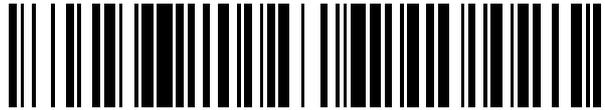


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 743**

51 Int. Cl.:

B23K 31/00 (2006.01)
B23K 15/00 (2006.01)
B23K 15/06 (2006.01)
F03D 11/04 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C21D 9/50 (2006.01)
C21D 1/09 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2010 E 10834605 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2492042**

54 Título: **Estructura soldada con una junta soldada a tope y método para su fabricación**

30 Prioridad:

04.12.2009 JP 2009277021
04.12.2009 JP 2009277050

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.08.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

ISHIKAWA, TADASHI;
HONMA, RYUICHI y
ICHIKAWA, KAZUTOSHI

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 542 743 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

Estructura soldada con una junta soldada a tope y método para su fabricación

La presente invención se refiere a una estructura soldada y a un método de fabricación de una estructura soldada de acuerdo con el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 8, respectivamente (véase, por ejemplo, WO 2008/107660 A1).

5 En particular, la presente invención se refiere a una junta de soldadura que tiene excelentes características de fatiga bajo un entorno de vibración en un intervalo de gigaciclos y un método para fabricar la junta de soldadura.

La presente solicitud reivindica la prioridad basada en la Solicitud de Patente Japonesa N° 2009-277021 presentada en Japón el 4 de diciembre de 2009 y en la Solicitud de Patente Japonesa N° 2009-277050 presentada en Japón el 4 de diciembre de 2009, cuyas descripciones se incorporan aquí como referencia en su totalidad.

10 **Técnica anterior**

En los últimos años, ha surgido un problema de reducción del gas CO₂, que se dice que es la causa del calentamiento global, o el agotamiento en el futuro del petróleo u otros combustibles fósiles. Para abordar estos problemas, se ha utilizado activamente la energía natural reciclable. La energía eólica es una forma de energía natural reciclable y la energía eólica a gran escala está siendo cada vez más utilizada a nivel mundial.

15 La zona más adecuada para la generación de energía eólica es una zona donde se espera que sople constantemente fuerte viento y están en proyecto o realmente en funcionamiento en todo el mundo aerogeneradores situados mar adentro (véanse los Documentos de patentes 1 a 4). Con el fin de construir en el mar una torre para la generación de energía eólica, es necesario anclar la porción de cimentación en el lecho marino. Además, con el fin de obtener suficiente altura de la pala de la turbina del aerogenerador desde el nivel del mar, se requiere que la porción de
20 cimentación de la torre tenga suficiente longitud, rigidez y resistencia.

Por tanto, la porción de cimentación de la torre del aerogenerador emplea una estructura tubular que tiene un grosor de pared superior a 50 mm, por ejemplo, de aproximadamente 100 mm, y un gran diámetro de la sección transversal de aproximadamente 4 m. Además, la altura total de la torre es tan alta como 80 m o más. Es necesario soldar y montar de manera fácil y eficaz dicha gran estructura en la costa cerca del lugar de construcción.

25 En las circunstancias descritas anteriormente, surge la nueva exigencia de soldar una placa de acero ultra-gruesa que tiene un grosor de 100 mm en el sitio de una manera altamente eficaz.

En general, la eficacia de la soldadura se puede aumentar empleando un haz de alta densidad de energía, tal como un haz de electrones y un haz de láser. Sin embargo, se requiere que la soldadura por medio del haz de electrones sea realizada en una cámara a vacío bajo un estado de alto vacío, por ejemplo, de 0,1 Pa o menos. Por lo tanto,
30 está limitado el grosor de la placa de acero que se ha de soldar.

En los últimos años, para hacer frente a las circunstancias antes descritas, *The Welding Institute* del Reino Unido ha propuesto y desarrollado un método de soldadura (soldadura por haz de electrones a presión reducida: RPEBW, por las siglas en inglés *Reduced Pressure Electron Beam Welding*) que permite trabajar en un estado a bajo vacío, por ejemplo, de 10 Pa o menos, como un método de soldadura que permite la soldadura eficaz en el sitio de una placa
35 de acero ultra-gruesa con un grosor de aproximadamente 100 mm (Documento de patente 5).

La torre de un aerogenerador en el mar está expuesta constantemente a vibración debido al fuerte viento, como se ha descrito anteriormente, y el cuerpo de la estructura de la porción de cimentación y el pilar tubular de acero recibe constantemente cargas repetidas. Por lo tanto, se requiere que las porciones soldadas tengan resistencia a la fatiga contra la vibración en el intervalo de gigaciclos, cuyo orden es superior a los ciclos de fatiga usuales. En particular, la
40 tensión se concentra cada vez más en el pie de soldadura del cordón de soldadura, produciendo una reducción en la resistencia a la fatiga frente a cargas repetidas.

Como medida para aliviar la concentración de la tensión en el pie de soldadura del cordón de soldadura, como se ha descrito antes, se ha propuesto una técnica para aliviar la concentración de la tensión aumentando el radio de curvatura del cordón de soldadura 32 y un ángulo de contacto θ entre una placa de acero 31 y un cordón de soldadura 32,
45 como se ilustra en la FIG. 5.

Por ejemplo, el Documento de patente 6 propone ajustar los componentes del fundente o componentes del gas protector para aumentar el radio de curvatura y el ángulo de contacto θ . Sin embargo, el método propuesto por el Documento de patente 6 emplea una soldadura por arco protegido por gas y no es aplicable a la soldadura por medio de un haz de alta densidad de energía sin utilizar un gas protector.

50 Además, el Documento de patente 7 propone fijar la relación entre el grosor de la placa de acero y la altura del cordón de soldadura en 0,2 o menos para reducir la concentración de la tensión en el pie de soldadura del cordón de soldadura. Sin embargo, este documento sólo especifica la forma del cordón de soldadura y no describe el método específico para formar la anchura antes descrita del cordón de soldadura ni las condiciones de soldadura específicas para la formación del cordón de soldadura. Por lo tanto, el Documento de patente 7 carece de reproducibilidad y es

difícil de ser utilizado industrialmente.

Documentos relacionados con la técnica

Documentos de patente

Documento de patente 1: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° 2008-111406

5 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

Documento de patente 4: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° 2006-037397

Documento de patente 5: WO 99/16101

Documento de patente 6: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° H04-361876

10 Documento de Patente 7: Solicitud de Patente Japonesa no examinada, Primera Publicación N° 2004-181530

Descripción de la invención

Problemas que debe resolver la invención

15 Un objetivo de la presente invención es proporcionar una junta de soldadura que tenga resistencia a la fatiga contra la vibración en el intervalo de gigaciclos y suficiente tenacidad a la fractura con significativa facilidad y con reproducibilidad, soldando un metal implicado por medio de un primer haz de alta densidad de energía, tal como un haz de electrones, e irradiando con un segundo haz de alta densidad de energía para aliviar las tensiones residuales de tracción de un pie de soldadura o aliviar la concentración de tensión en un cordón de soldadura.

Medios para resolver los problemas

Un resumen de la presente invención es el siguiente:

20 (1) Un aspecto de la presente invención proporciona una estructura soldada de acuerdo con la reivindicación 1, en particular, que incluye: una pareja de metales implicados; un cordón de soldadura formado irradiando con un primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de los metales implicados, teniendo el cordón de soldadura una anchura W en una superficie lateral irradiada; y una pareja de zonas alteradas formadas, sobre una superficie de la junta soldada a tope que ha sido irradiada por el primer haz de alta densidad de energía, por irradiación de la superficie con un segundo haz de alta densidad de energía, teniendo la pareja de las zonas alteradas una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura y consistiendo la pareja de las zonas alteradas en una pareja de porciones afectadas por el calor y metales fundidos y solidificados situados en el lado derecho y el lado izquierdo con relación al centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho. Cada una de las parejas de las zonas alteradas tiene una anchura no menor que $0,1W$ ni mayor que $10W$, y un grosor no menor que $0,1$ mm ni mayor que 10 mm; una distancia entre cada borde interior de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que $4W$; y una distancia entre cada borde exterior de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que $0,6W$ ni mayor que $14W$.

35 (2) En la estructura soldada de acuerdo con (1) anterior, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho puede no ser menor que 0 ni mayor que $0,4W$, y la pareja de las zonas alteradas puede tener el grosor no menor que $0,1$ mm ni mayor que $0,5$ mm.

(3) En la estructura soldada de acuerdo con (2) anterior, la pareja de las zonas alteradas puede consistir en la porción afectada por el calor.

40 (4) En la estructura soldada de acuerdo con (1) anterior, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho puede no ser menor que $1W$ ni mayor que $4W$, y la pareja de las zonas alteradas pueden tener una anchura no menor que $0,1W$ ni mayor que $2W$ y un grosor no menor que 5 mm ni mayor que 10 mm.

45 (5) En la estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de (1) a (4) anteriores, una tensión residual de tracción σ_R en una dirección perpendicular al cordón de soldadura sobre una superficie del metal implicado puede no ser superior a $YSb/2$ en una posición situada 1 mm hacia fuera desde el pie de soldadura del cordón de soldadura sobre una superficie del metal implicado que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, donde YSb es el límite elástico del material implicado.

50 (6) En la estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de (1) a (4) anteriores, la pareja de los metales implicados puede estar formada por una placa de acero de alta resistencia que tenga un grosor de la placa superior a 30 mm.

(7) En la estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de (1) a (4) anteriores, la estructura soldada puede ser un cuerpo de estructura o un pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de una torre de un aerogenerador.

5 (8) Un segundo aspecto de la presente invención proporciona un método de fabricación de una estructura soldada de acuerdo con la reivindicación 8, en particular, que incluye: irradiar con un primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre una pareja de metales implicados formando un cordón de soldadura que tiene una anchura W sobre una superficie lateral irradiada como una primera etapa de irradiación; e irradiar con un segundo haz de alta densidad de energía, desde un lado de la junta soldada a tope a la que se ha irradiado el primer haz de alta densidad de energía, para calentar una porción irradiada hasta no menos de $Ac1$ formando una pareja de zonas alteradas que tienen una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura como una segunda etapa de irradiación, consistiendo la pareja de las zonas alteradas en una pareja de porciones afectadas por el calor y metales fundidos y solidificados situados en un lado derecho y en un lado izquierdo con relación al centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho. Una cantidad del calor aportado en la segunda etapa de irradiación no es menor del 2% ni mayor del 30% de la cantidad del calor aportado en la primera etapa de irradiación; cada una de las parejas de las zonas alteradas tiene una anchura no menor que $0,1W$ ni mayor que $10W$, y un grosor no menor que $0,1$ mm ni mayor que 10 mm; una distancia entre cada borde interior de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que $4W$; y una distancia entre cada borde exterior de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que $0,6W$ ni mayor que $14W$.

20 (9) En el método de fabricación de una junta soldada a tope de una estructura soldada de acuerdo con (8) anterior, en la segunda etapa de irradiación, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho puede no ser menor que 0 ni mayor que $0,4W$, y la pareja de las zonas alteradas puede tener el grosor no menor que $0,1$ mm ni mayor que $0,5$ mm.

25 (10) En el método de fabricación de una junta soldada a tope de una estructura soldada de acuerdo con (9) anterior, en la segunda etapa de irradiación, la porción irradiada se puede calentar hasta una temperatura no menor que $Ac1$ y menor que la temperatura de fusión para obtener la pareja de las zonas alteradas que consisten en la porción afectada por el calor.

30 (11) En el método de fabricación de una junta soldada a tope de una estructura soldada de acuerdo con (8) anterior, en la segunda etapa de irradiación, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho puede no ser menor que $1W$ ni mayor que $4W$, y la pareja de las zonas alteradas pueden tener la anchura no menor que $0,1W$ ni mayor que $2W$ y un grosor no menor que 5 mm ni mayor que 10 mm.

35 (12) En el método de fabricación de una junta soldada a tope de una estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de (8) a (11), los metales implicados pueden estar formados por una placa de acero de alta resistencia que tenga un grosor de la placa superior a 30 mm.

(13) En el método de fabricación de una junta soldada a tope de una estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de (8) a (11), la estructura soldada puede ser un cuerpo de estructura o un pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de una torre de un aerogenerador.

Efectos de la invención

40 De acuerdo con la junta de soldadura de la presente invención, se alivia la tensión residual de tracción del pie de soldadura o se alivia la concentración de la tensión en el pie de soldadura del cordón de soldadura, de modo que sea posible obtener características de fatiga que puedan resistir la vibración en el intervalo de gigaciclos y tenga suficiente tenacidad a la fractura.

Breve descripción de los dibujos

45 La FIG. 1 es una vista en perspectiva que ilustra una junta de soldadura 1A de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

La FIG. 2 es una vista en perspectiva que ilustra una junta de soldadura 1A', que es una modificación de la junta de soldadura 1A.

50 La FIG. 3 es una vista en perspectiva que ilustra una junta de soldadura 1B de acuerdo con una segunda realización de la presente invención.

La FIG. 4 es una vista en perspectiva que ilustra una junta de soldadura 1C de acuerdo con una tercera realización de la presente invención.

La FIG. 5 es una vista esquemática en corte que ilustra una junta de soldadura convencional.

La FIG. 6 es una vista esquemática en corte que ilustra una posición en la que se toma una muestra de ensayo para

un ensayo de fatiga.

Realizaciones de la invención

De aquí en adelante, las realizaciones preferidas de la presente invención se describirán con referencia a los dibujos.

[Primera realización]

5 La FIG. 1 ilustra una junta soldada a tope 1A de una estructura soldada de acuerdo con una primera realización de la presente invención.

La junta de soldadura 1A incluye una pareja de metales implicados 11A, 11A, un cordón de soldadura 12A que tiene una anchura W en términos de su superficie y una pareja de zonas alteradas 13A, 13A que tienen una forma de banda que se extienden en paralelo a la dirección longitudinal del cordón de soldadura 12A y están dispuestas en el lado derecho y en el lado izquierdo con relación al centro (línea central C) del cordón de soldadura 12A en la dirección a lo ancho.

Cada una de las zonas alteradas 13A consiste en un metal fundido y solidificado y una zona afectada por el calor formada por irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía.

15 Debe observarse que, en esta memoria, el metal fundido y solidificado significa una porción de al menos uno de: el metal implicado; el metal soldado formado con el primer haz de alta densidad de energía; y la zona afectada por el calor. Esta porción se calienta hasta una temperatura de fusión o superior con el segundo haz de alta densidad de energía para que se funda y a continuación se solidifique. El metal fundido y solidificado puede denominarse una porción fundida y solidificada. La anchura W del cordón de soldadura formado con el primer haz de alta densidad de energía significa una anchura de una porción de metal soldado sobre un lado de la superficie irradiada con el haz. 20 En el caso en el que la zona alterada se forme sobre la superficie con el segundo haz de alta densidad de energía, la anchura W es una anchura de un metal soldado formado con el primer haz de alta densidad de energía y medido en una posición tan mensurablemente próxima como sea posible a la superficie irradiada con el haz del metal soldado formado con el primer haz de alta densidad de energía (en una porción en contacto con la zona alterada en el caso en el que la posición medible sea la posición más profunda). De acuerdo con la presente invención, la zona afectada por el calor de la zona alterada significa una porción calentada hasta una temperatura no menor que la temperatura Ac1 y menor que la temperatura de fusión con el segundo haz de alta densidad de energía.

Además, en esta memoria, como se ilustra en la FIG. 1, una dirección X representa la dirección a lo ancho del cordón de soldadura, una dirección Y representa una dirección del grosor del cordón de soldadura, en otras palabras, una dirección en profundidad del cordón de soldadura, y una dirección Z representa la dirección longitudinal del cordón de soldadura.

El cordón de soldadura 12A se forma irradiando con el primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de metales implicados 11A, 11A. Además, sobre una superficie de la junta de soldadura 1A en la que se ha irradiado el primer haz de alta densidad de energía, se forma la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A irradiando esta superficie con el segundo haz de alta densidad de energía. Como primer haz de alta densidad de energía y segundo haz de alta densidad de energía, puede ser posible utilizar, por ejemplo, un haz de electrones o un haz de láser.

40 Cuando la pareja de los metales implicados 11A, 11A son soldados a tope con el primer haz de alta densidad de energía, una lámina de metal a base de Ni o una lámina de metal a base de Fe-Ni-Cr se puede colocar entre los metales implicados. Con la lámina de metal, es posible mejorar la tenacidad a la fractura u otras características del cordón de soldadura 12A.

La presente invención no limita específicamente la pareja de metales implicados 11A, 11A. Puede ser posible utilizar un material de acero que tenga un grosor de placa de 30 mm o superior y un límite elástico de 355 MPa o superior. Por ejemplo, puede ser posible utilizar un material de acero que contenga principalmente, en % en masa, C: 0,02 a 0,20%, Si: 0,01 a 1,0%, Mn: 0,3 a 2,4%, Al: 0,001 a 0,20%, N: 0,02% o menos, P: 0,01% o menos y S: 0,01% o menos. Además, dependiendo de las propiedades requeridas, tales como la resistencia del material base y la tenacidad de la junta, el material de acero puede contener 8% o menos, o 3% o menos, o 1% o menos en total de Ni, Cr, Mo, Cu, W, Co, V, Nb, Ti, Zr, Ta, Hf, metal de tierras raras (REM), Y, Ca, Mg, Te, Se y B. El límite elástico del material de acero se puede ajustar a 600 MPa o menos, o la resistencia a la tracción se puede ajustar a 450 MPa o más, o a 780 MPa o menos. El grosor de la placa se puede ajustar a 50 mm o más, o a 150 mm o menos.

50 La anchura de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A se ajusta a 0,1W o más. Dependiendo de los requisitos, la anchura de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A se puede ajustar a 0,3W o más, o a 0,5W o más, o a 1,0W, o más. Más específicamente, formando las zonas alteradas 13A, 13A que tienen la anchura de 0,1W o más por irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía, es posible aliviar la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12A que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía, o modificar su tensión residual de compresión. El límite superior de la anchura de la zona alterada 13A no se ajusta necesariamente. Sin embargo, puesto que no es fácil irradiar con

el haz de alta densidad de energía un amplio intervalo superior a 10W, su límite superior se fija en 10W. Dependiendo de las aplicaciones, el límite superior de la anchura se puede establecer en 7W, 4W o 2W.

5 El grosor de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A se ajusta a 0,1 mm o más. Más específicamente, formando las zonas alteradas 13A, 13A de modo que tengan un grosor de 0,1 mm o más con el segundo haz de alta densidad de energía, es posible aliviar la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12A que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía, o modificar su tensión residual de compresión. Dependiendo de los requisitos, el grosor de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A se puede ajustar a 0,2 mm o 0,3 mm, o más. En el caso en el que el grosor de cada una de las zonas alteradas 13A, 13A exceda de 10 mm, la tensión residual de tracción causada por la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía supera el efecto de aliviar la tensión residual de tracción obtenido a partir de la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía, y por lo tanto, su límite superior se ajusta a 10 mm. Dependiendo de los requisitos, su límite superior se puede ajustar a 9 mm o menos, o a 8 mm o menos.

Sin embargo, en el pie de soldadura, el grosor de cada una de las zonas alteradas 13A, 13A se puede ajustar a 1,0 mm o menos, preferiblemente a 0,8 mm o menos, más preferiblemente a 0,5 mm o menos.

15 Con fin de reducir la tensión residual en el pie de soldadura, sólo es necesario ajustar la distancia entre cada uno de los bordes exteriores de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A y la línea central C del cordón de soldadura 12A a 0,6W o más. Su límite superior corresponde a la suma de 10W, que es el límite superior de la anchura de la zona alterada, y 4W, que es el límite superior de la distancia al borde interior de la zona alterada, y se ajusta a 14W o menos.

20 De acuerdo con la junta de soldadura 1A descrita anteriormente, se forma una zona que tiene tensión residual de tracción reducida en ambos de los pies de soldadura del cordón de soldadura 12A, y por lo tanto, se pueden obtener excelentes características de fatiga. Por tanto, se puede usar una estructura soldada que emplee la junta de soldadura 1A como cuerpo de estructura o pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de la torre del aerogenerador utilizado en el entorno de gigaciclos.

25 En esta realización, ambos lados del cordón de soldadura 12A se calientan hasta la temperatura Ac1 o superior formando la zona alterada para aliviar la tensión residual de tracción del pie de soldadura, mejorando con ello la resistencia a la aparición de grietas por fatiga. El efecto del calor resultante hace que la estructura de la zona alterada sea diferente del material base, y por tanto, la zona alterada puede distinguirse claramente del material base por medio de un ataque químico, usando solución de nital para ataque químico.

30 Debe observarse que, en la junta de soldadura 1A ilustrada en la FIG. 1, la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A está formada de modo que estén próximas entre sí. Sin embargo, como se ilustra en la FIG. 2 como una modificación, una junta de soldadura 1A' puede tener una configuración en la que cada borde interior de una pareja de zonas alterada 13A', 13A' esté separado de la línea central C de un cordón de soldadura 12A'.

35 Más específicamente, la distancia entre la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A (denominada de aquí en adelante distancia de separación) se ajusta a 0 o más. Sin embargo, en el caso en el que el segundo haz de alta densidad de energía se irradie de modo que la distancia exceda de 4W, esta irradiación no tiene ningún efecto sobre la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12A que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía, y por tanto, el límite superior de la distancia se ajusta a 4W. Obsérvese que, en el caso en el que la distancia de separación sea cero, la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A puede considerarse como una zona alterada que cubre la superficie del cordón de soldadura 12A, como se ilustra en la FIG. 1,

40 A continuación, se describirá en detalle un método de fabricación de la junta de soldadura 1A de acuerdo con esta realización.

45 La junta de soldadura 1A de acuerdo con esta realización se fabrica por medio de una primera etapa de irradiación en la que se irradia con el primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de metales implicados 11A, 11A, y una segunda etapa de irradiación en la que se irradia con el segundo haz de alta densidad de energía la junta de soldadura 1A desde el lado a partir del cual se irradia el primer haz de alta densidad de energía. Más específicamente, por medio de la primera etapa de irradiación, se forma el cordón de soldadura 12A que tiene una superficie con una anchura W, y por medio de la segunda etapa de irradiación, se calienta hasta Ac1 o más una porción que ha sido irradiada con el segundo haz de alta densidad de energía formando la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A, teniendo cada una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura 12A y estando situada en el lado derecho y en el lado izquierdo del centro (línea central C) del cordón de soldadura 12A en la dirección a lo ancho. Obsérvese que, cuando la distancia de separación es cero, puede ser posible irradiar con el haz en la segunda etapa de irradiación de manera que se forme una zona alterada que cubra la superficie del cordón de soldadura 12^a, como se ilustra en la FIG. 1,

55 La cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación se puede establecer de modo que no sea menor del 2% ni mayor del 30% de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación. A continuación, la relación de la cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación con relación a la cantidad de calor aportado

en la primera etapa de irradiación se conoce como una relación de calor entrante. Controlando la relación de calor entrante para que sea el 2% o superior, es posible aliviar de forma fiable la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12A. Además, controlando la relación de calor entrante para que sea el 30% o menor, es posible suprimir el crecimiento del diámetro medio de las partículas del grano de cristal en el metal implicado 11A, de modo que puede obtenerse el efecto de prevenir el deterioro de la tenacidad en las proximidades del cordón de soldadura 12A.

En la segunda etapa de irradiación, las condiciones de irradiación del segundo haz de alta densidad de energía se establecen apropiadamente de tal manera que cada uno de la anchura, el grosor y la distancia de separación de la pareja de las zonas alterado 13A, 13A se encuentre en el intervalo apropiado descrito anteriormente. Además, el segundo haz de alta densidad de energía se puede irradiar de una manera en zigzag dependiendo de las aplicaciones. Más específicamente, el segundo haz de alta densidad de energía se puede irradiar hacia la dirección longitudinal (dirección Z) del cordón de soldadura 12A mientras se mueve en la dirección a lo ancho (dirección X). Con esta configuración, es posible hacer que la zona alterado 13A tenga una anchura predeterminada para reducir la tensión residual reduciendo mientras la cantidad de calor aportado desde la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía.

El primer haz de alta densidad de energía se puede irradiar en las condiciones, por ejemplo, de un voltaje de 150 V, una corriente eléctrica de 180 mA y una velocidad de soldadura de 25 mm/min en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11A tenga un grosor de placa de 80 mm.

El segundo haz de alta densidad de energía se puede irradiar con la condición, por ejemplo, de un voltaje de 150 V y una corriente eléctrica de 100 mA en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11A tenga un grosor de placa de 80 mm. Ajustando la tasa de irradiación en la dirección X y la dirección Z, es posible obtener que la zona alterada tenga el grosor y la anchura deseados.

En el caso en el que se emplee soldadura RPEBW en la primera etapa de irradiación, la anchura del cordón de soldadura 12A tiende a aumentar en comparación con el caso en el que se realiza la soldadura por medio del haz de electrones en la cámara de vacío bajo un estado de alto vacío. Por lo tanto, con el fin de estabilizar el valor de la tenacidad a la fractura de la junta de soldadura 1A en el caso en que se emplee la soldadura RPEBW, es deseable ajustar la anchura del cordón de soldadura 12A al 20% o menor, o al 10% o menor del grosor de la placa del metal implicado 11A. Alternativamente, puede ser posible limitar la anchura del cordón hasta 15 mm o menos, o hasta 11 mm o menos, o hasta 7 mm o menos, o hasta 6 mm o menos, o hasta 5 mm o menos.

[Segunda realización]

La FIG. 3 ilustra una junta soldada a tope 1B de una estructura soldada de acuerdo con una segunda realización de la presente invención.

La junta de soldadura 1B incluye una pareja de metales implicados 11B, 11B, un cordón de soldadura 12B que tiene una anchura W en términos de su superficie y una pareja de zonas alteradas 13B, 13B que tienen una forma de banda que se extiende en paralelo a la dirección longitudinal del cordón de soldadura 12B y están dispuestas en el lado derecho y en el lado izquierdo con respecto al centro (línea central C) del cordón de soldadura 12B en la dirección a lo ancho.

La zona alterada 13B consiste en un metal fundido y solidificado y una zona afectada por el calor formada por irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía. Sin embargo, se prefiere que la zona alterada 13B no incluya el metal fundido y solidificado. En otras palabras, se prefiere que la zona alterada 13B consista en la zona afectada por el calor. Esto es debido a que en el caso en el que la zona alterada 13B incluya el metal fundido y solidificado, la tensión residual de tracción generada por la solidificación del metal fundido es grande y disminuye el efecto para mejorar la resistencia a la fatiga.

El cordón de soldadura 12B se forma irradiando con el primer haz de alta densidad de energía la porción de tope entre la pareja de los metales implicados 11B, 11B. Sobre una superficie de la junta de soldadura 1B que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, se forma la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B irradiando su superficie con el segundo haz de alta densidad de energía. Como primer haz de alta densidad de energía y segundo haz de alta densidad de energía, puede ser posible utilizar, por ejemplo, un haz de electrones o haz de láser.

En esta realización, la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B se forma de manera que esté una próxima a la otra y la distancia permisible entre las zonas alteradas es $0,8W$ o menor. En otras palabras, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B y la línea central C del cordón de soldadura 12B puede no ser menor que 0 ni mayor que $0,4W$. Obsérvese que, en el caso en el que la distancia de separación sea cero, la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B puede ser considerada como una zona alterada que cubre la superficie del cordón de soldadura 12B.

En el caso en el que la pareja de los metales implicados 11B, 11B se suelden a tope con el primer haz de alta densidad de energía, se puede colocar entre los metales implicados una lámina de metal a base de Ni o una lámina de

metal a base de Fe-Ni-Cr. Con la lámina de metal, es posible mejorar la tenacidad a la fractura u otras características del cordón de soldadura 12B.

La presente invención no está limitada específicamente a la pareja de los metales implicados 11B, 11B y puede ser posible utilizar el mismo material de acero que el metal de acero implicado 11A descrito en la primera realización.

5 La anchura de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B se ajusta a una anchura similar a la de la pareja de las zonas alteradas 13A, 13A descrita en la primera realización.

10 El grosor de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B se puede ajustar a no menos de 0,1 mm y a no más de 0,5 mm. En este caso, por irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía formando las zonas alteradas 13B, 13B de modo que tengan un grosor de 0,1 mm o superior, es posible aliviar la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12B que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía o modificar su tensión residual de compresión. Además, controlando el grosor de las zonas alteradas 13B, 13B formadas por la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía para que sea 0,5 mm o menor, es posible reducir en gran medida la tensión residual de tracción que se produce debido a la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía.

15 Con el fin de reducir la tensión residual del pie de soldadura, la distancia entre cada uno de los bordes exteriores de la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B y la línea central C del cordón de soldadura 12B se puede ajustar a 0,6W o más. El límite superior de la distancia corresponde a la suma de 10W, que es el límite superior de la anchura de la zona alterada, y 4W, que es el límite superior de la distancia al borde interior de la zona alterada, y se ajusta a 14W o menos.

20 De acuerdo con la junta de soldadura 1B descrita anteriormente, se forma en ambos pies de soldadura del cordón de soldadura 12B una zona que tiene una tensión residual de tracción reducida y por tanto, se pueden obtener excelentes características de fatiga. Por tanto, una estructura soldada que emplee la junta de soldadura 1B se puede usar como un cuerpo de estructura o pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de la torre del aerogenerador utilizado en el entorno de gigaciclos.

25 En esta realización, ambos lados del cordón de soldadura 12B en la dirección a lo ancho se calientan a una temperatura no menor que Ac1 y menor que la temperatura de fusión para formar la zona alterada en la proximidad del pie de soldadura. Esto hace que se obtenga la estructura en las proximidades del pie de soldadura y alivia la tensión residual de tracción, mejorando así la resistencia a la aparición de grietas por fatiga.

30 A continuación se describirá en detalle, un método de fabricación de la junta de soldadura 1B de acuerdo con esta realización.

35 La junta de soldadura 1B de acuerdo con esta realización se fabrica por una primera etapa de irradiación que consiste en irradiar con el primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de los metales implicados 11B, 11B, y una segunda etapa de irradiación que consiste en irradiar con el segundo haz de alta densidad de energía la junta de soldadura 1B desde el lado a partir del cual se irradió el primer haz de alta densidad de energía. Más específicamente, en la primera etapa de irradiación, se forma el cordón de soldadura 12B que tiene una superficie con una anchura W, y en la segunda etapa de irradiación, se calienta hasta una temperatura no menor que Ac1 y menor que la temperatura de fusión una porción que ha sido irradiada con el segundo haz de alta densidad de energía formando la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B, que tiene cada una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura 12B y situadas en el lado derecho y en el lado izquierdo del centro (línea central C) del cordón de soldadura 12B en la dirección a lo ancho. Obsérvese que, cuando la distancia de separación es cero, puede ser posible irradiar el haz en la segunda etapa de irradiación de manera que forme una zona alterada que cubra la superficie del cordón de soldadura 12B.

45 La cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación se puede ajustar a no menos del 2% y no más del 30% de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación, como en el método de fabricación de la junta de soldadura 1A de acuerdo con la primera realización. Sin embargo, con el fin de obtener de manera fiable la zona alterada que tenga el grosor de 0,5 mm o menos, la cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación se puede ajustar al 15% o menos, o al 10% o menos, o al 7% o menos, o al 5% o menos de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación.

50 En la segunda etapa de irradiación, las condiciones de irradiación del segundo haz de alta densidad de energía se establecen apropiadamente de tal manera que cada uno de la anchura, el grosor y la distancia de separación de la pareja de las zonas alteradas 13B, 13B se encuentre en el intervalo apropiado antes descrito. Además, dependiendo de las aplicaciones, el segundo haz de alta densidad de energía se puede irradiar de una manera en zigzag. Más específicamente, el segundo haz de alta densidad de energía se puede irradiar en la dirección longitudinal (dirección Z) del cordón de soldadura 12B mientras el cordón de soldadura 12B se mueve en dirección a lo ancho (dirección X). Con esta configuración, es posible hacer que la zona alterada 13B tenga una anchura predeterminada para reducir la tensión residual reduciendo al mismo tiempo la cantidad de calor aportado por la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía.

El primer haz de alta densidad de energía puede ser irradiado en las condiciones, por ejemplo, de un voltaje de 150 V, una corriente eléctrica de 180 mA y una velocidad de soldadura de 25 mm/min en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11B tenga un grosor de placa de 80 mm.

5 El segundo haz de alta densidad de energía puede ser irradiado en las condiciones, por ejemplo, de un voltaje de 150 V y una corriente eléctrica de 100 mA en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11B tenga un grosor de placa de 80 mm. Ajustando la tasa de irradiación en la dirección X y la dirección Z, es posible hacer que la zona alterada tenga el grosor y la anchura deseados.

10 En el caso en el que en la primera etapa de irradiación se emplee soldadura RPEBW, la anchura del cordón de soldadura 12B tiende a aumentar en comparación con el caso en el que la soldadura se realiza por medio del haz de electrones en la cámara de vacío bajo un estado de alto vacío. Por lo tanto, con el fin de estabilizar el valor de la tenacidad a la fractura de la junta de soldadura 1B en el caso en el que se emplee la soldadura RPEBW, es deseable ajustar la anchura del cordón de soldadura 12B al 20% o menos o al 10% o menos del grosor de la placa del metal implicado 11B. Alternativamente, puede ser posible limitar la anchura del cordón a 15 mm o menos, o a 11 mm o menos, o a 7 mm o menos, o a 6 mm o menos, o a 5 mm o menos.

15 [Tercera realización]

La FIG. 4 ilustra una junta soldada a tope 1C de una estructura soldada de acuerdo con una tercera realización de la presente invención.

20 La junta de soldadura 1C incluye una pareja de metales implicados 11C, 11C, un cordón de soldadura 12C que tiene una anchura W en términos de su superficie y una pareja de zonas alteradas 13C, 13C que tienen una forma de banda que se extienden en paralelo a la dirección longitudinal del cordón de soldadura 12C y están dispuestas en el lado derecho y en el lado izquierdo con respecto al centro de la anchura (línea central C) del cordón de soldadura 12C.

La zona alterada 13C consiste en un metal fundido y solidificado y una zona afectada por el calor formada por irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía.

25 El cordón de soldadura 12C se forma irradiando con el primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de los metales implicados 11C, 11C. Sobre una superficie de la junta de soldadura 1C que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, se forma la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C irradiando la superficie con el segundo haz de alta densidad de energía. Como primer haz de alta densidad de energía y segundo haz de alta densidad de energía puede ser posible utilizar, por ejemplo, un haz de electrones o un haz de láser.

30 En esta realización, la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C se forma de manera que estén separadas una de otra. Más específicamente, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C y la línea central C del cordón de soldadura 12C se puede establecer en no menos de 1W y no más de 4W.

35 En el caso en el que la pareja de los metales implicados 11C, 11C sean soldados a tope con el primer haz de alta densidad de energía, se puede colocar entre los metales implicados una lámina de metal a base de Ni o una lámina de metal a base de Fe-Ni-Cr. Con la lámina de metal, es posible mejorar la tenacidad a la fractura u otras características del cordón de soldadura 12C.

La presente invención no limita específicamente la pareja de los metales implicados 11C, 11C, y puede ser posible utilizar el mismo material de acero como el metal implicado 11A descrito en la primera realización.

40 La anchura de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C se puede ajustar a 0,1W o más. Dependiendo de las aplicaciones, la anchura se puede ajustar a 0,2W o más, o a 0,3W o más. Más específicamente, irradiando el segundo haz de alta densidad de energía para formar zonas alteradas 13C, 13C que tengan una anchura de 0,1W o más, es posible aliviar la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12C que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía, o modificar su tensión residual de compresión. Sin embargo, en el caso en el que la anchura de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C exceda de 2,0W, sólo tiene una eficacia limitada y, además, el efecto adverso de la tensión residual que se produce debido a la irradiación con el segundo haz de alta densidad de energía aumenta hasta un nivel no despreciable. Dependiendo de las aplicaciones, el límite superior de la anchura se puede ajustar a 1,8W, 1,5W o 1,2W. Alternativamente, el límite superior de la anchura se puede ajustar a 0,3W o 0,5W.

50 El grosor de cada una de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C se puede ajustar a 5 mm o más. Más específicamente, irradiando con el segundo haz de alta densidad de energía para formar las zonas alteradas 13C, 13C que tengan un grosor de 5 mm o más, es posible generar fiablemente la tensión residual de tracción. Con la contrafuerza que se produce como resultado de la tensión residual de tracción, es posible aliviar la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12C que se produce debido a la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía, o modificar su tensión residual de compresión. Sin embargo, en el caso en el que el grosor exceda de 10 mm o más, la tensión residual que se produce debido al segundo haz de alta densidad de energía aumenta también en dirección del grosor de la placa, posiblemente llegando a ser el punto de partida de la rotura por fatiga. Por tanto, el límite superior se ajusta a 10 mm. Dependiendo de las aplicaciones, el grosor puede

ser ajustado a 9 mm o menos, o a 8 mm o menos.

5 Con el fin de reducir la tensión residual del pie de soldadura, la distancia entre cada uno de los bordes exteriores de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C y la línea central C del cordón de soldadura 12C se puede establecer en 0,6W o más. El límite superior de la distancia corresponde a la suma de 2W, que es el límite superior de la anchura de la zona alterada, y 4W, que es el límite superior de la distancia al borde interior de la zona alterada, y se establece en 6W o menos.

10 De acuerdo con la junta de soldadura 1C descrita anteriormente, se forma una zona que tiene una tensión residual de tracción reducida en ambos de los pies de soldadura del cordón de soldadura 12C y, por lo tanto, se pueden obtener excelentes características de fatiga. Por tanto, una estructura soldada que emplee la junta de soldadura 1C puede ser utilizada como un cuerpo de estructura o un pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de la torre del aerogenerador usado en el entorno de gigaciclos.

15 En esta realización, la porción dispuesta a ambos lados del cordón de soldadura 12C y situada lejos del pie de soldadura se calienta hasta la temperatura Ac1 o superior. La temperatura en el momento del calentamiento puede ser una temperatura de fusión o superior. Como resultado del calentamiento, el área calentada (puede incluir la porción fundida) se vuelve blanda y se deforma plásticamente debido a la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12C. Esto alivia la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura 12C, mejorando así la resistencia a la aparición de grietas por fatiga.

A continuación, se describirá en detalle un método de fabricación de la junta de soldadura 1C de acuerdo con esta realización.

20 La junta de soldadura 1C de acuerdo con esta realización se fabrica por medio de una primera etapa de irradiación que consiste en irradiar con un primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de los metales implicados 11C, 11C, y una segunda etapa de irradiación que consiste en irradiar con un segundo haz de alta densidad de energía la junta de soldadura 1C desde el lado a partir del cual se irradió el primer haz de alta densidad de energía. Más específicamente, en la primera etapa de irradiación, se forma el cordón de soldadura 12C que tiene la superficie con una anchura W, y en la segunda etapa de irradiación, se calienta hasta Ac1 o más una porción que ha sido irradiada con el segundo haz de alta densidad de energía formando la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C, teniendo cada una forma de banda que se extiende en paralelo hasta el cordón de soldadura 12C y que está situado en el lado derecho y en el lado izquierdo del centro (línea central C) del cordón de soldadura 12C en dirección a lo ancho.

30 La cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación se puede establecer no menor del 2% ni mayor del 30% de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación, como en el método de fabricación de la junta de soldadura 1A de acuerdo con la primera realización. Sin embargo, con el fin de obtener fiablemente la zona alterada que tenga el grosor de 5 mm o más, la cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación se puede ajustar al 5% o más, o al 8% o más, o al 10% o más, o al 15% o más de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación.

40 En la segunda etapa de irradiación, las condiciones de irradiación del segundo haz de alta densidad de energía se establecen apropiadamente, de tal manera que cada uno de la anchura, el grosor y la distancia de separación de la pareja de las zonas alteradas 13C, 13C se encuentre en el intervalo apropiado descrito anteriormente. Además, dependiendo de las aplicaciones, el segundo haz de alta densidad de energía puede ser irradiado de manera en zigzag. Más específicamente, el segundo haz de alta densidad de energía puede ser irradiado hacia la dirección longitudinal (dirección Z) del cordón de soldadura 12C mientras se mueve el cordón de soldadura 12C en la dirección a lo ancho (dirección X). Con esta configuración, es posible formar la zona alterada 13C que tenga una anchura predeterminada para reducir la tensión residual reduciendo al mismo tiempo la cantidad de calor aportado por la irradiación del segundo haz de alta densidad de energía.

45 El primer haz de alta densidad de energía puede ser irradiado en las condiciones, por ejemplo, de un voltaje de 150 V, una corriente eléctrica de 180 mA y una velocidad de soldadura de 25 mm/min en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11C tenga un grosor de placa de 80 mm.

50 El segundo haz de alta densidad de energía puede ser irradiado en las condiciones, por ejemplo, de un voltaje de 150 V y una corriente eléctrica de 100 mA en el caso en el que se emplee el haz de electrones y el material implicado 11C tenga un grosor de placa de 80 mm. Ajustando la tasa de irradiación en la dirección X y la dirección Z, es posible obtener una zona alterada que tenga un grosor y anchura deseados.

55 En el caso en que se emplee soldadura RPEBW en la primera etapa de irradiación, la anchura del cordón de soldadura 12C tiende a aumentar en comparación con el caso en el que se realice la soldadura por medio del haz de electrones en la cámara de vacío bajo un estado de alto vacío. Por tanto, con el fin de estabilizar el valor de la tenacidad a la fractura de la junta de soldadura 1C en el caso en el que se emplee la soldadura RPEBW, es deseable establecer la anchura del cordón de soldadura 12C al 20% o menos, o al 10% o menos del grosor de la placa del metal implicado 11C. Alternativamente, puede ser posible limitar la anchura del cordón a 15 mm o menos, o a 11 mm o menos, o a 7 mm o menos, o a 6 mm o menos, o a 5 mm o menos.

Estas son las descripciones de las juntas de soldadura 1A, 1B, 1C de acuerdo con la primera realización, la segunda realización y la tercera realización, respectivamente. Los tamaños de la zona alterada de la junta de soldadura se pueden medir fácilmente puliendo la sección transversal de la junta de soldadura, por ejemplo, con un papel de lija, y sometiendo luego la sección transversal a un proceso de ataque químico utilizando una solución de nital para ataque químico en el intervalo del 5% al 10% para hacer que aparezca la zona alterada obtenida por el segundo haz de alta densidad de energía.

En el caso en el que sea pequeña la distancia de separación entre la pareja de las zonas alteradas y las zonas alteradas estén en contacto entre sí, los tamaños de las zonas alteradas a derecha e izquierda se miden basándose en el centro de la anchura (línea central C) del metal soldado formado por la irradiación con el primer haz de alta densidad de energía.

Puesto que es probable que se produzca daño por fatiga sobre la superficie que se irradia con el primer haz de alta densidad de energía, la presente invención forma la zona alterada sobre la superficie a la que se irradia el primer haz de alta densidad de energía. Dependiendo de la aplicación, puede ser posible formar la zona alterada sobre una superficie a la que no se irradia el primer haz de alta densidad de energía, en otras palabras, sobre un lado posterior de la superficie.

Además, la junta de soldadura de acuerdo con las realizaciones descritas anteriormente tiene la tensión residual de tracción σ_R de $YSb/2$ o menor en una posición situada 1 mm hacia fuera desde el pie de soldadura del cordón de soldadura sobre la superficie del material implicado en la dirección a lo ancho del cordón de soldadura, en otras palabras, en la dirección X sobre la superficie del material implicado, donde el YSb es el límite elástico del metal implicado. En el caso en el que se elimine la resistencia residual de tracción σ_R y se produzca la tensión residual de compresión, la tensión residual de tracción σ_R se estima como $YSb/2$ o menor.

Más específicamente, la tensión residual de una porción predeterminada de la junta de soldadura de acuerdo con las realizaciones descritas anteriormente se mide en una posición situada 1 mm hacia afuera desde el pie de soldadura del cordón de soldadura, siendo la posición más probable para la aparición de grietas por fatiga y estando en el intervalo en el que se puede realizar fiablemente la medición con un método de la galga extensiométrica, que es altamente fiable como método de medición. Puesto que la tensión residual de tracción σ_R en esta posición y en la dirección en la que las grietas por fatiga se producen más probablemente se reduce a $1/2$ o menos del límite elástico YSb (en otras palabras, teóricamente la máxima tensión residual de tracción) del material de acero que se va a soldar, se puede suprimir la reducción en la resistencia a la fatiga.

Sin embargo, como método de medición de la tensión residual, puede ser posible utilizar una medición de la tensión por rayos X o el método de Barkhausen. Es deseable medir la tensión residual en una posición situada 1 mm hacia afuera desde el pie de soldadura a derecha e izquierda y emplear su valor más alto.

La dirección de la medición de la tensión residual en el pie de soldadura no está limitada específicamente. Es preferible emplear un método de la galga extensiométrica puesto que este método es el más preciso y es fiable. El método de la galga extensiométrica implica unir una galga extensiométrica en la proximidad de un poste del pie de soldadura, cortar la proximidad de la galga extensiométrica y liberar la tensión residual a su alrededor para medir la tensión residual. En la presente invención, es preferible utilizar una galga extensiométrica diseñada para la medición de la tensión residual, que tenga una longitud corta de la galga. Sin embargo, con este método, la junta de soldadura necesita ser cortada en piezas para su medición. Por tanto, en la aplicación real, es deseable utilizar varios métodos de medición de la tensión residual capaces de reproducir los valores medidos por el método de la galga extensiométrica. Más específicamente, es deseable usar la medición de la tensión por rayos X o el método de Barkhausen. Con estos métodos, las variaciones pueden aumentar dependiendo de las características superficiales de la placa de acero o la junta de soldadura que se ha de medir y, por tanto, es deseable determinar de antemano las características superficiales, el ajuste para la calibración y similares con el fin de reproducir favorablemente valores equivalentes a los valores obtenidos por el método de la galga extensiométrica.

Ejemplos

A continuación, la presente invención se describirá basándose en los Ejemplos. Las condiciones de los Ejemplos son simplemente ilustrativas empleadas para confirmar la puesta en práctica y el efecto de la presente invención, pero la presente invención no está limitada a estas condiciones.

La presente invención puede emplear diversas condiciones o combinaciones de condiciones que pueden alcanzar el objetivo de la presente invención y no desviarse del alcance de la presente invención.

[Primer ejemplo]

5 Se prepararon las juntas A1 a A31 irradiando con un primer haz de electrones (primer haz de alta densidad de energía) una porción de tope de una pareja de placas de acero para realizar una soldadura a tope. La Tabla 1 muestra el tipo de aceros a1, a2 y a3 de la pareja de las placas de acero utilizados para la junta A1 a A31 y la Tabla 2 muestra las condiciones de irradiación para el primer haz de electrones.

[Tabla 1]

(% en masa)

Tipo de acero	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Ti	Al	P	B	S
a1	0,04	0,12	1,8	0,3	0,3	-	0,01	0,003	0,005	-	0,002
a2	0,02	0,11	2,2	0,2	0,1	-	0,01	0,002	0,004	0,0009	0,002
a3	0,08	0,22	1,5	-	-	0,1	0,01	0,003	0,007	-	0,002

[Tabla 2]

10

Condiciones de irradiación para el primer haz de electrones	Voltaje de aceleración, kV	Corriente del haz, mA	Velocidad de soldadura, cm/min	Grado de vacío, Pa
Wa1	150	180	25	7
Wa2	150	180	21	0,07
Wa3	150	170	15	0,07
Wa4	150	170	15	0,07
Wa5	150	150	10	7
Wa6	150	180	10	0,07
Wa7	150	155	10	0,07

Para las juntas A1 a A20 y A26 a A31, se irradió con un segundo haz de electrones la misma superficie que la superficie que se ha irradiado con el primer haz de electrones para formar una pareja de zonas alteradas sobre su superficie. La Tabla 3 muestra las condiciones de irradiación para el segundo haz de electrones.

15

[Tabla 3]

Condiciones de irradiación para el segundo haz de electrones	Voltaje de aceleración kV	Corriente del haz mA	Velocidad de soldadura cm/min	Grado de vacío Pa
Ea1	150	100	55	7
Ea2	150	180	80	0,07
Ea3	150	170	80	0,07
Ea4	150	170	50	7
Ea5	150	150	65	0,07
Ea6	150	180	15	0,07
Ea7	150	155	20	0,07

La Tabla 4 muestra los detalles de las juntas A1 a A31 preparadas como se ha descrito anteriormente.***

20

Los tamaños de las zonas alteradas a derecha e izquierda mostrados en la Tabla 4 se miden después que se pulieron con un papel de lija secciones transversales de las juntas y luego las secciones transversales se sometieron a un ataque químico utilizando una solución para ataque químico al 5% de nital para hacer que aparezcan las zonas alteradas a derecha e izquierda. La presencia/ausencia de la porción fundida y solidificada se determinó a partir de las secciones transversales de las zonas alteradas que se hicieron aparecer, como se ha descrito anteriormente.

Una distancia al borde interior representa una distancia entre el borde interior de cada una de las zonas alteradas a

ES 2 542 743 T3

derecha e izquierda y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho.

Una distancia al borde exterior representa una distancia entre el borde exterior de cada una de las zonas alteradas a derecha e izquierda y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho.

(Continúa en página siguiente)

[Tabla 4]

	Material de acero		Primer haz de electrodos		Segundo haz de electrodos												Relación de calor de entrada, %		
	Tipo de acero	Grosor de la placa, mm	Condición de soldadura	Anchura W del cordón de soldadura, mm	Condiciones de irradiación	Zona alterada en el lado izquierdo				Zona alterada en el lado derecho				Presencia / ausencia de la porción fundida y solidificada					
						Anchura, mm	Anchura, W	Grosor, mm	Distancia al borde interior, mm	Distancia al borde interior / W	Distancia al borde exterior / W	Anchura, mm	Anchura / W		Grosor, mm	Distancia al borde interior, mm		Distancia al borde interior / W	Distancia al borde exterior / W
Junta A1	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	2,20	0,63	0,21	0,00	0,00	0,63	2,20	0,63	0,21	0,00	0,00	0,63	Ausente	2
Junta A2	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	2,51	0,72	0,21	0,00	0,00	0,72	2,52	0,72	0,22	0,00	0,00	0,72	Ausente	14
Junta A3	a1	50	Wa2	4,8	Ea2	4,02	0,84	0,11	0,00	0,00	0,84	4,02	0,84	0,11	0,00	0,00	0,84	Ausente	2
Junta A4	a1	50	Wa3	4,8	Ea3	6,01	1,25	0,21	0,00	0,00	1,25	6,03	1,26	0,20	0,00	0,00	1,26	Ausente	3
Junta A5	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	7,50	1,47	0,20	0,00	0,00	1,47	7,51	1,47	0,21	0,00	0,00	1,47	Ausente	3
Junta A6	a1	120	Wa5	5,5	Ea5	9,98	1,81	0,52	0,00	0,00	1,81	9,99	1,82	0,50	0,00	0,00	1,82	Ausente	3
Junta A7	a2	80	Wa6	5,4	Ea6	7,50	1,39	0,29	0,00	0,00	1,39	7,49	1,39	0,28	0,00	0,00	1,39	Ausente	10
Junta A8	a3	100	Wa7	7,2	Ea7	7,51	1,04	0,30	0,00	0,00	1,04	7,53	1,05	0,31	0,00	0,00	1,05	Ausente	3
Junta A9	a1	50	Wa1	4,0	Ea1	2,20	0,55	0,10	2,37	0,59	1,14	2,20	0,55	0,10	2,37	0,59	1,14	Ausente	2
Junta A10	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	2,00	0,39	0,20	2,00	0,39	0,78	2,00	0,39	0,21	2,00	0,00	0,78	Ausente	2
Junta A11	a1	80	Wa4	5,2	Ea4	7,30	1,40	1,10	0,00	0,00	1,40	7,51	1,44	1,10	0,00	0,00	1,44	Presente	2
Junta A12	a1	80	Wa4	5,2	Ea4	7,20	1,38	0,70	0,00	0,00	1,38	7,51	1,44	0,80	0,00	0,00	1,44	Presente	6
Junta A13	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	1,00	0,20	0,90	2,30	0,45	0,65	1,00	0,20	0,90	2,30	0,00	0,65	Presente	4,0
Junta A14	a1	80	Wa4	5,3	Ea4	0,90	0,17	0,30	2,40	0,00	0,62	1,50	0,28	0,30	2,10	0,00	0,68	Ausente	2,0
Junta A15	a1	80	Wa4	5,2	Ea4	7,20	1,38	0,20	3,00	0,58	1,96	7,51	1,44	0,21	3,00	0,58	2,02	Ausente	2
Junta A16	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	7,50	1,47	1,20	0,00	0,00	1,47	7,51	1,47	1,50	0,00	0,00	1,47	Presente	6
Junta A17	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	11,00	2,16	0,20	0,00	0,00	2,16	10,80	2,12	0,21	0,00	0,00	2,12	Ausente	4
Junta A18	a1	50	Wa1	8,0	Ea1	5,10	0,64	0,21	0,00	0,00	0,64	5,10	0,64	0,22	0,00	0,00	0,64	Ausente	3
Junta A19	a1	80	Wa5	9,1	Ea4	9,90	1,09	0,52	0,00	0,00	1,09	9,95	1,09	0,50	0,00	0,00	1,09	Ausente	2
Junta A20	a3	100	Wa5	10,2	Ea4	12,50	1,23	0,32	0,00	0,00	1,23	12,43	1,22	0,31	0,00	0,00	1,22	Ausente	3
Junta A21	a1	50	Wa1	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junta A22	a1	80	Wa4	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junta A23	a1	120	Wa5	6,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junta A24	a2	80	Wa6	5,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junta A25	a3	100	Wa7	7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Junta A26	a1	50	Wa1	2,8	Ea1	0,28	0,08	0,21	0,00	0,00	0,10	0,27	0,08	0,22	0,00	0,00	0,10	Ausente	2
Junta A27	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	2,03	0,58	0,08	0,00	0,00	0,58	2,01	0,57	0,08	0,00	0,00	0,57	Ausente	1,8
Junta A28	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	2,01	0,57	12	1,10	0,31	0,89	1,99	0,57	12	1,10	0,31	0,88	Presente	32
Junta A29	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	2,00	0,62	0,32	14,20	4,06	4,63	2,01	0,62	0,31	14,30	4,09	4,66	Ausente	3
Junta A30	a1	50	Wa1	3,5	Ea1	0,50	0,14	0,25	0,00	0,00	0,14	0,28	0,08	0,25	0,00	0,00	0,08	Ausente	2
Junta A31	a1	80	Wa4	5,1	Ea4	0,40	0,08	0,08	0,00	0,00	0,08	0,40	0,08	0,08	0,00	0,00	0,08	Ausente	0,7

ES 2 542 743 T3

La Tabla 5 muestra "el valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm hacia fuera desde el pie de soldadura", "el límite elástico Y_{Sb} del material base" y las propiedades de las juntas que incluyen " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta", "relación de reducción en el ensayo a la fatiga ultrasónico" y "la resistencia a la fatiga de la junta bajo gigaciclos" para la juntas A1 a A31,

5 [Tabla 5]

	Valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm afuera desde el pie de soldadura	Límite elástico Y_{Sb} del material base	Propiedades de la junta		
			2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta	Relación de reducción en el ensayo de fatiga ultrasónico	Resistencia a la fatiga de la junta bajo-gigaciclos
			MPa	%	MPa
Junta A1	120	415	240	90	216
Junta A2	90	415	250	86	215
Junta A3	180	415	215	83	178
Junta A4	60	415	220	87	191
Junta A5	100	383	250	86	215
Junta A6	5	364	250	88	220
Junta A7	80	390	230	90	207
Junta A8	150	425	232	86	200
Junta A9	200	415	205	84	172
Junta A10	190	383	188	86	162
Junta A11	190	383	188	86	162
Junta A12	187	383	186	86	160
Junta A13	188	383	190	86	163
Junta A14	190	383	192	86	165
Junta A15	186	383	188	86	162
Junta A16	190	383	191	86	164
Junta A17	150	383	205	86	176
Junta A18	90	415	242	85	206
Junta A19	150	383	211	82	173
Junta A20	60	425	215	86	185
Junta A21	235	415	150	88	132
Junta A22	250	383	160	86	138
Junta A23	215	364	160	83	133
Junta A24	280	390	155	82	127
Junta A25	280	425	160	75	120
Junta A26	250	415	160	86	138
Junta A27	280	415	162	88	143
Junta A28	280	415	160	87	139
Junta A29	280	415	150	85	128
Junta A30	240	415	160	86	138
Junta A31	290	383	160	86	138

El "valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm hacia afuera desde el pie de soldadura" es un valor obtenido midiendo la tensión residual en la posición situada 1 mm hacia afuera desde el pie de soldadura por el método de la galga extensiométrica.

5 El valor " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta" se obtiene tomando piezas para el ensayo de fatiga 23 de una junta de una posición ilustrada en la Fig. 6, puliendo a máquina la superficie posterior de las piezas para ensayo de fatiga 23 de la junta de modo que se produzca agrietamiento por fatiga desde el lado de la superficie frontal de las piezas de ensayo, y realizando un ensayo de fatiga en condiciones de fuerza axial/tensión de 0,1 y velocidad de repetición de 5 Hz.

10 Los valores de "la relación de reducción de la fatiga bajo ensayo ultrasónico" se obtienen realizando un ensayo de fatiga ultrasónico en piezas para ensayo ultrasónico 24 de tomadas de la posición ilustrada en la Fig. 6, obteniendo la resistencia a la fatiga para 2×10^6 veces y la resistencia a la fatiga para 2×10^9 veces, y calculando la relación de reducción entre dichos valores.

La "resistencia a la fatiga de la junta bajo-giga ciclos" es un valor estimado obtenido por cálculo basándose en el valor " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta" y la "relación de reducción bajo ensayo de fatiga ultrasónico".

15 Como puede verse en la Tabla 4 y en la Tabla 5, en las juntas A1 a A20, se formaron las zonas alteradas que tenían tamaños apropiados a derecha e izquierda del centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho irradiando con el segundo haz de electrones, y por lo tanto, se pueden obtener características favorables de las juntas.

20 Por otro lado, en las juntas A21 a A25, no se irradió con el segundo haz de electrones. Por lo tanto, no se alivió la tensión residual de tracción en las proximidades del pie de soldadura del cordón de soldadura que se produjo debido a la irradiación del primer haz de electrones, y no se pudieron obtener las características favorables de las juntas.

En las juntas A26 a A31, aunque se irradió con el segundo haz de electrones, no se pudieron obtener las características favorables de las juntas puesto que las zonas alteradas a derecha e izquierda formadas por la irradiación con el segundo haz de electrones no tenían los tamaños adecuados.

25 En la junta A26, las anchuras de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran pequeñas en comparación con la anchura del cordón W, y por lo tanto, no pudo ser aliviada suficientemente la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

En la junta A27, los grosores de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran pequeños, y por lo tanto, no pudo ser aliviada suficientemente la tensión residual de la tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura

30 En la junta A28, los grosores de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran grandes, y por lo tanto, se deterioraron las características de las juntas debido a la tensión residual de tracción que se produce debido a la irradiación con el segundo haz de electrones.

35 En la junta A29, la distancia al borde interior era grande, en otras palabras, las zonas alteradas a derecha e izquierda estaban muy separadas del pie de soldadura del cordón, y por lo tanto, no pudo ser suficientemente aliviada la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

En la junta A30, la anchura de la zona alterada a la derecha era más pequeña respecto a la anchura del cordón, y por lo tanto, no pudo ser aliviada suficientemente la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

40 En la junta A31, la anchura, el grosor, y la distancia al borde exterior de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran pequeños, y por lo tanto, no pudo ser aliviada suficientemente la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

[Segundo ejemplo]

45 Se prepararon las juntas B1 a B30 por irradiación con un primer haz de electrones (primer haz de alta densidad de energía) una porción de tope de una pareja de placas de acero para realizar una soldadura a tope. La Tabla 6 muestra el tipo de aceros b1, b2 y b3 de la pareja de las placas de acero utilizadas para las juntas B1 a B30, y la Tabla 7 muestra las condiciones de irradiación para el primer haz de electrones.

[Tabla 6]

(% en masa)

Tipo de acero	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	Ti	Al	P	B	S
b1	0,1	0,41	1,2	0,5	-	0,2	-	0,003	0,003	-	0,003
b2	0,2	0,25	1,5	1,1	-	0,2	-	0,003	0,003	-	0,004
b3	0,05	0,21	2,1	0,5	-	0	-	0,01	0,004	-	0,004

[Tabla 7]

Condiciones de irradiación para el primer haz de electrones	Voltaje de aceleración, kV	Corriente del haz, mA	Velocidad de soldadura, cm/min	Grado de vacío, Pa
Wb1	150	180	25	7
Wb2	150	220	25	0,07
Wb3	150	260	25	0,07
Wb4	150	170	15	0,07
WB5	150	220	10	7
Wb6	150	270	10	0,007

- 5 Para las juntas B1 a B30, se irradió con un segundo haz de electrones la misma superficie que la superficie que se irradió con el primer haz de electrones para formar una pareja de zonas alteradas en esta superficie. La Tabla 8 muestra las condiciones de irradiación para el segundo haz de electrones.

[Tabla 8]

Condiciones de irradiación para el segundo haz de electrones	Voltaje de aceleración, kV	Corriente del haz, mA	Velocidad de soldadura, cm/min	Grado de vacío, Pa
Eb1	90	40	55	7
Eb2	90	40	50	7
Eb3	90	40	38	0,07

- 10 La Tabla 9 muestra los detalles de las juntas B1 a B30 preparadas como se ha descrito anteriormente.

Los tamaños de las zonas alteradas a derecha e izquierda mostrados en la Tabla 4 se midieron después de que las secciones transversales de las juntas fueran pulidas con un papel de lija, y luego las secciones transversales fueron sometidas a ataque químico utilizando una solución para ataque químico al 5% de nital para hacer que aparecieran las zonas alteradas a derecha e izquierda. La presencia/ausencia de la porción fundida y solidificada se determinó a partir de las secciones transversales de las zonas alteradas que se hicieron aparecer como se ha descrito anteriormente.

- 15

Una distancia al borde interior representa una distancia entre el borde interior de cada una de las zonas alteradas a derecha e izquierda y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho.

Una distancia al borde exterior representa una distancia entre el borde exterior de cada una de las zonas alteradas a derecha e izquierda y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho.

[Tabla 9]

	Material de acero		Primer haz de electrodos		Condición de irradiación	Segundo haz de electrodos										Relación de calor de entrada, %			
	Tipo de acero	Grosor de la placa, mm	Condición de soldadura	Anchura W del cordón de soldadura, mm		Zona alterada en el lado izquierdo					Zona alterada en el lado derecho								
						Anchura, mm	Anchura/W	Grosor, mm	Distancia al borde interior, mm	Distancia al borde exterior, mm	Anchura, mm	Anchura/W	Grosor, mm	Distancia al borde interior, mm	Distancia al borde exterior, mm		Presencia / ausencia de la porción fundida y soldada		
Junta B1	b1	50	Wb1	10,0	Eb1	1,21	0,12	8,05	20	2,00	2,12	1,20	0,12	8,03	20	2,00	2,12	Presente	5
Junta B2	b1	50	Wb1	10,0	Eb2	6,03	0,60	8,02	20	2,00	2,60	6,05	0,61	8,04	20	2,00	2,61	Presente	12
Junta B3	b1	50	Wb1	11,0	Eb3	8,80	0,80	7,02	22	2,00	2,80	8,74	0,79	7,03	22	2,00	2,79	Presente	12
Junta B4	b1	50	Wb2	13,0	Eb3	10,42	0,80	7,05	26	2,00	2,80	10,42	0,80	7,02	26	2,00	2,80	Presente	13
Junta B5	b3	50	Wb3	15,0	Eb2	12,01	0,80	6,95	60	4,00	4,80	12,03	0,80	7,01	60	4,00	4,80	Presente	10
Junta B6	b1	80	Wb4	11,0	Eb1	2,22	0,20	10,05	33	3,00	3,20	2,23	0,20	9,81	33	3,00	3,20	Presente	5
Junta B7	b3	80	Wb4	11,0	Eb2	8,80	0,80	8,02	33	3,00	3,80	8,81	0,80	8,06	33	3,00	3,80	Presente	10
Junta B8	b1	100	Wb5	11,0	Eb1	8,81	0,80	10,01	33	3,00	3,80	8,82	0,80	9,92	33	3,00	3,80	Presente	10
Junta B9	b2	100	Wb5	11,0	Eb3	8,78	0,80	8,05	22	2,00	2,80	8,80	0,80	8,03	22	2,00	2,80	Presente	7
Junta B10	b1	100	Wb6	13,0	Eb1	10,41	0,80	8,04	26	2,00	2,80	10,44	0,80	8,01	26	2,00	2,80	Presente	6
Junta B11	b1	50	Wb2	13,0	Eb1	23,43	1,80	10,03	26	2,00	3,80	23,45	1,80	9,81	26	2,00	3,80	Presente	30
Junta B12	b2	50	Wb3	15,0	Eb1	30,02	2,00	10,04	60	4,00	6,00	30,08	2,01	9,85	60	4,00	6,01	Presente	29
Junta B13	b3	50	Wb1	10,0	Eb2	8,01	0,80	10,00	10	1,00	1,80	7,99	0,80	9,88	10	1,00	1,80	Presente	19
Junta B14	b1	50	Wb1	10,0	Eb1	8,03	0,80	5,00	20	2,00	2,80	8,00	0,80	5,00	20	2,00	2,80	Presente	12
Junta B15	b2	80	Wb4	11,0	Eb1	8,81	0,80	7,02	22	2,00	2,80	8,84	0,80	7,00	22	2,00	2,80	Presente	9
Junta B16	b2	100	Wb5	11,0	Eb3	11,00	1,00	10,05	22	2,00	3,00	11,02	1,00	9,82	22	2,00	3,00	Presente	10
Junta B17	b1	100	Wb6	13,0	Eb1	23,41	1,80	9,02	26	2,00	3,80	23,43	1,80	9,00	26	2,00	3,80	Presente	15
Junta B18	b2	80	Wb2	6,0	Eb3	8,81	1,47	7,02	11	1,83	3,30	8,84	1,47	7,00	11	1,83	3,31	Presente	12
Junta B19	b1	50	Wb2	4,2	Eb3	4,02	0,96	5,30	13	3,10	4,05	4,10	0,98	5,25	13	3,10	4,07	Presente	12
Junta B20	b3	80	Wb4	7,1	Eb3	10,10	1,42	9,10	10	1,41	2,83	10,30	1,45	8,91	9	1,27	2,72	Presente	12
Junta B21	b2	100	Wb4	5,7	Eb3	6,00	1,05	6,20	12	2,11	3,16	5,93	1,04	6,34	13	2,28	3,32	Presente	12
Junta B22	b1	100	Wb6	10,0	Eb1	25,00	2,50	2,00	26	2,60	5,10	10,44	1,04	2,00	26	2,60	3,64	Ausente	6
Junta B23	b1	50	Wb2	13,0	Eb1	23,43	1,80	3,00	26	2,00	3,80	23,45	1,80	3,00	26	2,00	3,80	Ausente	12
Junta B24	b2	50	Wb3	15,0	Eb1	30,02	2,00	10,04	12	0,80	2,80	30,08	2,01	9,85	12	0,80	2,81	Presente	29
Junta B25	b3	50	Wb1	10,0	Eb2	8,01	0,80	10,00	9	0,90	1,70	7,99	0,80	9,88	9	0,90	1,70	Presente	19
Junta B26	b1	50	Wb1	10,0	Eb1	22,00	2,20	5,00	20	2,00	4,20	105,00	10,50	5,00	20	2,00	12,50	Presente	70
Junta B27	b2	80	Wb4	11,0	Eb1	8,81	0,80	0,08	22	2,00	2,80	8,84	0,80	0,08	22	2,00	2,80	Ausente	1
Junta B28	b2	80	Wb4	11,0	Eb1	1,00	0,09	7,02	22	2,00	2,09	1,00	0,09	7,00	22	2,00	2,09	Ausente	1
Junta B29	b2	100	Wb5	11,0	Eb3	11,00	1,00	12,00	22	2,00	3,00	11,02	1,00	12,00	22	2,00	3,00	Presente	14
Junta B30	b1	100	Wb6	13,0	Eb1	23,41	1,80	9,02	55	4,23	6,03	23,43	1,80	9,00	55	4,23	6,03	Presente	15

ES 2 542 743 T3

La Tabla 10 muestra "el valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm hacia fuera del pie de soldadura", "el límite elástico Y_{Sb} del material base", y las propiedades de las juntas que incluyen " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta", "la relación de reducción en el ensayo de fatiga ultrasónico" y "la resistencia a la fatiga de la junta bajo gigaciclos" para las juntas B1 a B30,

5 [Tabla 10]

	Valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm hacia fuera desde el pie de soldadura	Límite elástico Y_{Sb} del material base	Propiedades de las juntas		
			2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta	Relación de reducción en el ensayo ultrasónico	Resistencia a la fatiga de la junta bajo gigaciclos
	MPa	MPa	MPa	%	MPa
Junta B1	-320	482	241	81	195
Junta B2	-300	487	245	95	233
Junta B3	-30	477	241	95	229
Junta B4	-50	441	221	94	208
Junta B5	-70	421	215	87	187
Junta B6	-200	476	240	86	206
Junta B7	-40	431	220	97	213
Junta B8	-50	488	245	94	230
Junta B9	-100	552	275	93	256
Junta B10	-200	490	245	88	216
Junta B11	-470	475	240	86	206
Junta B12	-460	470	235	89	209
Junta B13	-200	428	235	78	183
Junta B14	-220	487	245	67	164
Junta B15	-100	558	280	79	221
Junta B16	-380	563	282	91	257
Junta B17	-380	479	240	71	170
Junta B18	-280	558	243	73	177
Junta B19	-200	487	255	75	191
Junta B20	-230	431	263	72	189
Junta B21	-190	563	241	74	178
Junta B22	240	490	180	88	158
Junta B23	230	475	190	86	163
Junta B24	225	470	185	89	165
Junta B25	200	428	190	78	148
Junta B26	390	487	130	67	87
Junta B27	356	558	165	79	130
Junta B28	345	558	165	79	130
Junta B29	310	563	135	91	123
Junta B30	290	479	130	71	92

El "valor medido de la tensión residual σ_R en una posición situada 1 mm hacia fuera del pie de soldadura" es un valor obtenido midiendo la tensión residual en la posición situada 1 mm hacia fuera del pie de soldadura por el método de la galga extensiométrica.

5 El valor " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta" se obtiene tomando piezas para el ensayo de fatiga 23 de una junta de una posición ilustrada en la Fig. 6, puliendo a máquina la superficie posterior de las piezas para ensayo de fatiga 23 de la junta de modo que se produzca un agrietamiento por fatiga desde el lado de la superficie frontal de las piezas de ensayo, y realizando un ensayo de fatiga en condiciones de fuerza axial/tensión de 0,1 y velocidad de repetición de 5 Hz.

10 Los valores de "la relación de reducción en el ensayo de fatiga ultrasónico" se obtienen realizando un ensayo de fatiga ultrasónico para piezas de ensayo ultrasónico 24 tomadas de la posición ilustrada en la Fig. 6, obteniendo la resistencia a la fatiga para 2×10^6 veces y la resistencia a la fatiga para 2×10^9 veces, y calculando la relación de reducción entre dichos valores. Más específicamente, los valores se obtienen dividiendo la resistencia a la fatiga para 2×10^9 veces por la resistencia a la fatiga para 2×10^6 veces.

15 La "resistencia a la fatiga de la junta bajo gigaciclos" es un valor estimado obtenido por cálculo basándose en la " 2×10^6 veces la resistencia a la fatiga de la junta" y la "relación de reducción en el ensayo de fatiga ultrasónico".

Como puede verse en la Tabla 9 y en la Tabla 10, se puede saber que, en las juntas B1 a B25, se formaron las zonas alteradas que tenían tamaños apropiados a la derecha y a la izquierda del centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho irradiando con el segundo haz de electrones, y por lo tanto, se puede obtener características favorables de las juntas

20 En las juntas B26 a B30, no se pudieron obtener las características favorables de las juntas puesto que las zonas alteradas a derecha e izquierda no tenían los tamaños adecuados.

En la junta B26, la cantidad de calor aportado por la irradiación con el segundo haz de electrones era grande, y la anchura de la zona alterada a la derecha era excesivamente grande. Por lo tanto, no se pudo obtener suficientemente la característica de la junta debido al efecto de la tensión residual de tracción que se produce en la porción irradiada.

25 En la junta B27, los grosores de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran pequeños, y por lo tanto, no pudo ser suficientemente aliviada la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura

En la junta B28, las anchuras de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran mayores respecto a la anchura del cordón, y por lo tanto, no pudo ser suficientemente aliviada la tensión residual de tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

30 En la junta B29, los grosores de las zonas alteradas a derecha e izquierda eran grandes, y por lo tanto, la característica de la junta se deterioró debido a la tensión residual de la tracción que se produce debido a la irradiación con el segundo haz de electrones.

35 En la junta B30, la distancia al borde interior era grande, en otras palabras, las zonas alteradas a derecha e izquierda estaban muy separadas del pie de soldadura del cordón, y por lo tanto, no pudo ser suficientemente aliviada la tensión residual de la tracción en la proximidad del pie de soldadura del cordón de soldadura.

Aplicabilidad Industrial

40 De acuerdo con la presente invención, es posible formar una junta de soldadura que tenga resistencia a la fatiga frente la vibración en el intervalo de gigaciclos, y un valor de la tenacidad a la fractura δc suficientemente alto. Por tanto, la junta de soldadura de acuerdo con la presente invención tiene alta aplicabilidad industrial como una junta de soldadura de un miembro de la cimentación de una torre de un aerogenerador situado mar adentro.

Lista de los signos de referencia

	1A, 1A', 1B, 1C	Junta de soldadura
	11A, 11A', 11B, 11C	Metal implicado (material base para la soldadura)
45	12A, 12A', 12B, 12C	Cordón de soldadura
	13A, 13A', 13B, 13C	Zona alterada
50	23	Pieza de junta para ensayo de fatiga
	24	Pieza para ensayo de fatiga ultrasónico
	W	Anchura del cordón de soldadura

55

REIVINDICACIONES

1. Una estructura soldada que comprende una junta soldada a tope (12A), comprendiendo dicha estructura:
- 5 una pareja de metales implicados (11A);
- un cordón de soldadura (12A) formado irradiando con un primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre la pareja de los metales implicados (11A), teniendo el cordón de soldadura (12A) una anchura (W) en dicha superficie irradiada; y
- 10 una pareja de zonas alteradas (13A) formada, en una superficie de la junta de soldadura a tope (12A), que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, irradiando con un segundo haz de alta densidad de energía la superficie, teniendo la pareja de las zonas alteradas (13A) una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura, y caracterizada porque la pareja de las zonas alteradas (13A) que consiste en una pareja de
- 15 zonas afectadas por calor y metales fundidos y solidificados situados en un lado derecho y un lado izquierdo con respecto al centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho, siendo las zonas alteradas (13A) porciones calentadas a una temperatura no menor que la temperatura Ac1 con el segundo haz de alta densidad de energía, en donde:
- 20 cada una de la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene una anchura no menor que 0,1W ni mayor que 10W, y un grosor no menor que 0,1 mm ni mayor que 10 mm,
- la distancia entre cada borde interior de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que 4W, y
- 25 la distancia entre cada borde exterior de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho no es menor que 0,6W ni mayor que 14W.
2. La estructura soldada de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:
- 30 la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que 0,4W, y
- la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene un grosor no menor que 0,1 mm ni mayor que 0,5 mm.
- 35 3. La estructura soldada de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la pareja de las zonas alteradas (13A) consiste en la porción afectada por calor.
4. La estructura soldada de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:
- 40 la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho no es menor que 1W ni mayor 4W, y la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene una anchura no menor que 0,1 W ni mayor que 2 W y un grosor no menor que 5 mm ni mayor que 10 mm.
- 45 5. La estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde: la tensión residual de tracción σ_R en una dirección perpendicular al cordón de soldadura en una superficie del metal implicado (11A) no es mayor que $YSb/2$ en una posición situada 1 mm hacia fuera del pie de soldadura del cordón de soldadura (12A) en una superficie del metal implicado (11A) que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, en donde YSb representa el límite elástico del material implicado (11A).
- 50 6. La estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde: la pareja de los metales implicados (11A) está formada por una placa de acero de alta resistencia que tiene un grosor de la placa que excede de 30 mm.
- 55 7. La estructura soldada de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde: la estructura soldada es un cuerpo de estructura o un pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de una torre de un aerogenerador.
- 60 8. Un método para fabricar una estructura soldada con una junta soldada a tope (12A), incluyendo dicho método:
- irradiar con un primer haz de alta densidad de energía una porción de tope entre una pareja de metales implicados (11A) para formar un cordón de soldadura (12A) que tiene una anchura W en una superficie lateral irradiada como una primera etapa de irradiación; y caracterizado por:
- 65 irradiar con un segundo haz de alta densidad de energía, desde un lado de la junta soldada a tope que ha sido irradiada con el primer haz de alta densidad de energía, para calentar la porción irradiada hasta no menos de una tem-

- 5 peratura Ac1 para formar una pareja de zonas alteradas (13A) que tiene una forma de banda que se extiende en paralelo al cordón de soldadura (12A) como una segunda etapa de irradiación, consistiendo la pareja de las zonas alteradas (13A) en una pareja de zonas afectadas por calor y metales fundidos y solidificados situada en un lado derecho y un lado izquierdo con respecto al centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho, en donde:
- la cantidad de calor aportado en la segunda etapa de irradiación no es menor del 2% ni mayor del 30% de la cantidad de calor aportado en la primera etapa de irradiación, de modo que:
- 10 cada una de la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene una anchura no menor que 0,1W ni mayor que 10 W, y un grosor no menor que 0,1 mm ni mayor que 10 mm,
- la distancia entre cada borde interior de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que 4W, y
- 15 la distancia entre cada borde exterior de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura en la dirección a lo ancho no es menor que 0,6 W ni mayor que 14W.
9. El método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde:
- 20 n la segunda etapa de irradiación, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho no es menor que 0 ni mayor que 0,4W, y
- 25 la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene un grosor no menor que 0,1 mm ni mayor que 0,5 mm.
10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, en donde:
- 30 en la segunda etapa de irradiación, se calienta una porción irradiada hasta una temperatura no menor que Ac1 y menor que la temperatura de fusión para obtener la pareja de las zonas alteradas (13A) que consiste en la zona afectada por calor.
11. El método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde:
- 35 en la segunda etapa de irradiación, la distancia entre cada uno de los bordes interiores de la pareja de las zonas alteradas (13A) y el centro del cordón de soldadura (12A) en la dirección a lo ancho o es menor que 1W ni mayor que 4 W, y
- 40 la pareja de las zonas alteradas (13A) tiene una anchura no menor que 0,1W ni mayor que 2W y un grosor no menor que 5 mm ni mayor que 10 mm.
12. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en donde:
- 45 los metales implicados (11A) están formados por una placa de acero de alta resistencia que tiene un grosor de placa que excede de 30 mm.
13. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en donde:
- 50 la estructura soldada es un cuerpo de estructura o un pilar tubular de acero que constituye una porción de cimentación de una torre de un aerogenerador.

FIG. 1

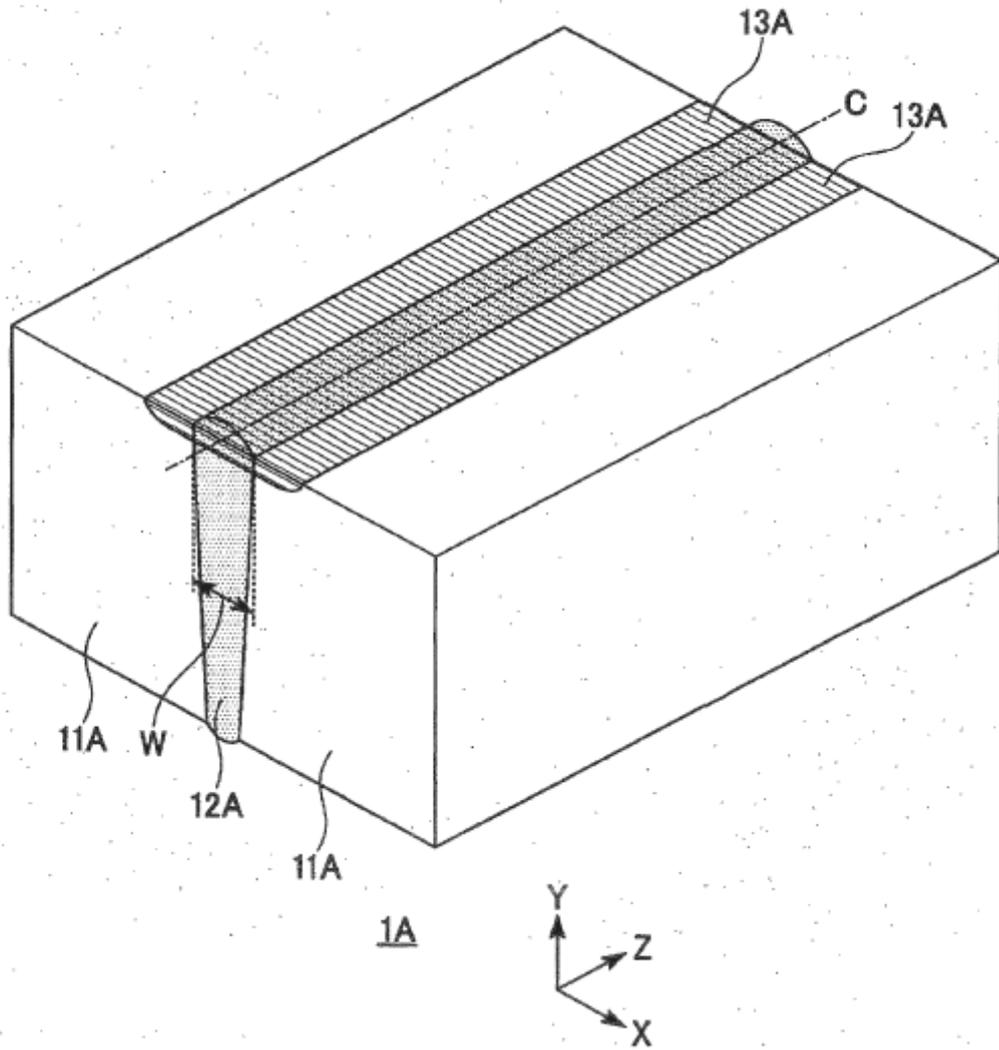


FIG. 2

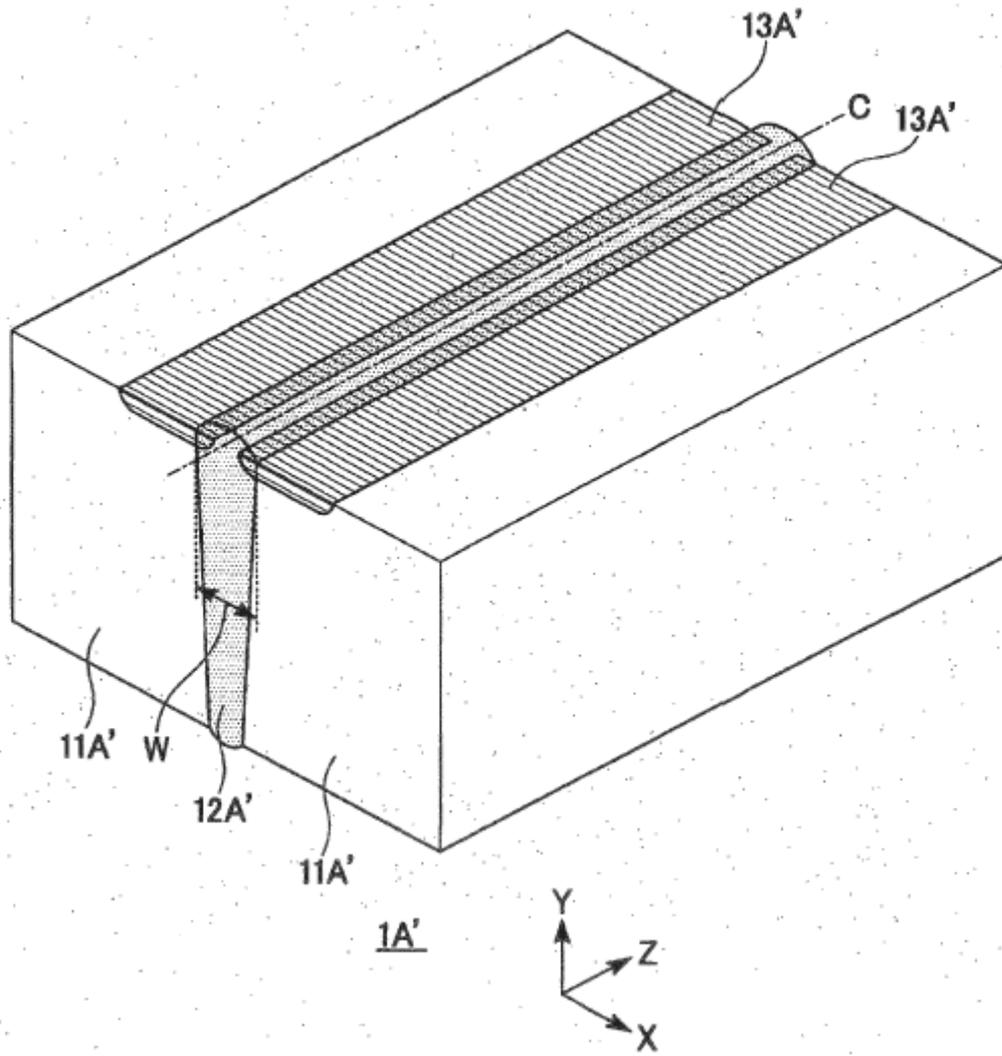


FIG. 3

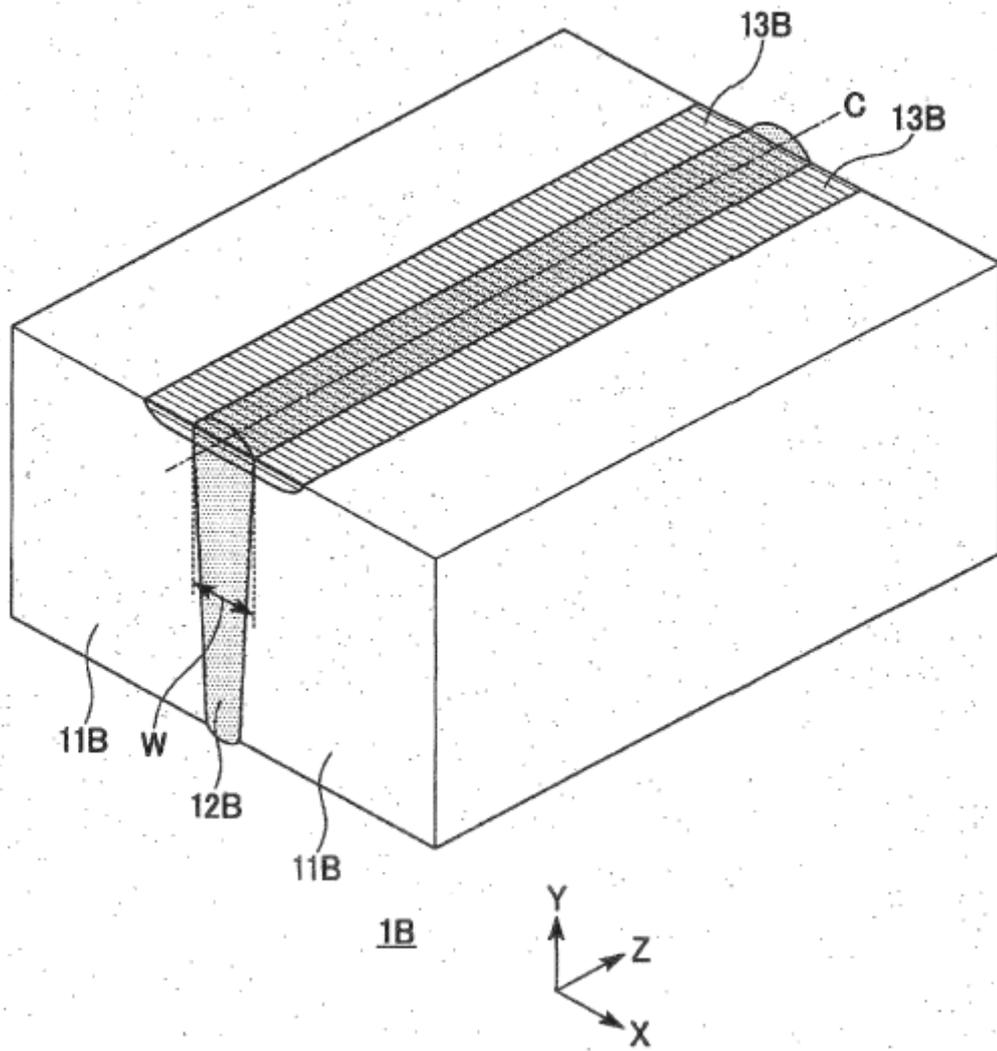


FIG. 4

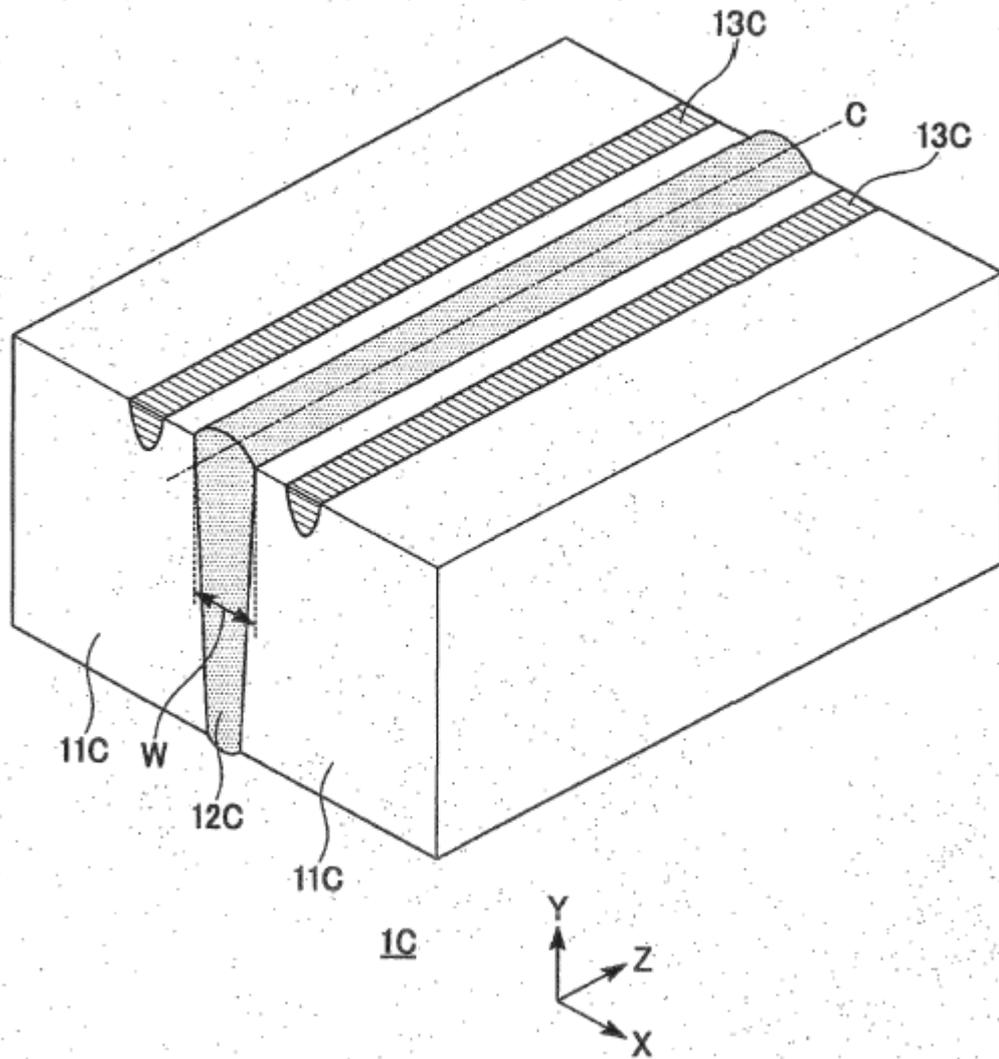


FIG. 5

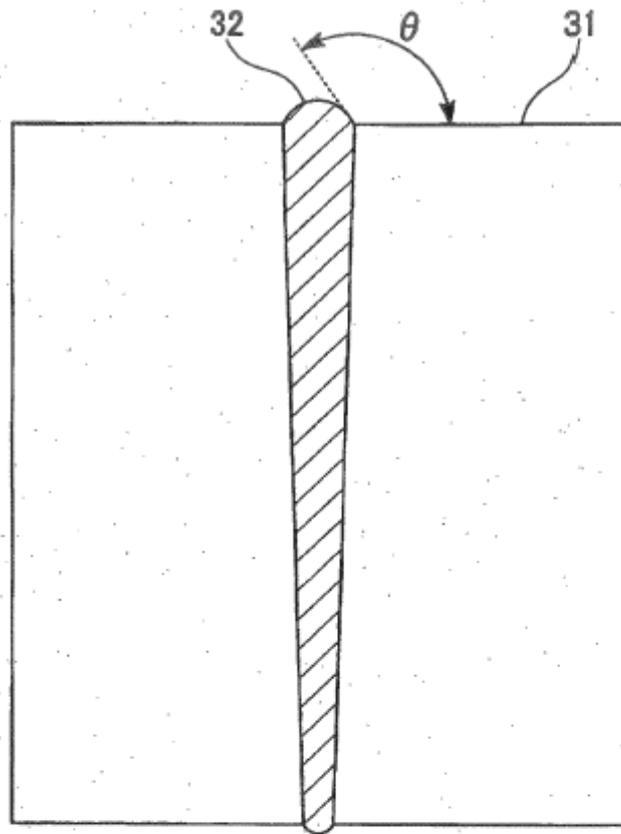


FIG. 6

