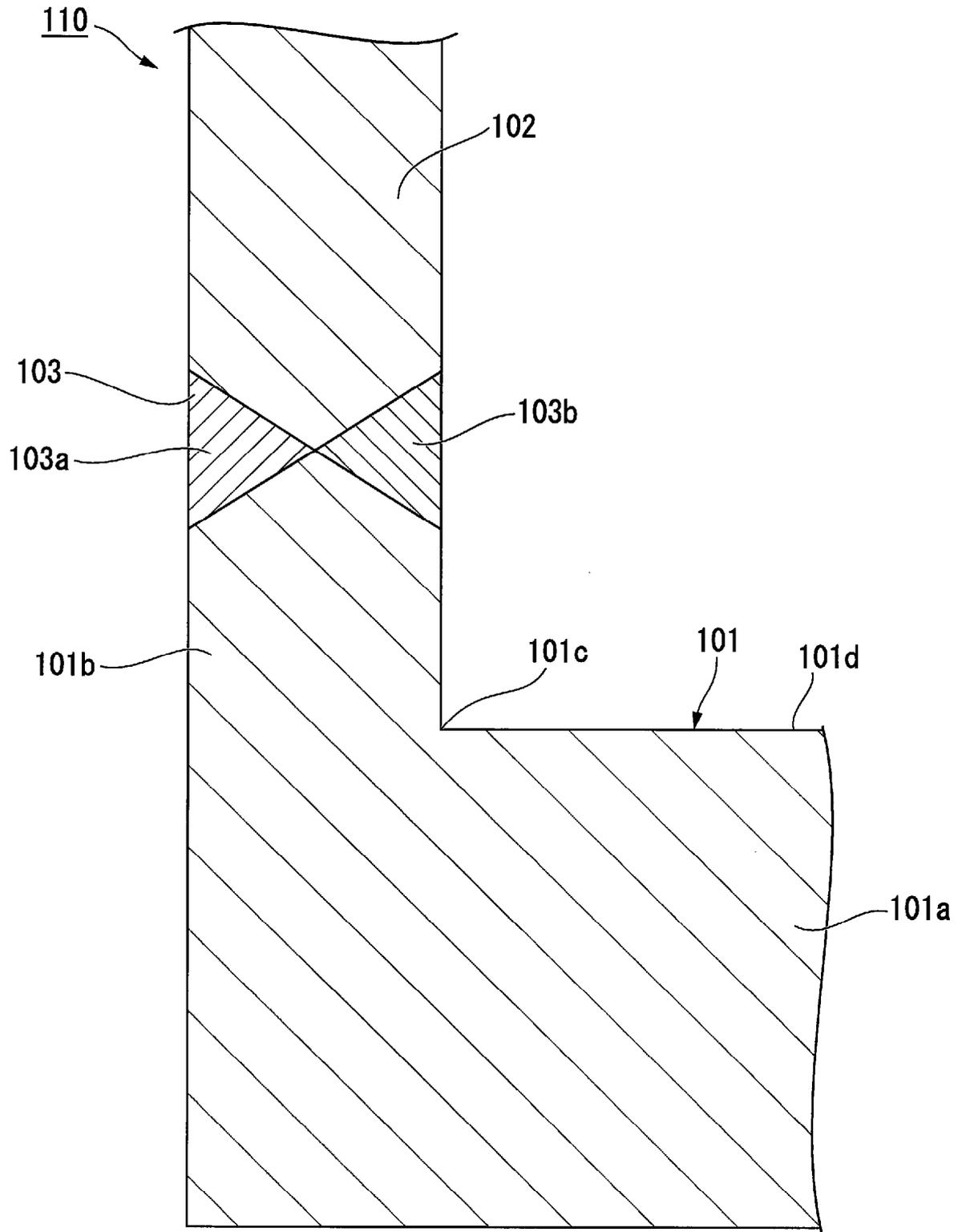


**FIG. 5**

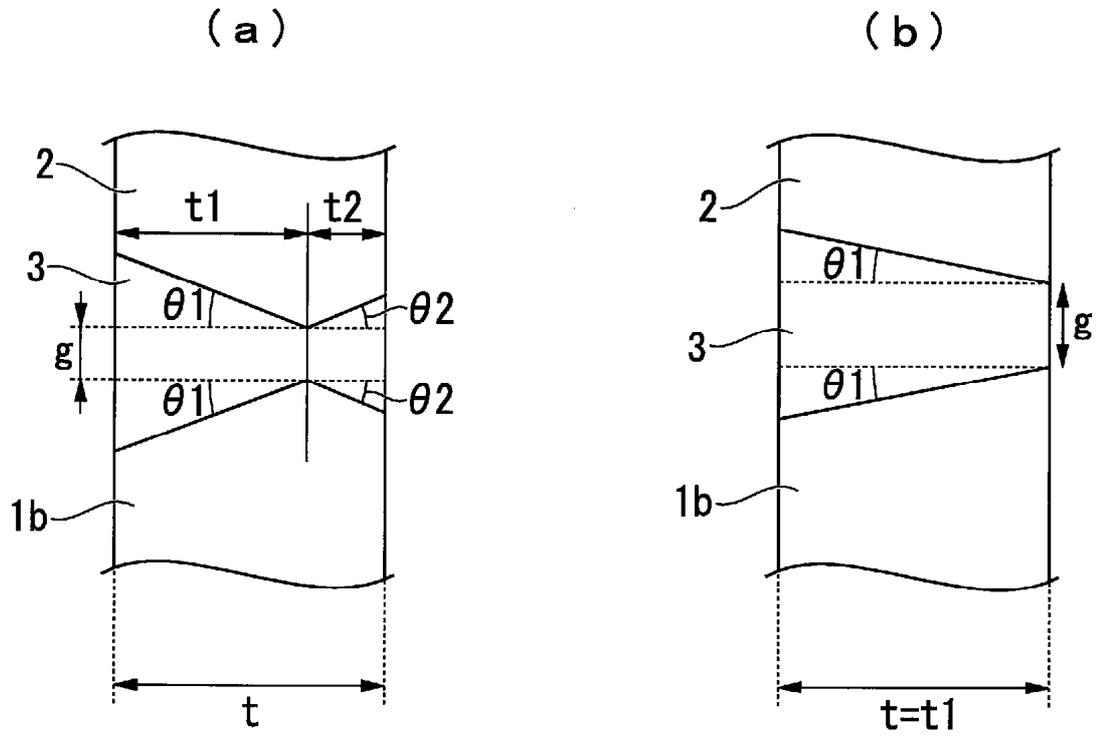




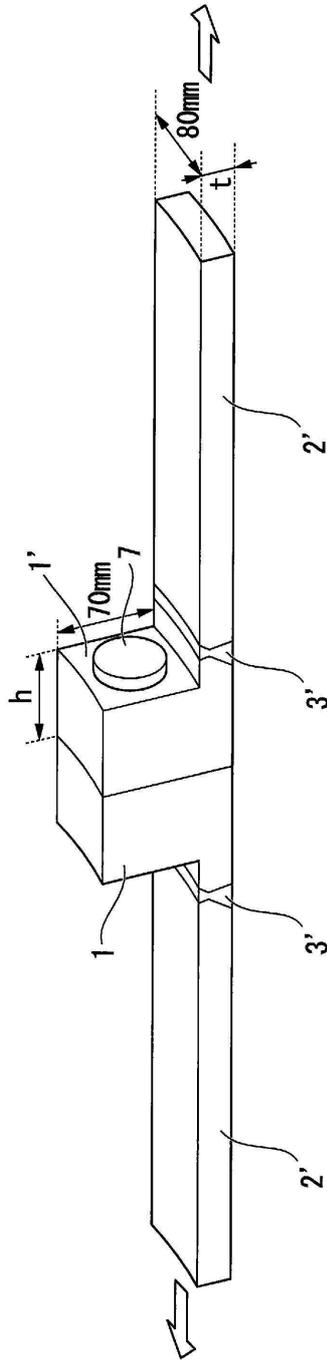
**FIG. 7**



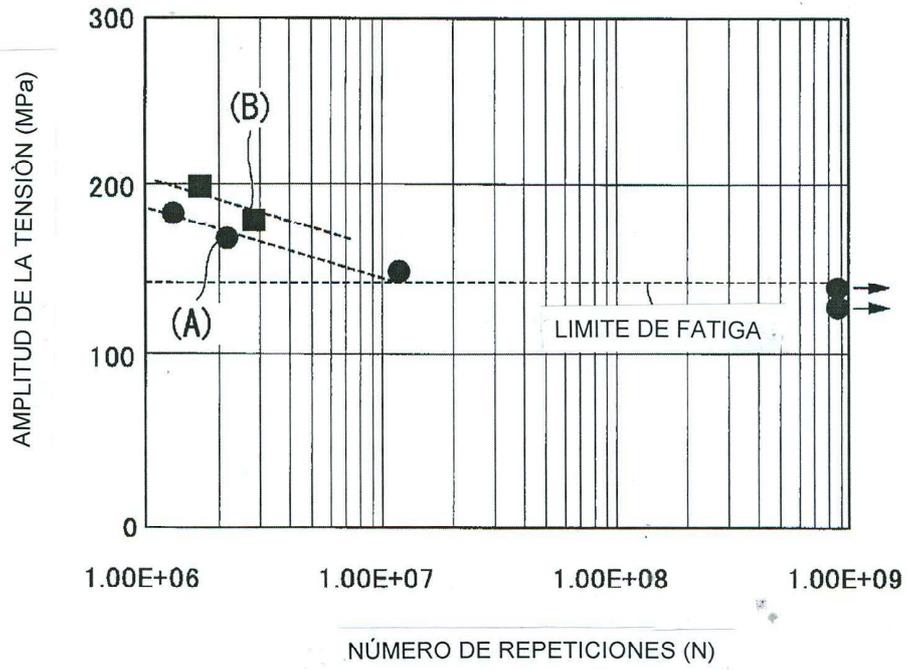
**FIG. 8**



**FIG. 9**



**FIG. 10**



**FIG. 11**

