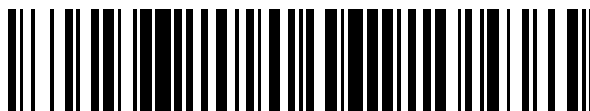


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 617 438**

51 Int. Cl.:

**B23K 15/00** (2006.01)

**B23K 15/06** (2006.01)

**B23K 26/20** (2014.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.12.2010 PCT/JP2010/071688**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2011 WO2011068201**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.12.2010 E 10834651 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 2508290**

54 Título: **Junta soldada a tope y método para fabricarla**

30 Prioridad:

**04.12.2009 JP 2009277007**

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

**19.06.2017**

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 y  
ISHIKAWA, TADASHI**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 617 438 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

Junta soldada a tope y método para fabricarla

La presente invención se refiere a una junta soldada a tope y a un método para fabricarla.

5 En años recientes, para reducir gas CO<sub>2</sub>, que es una causa del calentamiento global, o para hacer frente a un futuro agotamiento de combustibles fósiles, como el petróleo, se han buscado activamente métodos de usar energías naturales renovables. La energía eólica es una de estas energías y se ha extendido globalmente a gran escala.

10 Actualmente, las zonas más convenientes para la energía eólica son zonas donde se pueda esperar que soplen constantemente vientos fuertes. En particular, se ha planificado y realizado energía eólica en el mar (energía eólica en mar abierto) para satisfacer a gran escala las condiciones antes descritas (véanse los documentos JP2008-111406A, JP2007-092406A, JP2007-322400A y JP2006-037397A).

15 Para construir en el mar una torre generadora de energía eólica, es necesario clavar una porción de la cimentación de la torre en la base del fondo del mar. Para asegurar una altura suficiente, desde el nivel del mar, de los álabes de la turbina para la energía eólica, es necesario que la porción de la cimentación de la torre tenga una altura suficiente. Por lo tanto, se requiere que el espesor de la chapa de acero usada en la porción de la cimentación de la torre para la energía eólica tenga un espesor correspondiente a una longitud de la porción de la cimentación para asegurar resistencia y tenacidad. Por ejemplo, en una cimentación del tipo de camisa se usa chapa de acero que tiene un espesor igual o mayor que 30 mm. En una cimentación del tipo monolítico se usa una chapa de acero que tiene un espesor igual o mayor que 50 mm (por ejemplo, aproximadamente 100 mm). Además, la porción de la cimentación tiene una estructura tubular que tiene una sección grande con un diámetro de aproximadamente 4 m y la longitud total de la torre alcanza incluso 80 m o más.

20 Sin embargo, es extremadamente difícil soldar y ensamblar de una manera sencilla y muy eficiente dicha estructura grande en la costa cerca de su sitio de construcción. Además, es necesario soldar *in situ* de una manera muy eficiente una chapa de acero extremadamente gruesa cuyo espesor máximo puede ser de hasta 100 mm, cosa que no existe en la técnica relacionada.

25 En general, métodos de soldar eficaces son métodos de soldar por haces de alta densidad de energía, como soldar por haces de electrones, por rayos láser, etc. Sin embargo, no es sencillo disponer de las condiciones para soldar por haces de alta densidad de energía y, particularmente, para soldar por haces de electrones es necesario realizar la soldadura manteniendo un estado de alto vacío en una cámara de vacío por lo que, en la técnica relacionada, el tamaño de la chapa de acero que pueda ser soldada es limitado.

30 Por el contrario, en años recientes, The Welding Institute del Reino Unido ha desarrollado y propuesto un método de soldar por el que se puede soldar eficientemente *in situ* una chapa de acero que tiene un espesor de aproximadamente 100 mm, método denominado RPEBW (reduced pressure electron beam welding) (soldadura por haces de electrones a presión reducida) (véase el documento WO 99/16101A).

35 Una torre generadora de energía eólica en el mar está expuesta constantemente a fuertes vientos y olas. Por esta razón, la estructura de la porción de la cimentación de la torre soporta continua y repetidamente cargas debido a los fuertes vientos, olas o vibración originados por rotación de los álabes de la turbina.

40 En dicho entorno, una porción soldable de la porción de la cimentación de la torre requiere propiedades resistentes a la fatiga en una vibración en el intervalo de gigaciclos que tiene un orden diferente al de un ciclo típico de fatiga. En particular, la concentración de la tensión se incrementa en la porción del borde de un cordón de soldadura (metal de aportación) y, por lo tanto, se reduce la resistencia a la fatiga frente a cargas repetidas en una junta de soldadura.

Para atenuar la concentración de la tensión en dicha porción del borde, en la técnica relacionada se ha propuesto una tecnología que atenúa la concentración de la tensión incrementando el radio de curvatura  $\rho$  y el ángulo de contacto  $\theta$  en una plancha de acero 21 y en una porción del borde de un cordón de soldadura 22, como se muestra en las figuras 3A y 3B.

45 Además, la figura 3A es una vista en sección transversal esquemática que muestra un ejemplo de cordón de soldadura de una junta soldada a tope de acuerdo con la técnica relacionada. Además, la figura 3B es una vista en sección transversal esquemática ampliada que muestra las proximidades de una porción del borde T del cordón de soldadura mostrado en la figura 3A.

50 Por ejemplo, en el documento JP H04-361876A se ha propuesto incrementar el radio de curvatura  $\rho$  ajustando el componente de flujo y el componente de gas de la atmósfera inerte.

Además, en el documento JP 2004-181530A se ha propuesto reducir la concentración de la tensión en la porción del borde del cordón de soldadura reduciendo a 0,2 o menos la relación del ancho del cordón de soldadura al espesor de la chapa de acero.

Como se ha descrito antes, el grado de la concentración de la tensión se incrementa en la porción del borde del

cordón de soldadura. Como resultado, existe el problema de que se reduce la resistencia a la fatiga de la junta soldada a tope frente a la carga repetida debida a vibración en el intervalo de gigaciclos originada por energía eólica, energía de las olas, rotación de los álabes de la turbina, etc.

5 Sin embargo, para hacer frente a la concentración de la tensión en la porción del borde, en la técnica relacionada existen los siguientes problemas.

El método descrito en el documento JP H04-361876A que se realiza mediante soldadura por arco eléctrico en atmósfera de gas inerte no es aplicable a este problema en el que la soldadura se realiza mediante soldadura del cordón de soldadura por un haz de alta densidad de energía, sin usar una atmósfera de gas inerte.

10 Además, en el documento JP2004-181530A sólo se especifica la forma del cordón de soldadura. Sin embargo, no se describe ningún método específico para formar el ancho antes descrito del cordón de soldadura ni condiciones del soldeo, etc. En consecuencia, la utilización industrial es extremadamente difícil debido a su pobre reproducibilidad.

Además, no se puede aplicar el método descrito en el documento JP2004-181530A para mejorar las propiedades de resistencia a la fatiga en una vibración en el intervalo de gigaciclos porque no hay más que una mención de que se mejora la resistencia a la fatiga correspondiente a dos millones de veces en la junta soldada.

15 El documento JP2001-212678A describe un método de soldar por haces de electrones para un acero revenido de resistencia a la tracción extremadamente alta, en el que los objetos a soldar se ponen en contacto entre sí para que una línea soldada puede estar dispuesta en dirección hacia arriba y hacia abajo y un cañón electrónico generador de un haz de electrones se desplaza desde una porción superior hasta una porción inferior para soldar desde un extremo superior a un extremo inferior de la línea de soldadura.

20 La junta soldada a tope comprende un par de chapas de acero; un primer metal de aportación que se forma en una porción soldable del par de chapas de acero, desde la cara de una primera superficie del par de chapas de acero hasta la cara de una segunda superficie opuesta a la cara de la primera superficie por irradiación de un primer haz de alta densidad de energía desde la cara de la primera superficie; y un segundo metal de aportación que se forma por irradiación de un segundo haz de alta densidad de energía para cubrir una superficie del extremo de la cara de  
25 la primera superficie del primer metal de aportación.

Un objeto de la invención es proporcionar, de una manera reproducible sencilla y excelente, una junta soldada a tope que tenga propiedades de fatiga que puedan soportar vibración en el intervalo de gigaciclos y que tenga suficiente tenacidad a la fractura atenuando la concentración de la tensión en la porción del borde del cordón de soldadura cuando la soldadura se realiza por haces de alta densidad de energía, como soldadura por haces de  
30 electrones, etc. en un par de chapas de acero sin causar estos problemas.

Para resolver el problema antes mencionado, el objetivo de la presente invención es atenuar la concentración de la tensión en la porción del borde del cordón de soldadura para mejorar así propiedades de fatiga fundiendo de nuevo el cordón de soldadura para formar un cordón de soldadura fundido de nuevo en una porción de soldadura en el soldeo por haces de alta densidad de energía, como soldeo por haces de electrones, etc.

35 El objeto antes mencionado se puede conseguir por las características definidas en las reivindicaciones independientes 1 y 4.

De acuerdo con la invención, cuando se somete un par de chapas de acero de alta resistencia a soldadura por haces de alta densidad de energía para obtener una estructura soldada, se forma un segundo metal de aportación que tiene una porción del borde más lisa que la del primer metal de aportación por fusión nueva del primer metal de  
40 aportación y, por lo tanto, se atenúa la concentración de la tensión en la porción del borde. Como resultado, se puede conseguir una junta soldada a tope que tiene propiedades de resistencia a la fatiga en un entorno de vibración del intervalo de gigaciclos y excelente tenacidad a la fractura.

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

45 la figura 1A es una vista en sección transversal esquemática que muestra una junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención,

la figura 1B es una vista en sección transversal esquemática que muestra una junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención,

la figura 2 es una vista en sección transversal esquemática que describe un método de estimar el ancho  $W_1$  de un primer metal de aportación 2 de una junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención,

50 la figura 3A es una vista en sección transversal esquemática que muestra un ejemplo de un cordón de soldadura de una junta soldada a tope de acuerdo con la técnica relacionada, y

la figura 3B es una vista en sección transversal esquemática ampliada que muestra las proximidades de una porción del borde T del cordón de soldadura mostrado en la figura 3A.

En la invención, en un cordón de soldadura que se forma soldando (soldando por un haz de alta densidad de energía) un par de chapas de acero de alta resistencia irradiando con un haz de alta densidad de energía, como un haz de electrones, un haz láser, etc., el cordón de soldadura (primer metal de aportación) se vuelve a fundir para formar un cordón fundido de nuevo (segundo metal de aportación) y, por lo tanto, se atenúa la concentración de la tensión en la porción del borde del primer metal de aportación, por lo que se mejoran las propiedades de resistencia a la fatiga en un entorno de vibración del intervalo de gigaciclos.

A continuación se describirá una junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención con referencia a los dibujos adjuntos.

La figura 1A es una vista en sección transversal esquemática que muestra, en dirección perpendicular a la dirección longitudinal del primer metal de aportación, el primer metal de aportación de la junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención. Como se muestra en la figura 1A, una junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención incluye un primer metal de aportación (2) que se forma, en una porción soldable del par de chapas de acero (1), por irradiación del primer haz de alta densidad de energía desde la cara de la primera superficie del par de chapas de acero (1), y un segundo metal de aportación (3A) que se forma por el segundo haz de alta densidad de energía para cubrir toda la superficie del extremo de la cara de la primera superficie (1A) del primer metal de aportación (2). Además, el primer metal de aportación (2) se forma desde la cara de la primera superficie (1A) hasta la cara de la segunda superficie (1B) opuesta a la primera superficie (1A).

Además, el ancho  $W_1$  del primer metal de aportación (2) sobre la primera superficie (1A) y el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación (3A) sobre la primera superficie (1A) satisfacen la siguiente ecuación (1) y la profundidad  $D_1$  desde la primera superficie (1A) del segundo metal de soldadura (3A) es 2,0 a 10,0 mm.

$$1,2 \leq W_2/W_1 \leq 3,5 \quad (1)$$

Actualmente,  $W_1$  es un ancho estimado (el método de estimación de  $W_1$  se describirá más adelante) del primer metal de aportación (2) sobre la cara de la primera superficie (1A) que es una cara de irradiación del primer haz de alta densidad de energía antes descrito. Además,  $W_2$  es el ancho sobre la primera superficie (1A) del segundo metal de aportación (3A) formado por irradiación del segundo haz de alta densidad de energía.

Como se muestra en la figura 1A, una sección de la cara de irradiación del primer haz de alta densidad de energía del primer metal de aportación (2) está cubierta por el segundo metal de aportación (3A). Además, una forma de la porción del borde del segundo metal de aportación (3A) se forma lisamente en comparación con un cordón de soldadura de acuerdo con la técnica relacionada mostrado en la figura 3A. Debido a esto, se atenúa la concentración de la tensión en la porción del borde.

Además, de acuerdo con la presente realización, se requiere que el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación (3A) satisfaga la ecuación  $1,2 \leq W_2/W_1 \leq 3,5$  con respecto al ancho  $W_1$  del primer metal de aportación.

Cuando la relación  $W_2/W_1$  del ancho del segundo metal de aportación (3A) al ancho  $W_1$  del primer metal de aportación es demasiado pequeña, se reduce el efecto de atenuar la concentración de la tensión y, por lo tanto,  $W_2/W_1$  debe ser 1,2 o mayor. Además,  $W_2/W_1$  puede ser 1,2 o mayor, o 1,8 o mayor, cuando sea necesario.

Mientras tanto, cuando se incrementa el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación (3A), se pueden ignorar los efectos adversos de tensión residual a la tracción en dirección perpendicular a una línea de soldadura que se forma en la porción del borde del segundo metal de aportación (3A) sobre la primera superficie (1A). Además, cuando se incrementa significativamente  $W_2/W_1$  para originar un incremento en la región de partículas gruesas, se puede reducir la tenacidad de la junta. Por esta razón,  $W_2/W_1$  es 3,5 o menos. Además,  $W_2/W_1$  puede ser 3,2 o menos, o 2,8 o menos, cuando sea necesario.

Actualmente, la forma de la sección de la cara de la primera superficie (1A) del primer metal de aportación (2) que se forma por irradiación del primer haz de alta densidad de energía no puede ser confirmada después de que se haya formado el segundo metal de aportación (3A). Sin embargo, el ancho  $W_1$  del primer metal de aportación (2) sobre la cara de la primera superficie (1A) puede ser estimado por el siguiente método.

La figura 2 es una vista en sección transversal esquemática que describe la relación posicional entre el primer metal de aportación (2) y el segundo metal de aportación (3A) de acuerdo con la presente realización. La figura 2 es una vista en sección transversal esquemática en dirección perpendicular a la dirección longitudinal del primer metal de aportación (2).

Desde una línea del borde del primer metal de aportación (2) y del segundo metal de aportación (3A) sobre la sección, se supone que ambos puntos extremos en la dirección transversal del primer metal de aportación (2) son C1 y C2.

Después, en una línea del borde L1 de un material base (chapa de acero 1) y el primer metal de aportación (2) sobre la misma sección, se supone que una posición con aproximadamente la misma profundidad que la porción más profunda del segundo metal de aportación (3A) es S1. Además, en una línea del borde L2 del otro material base y

del primer metal de aportación (2), se define S2 de la misma manera.

Después, se supone que las líneas rectas obtenidas combinando S1 y S2 con C1 y C2, respectivamente, son L1 y L2, respectivamente. Se supone que los puntos de intersección entre L1' y L2' y la primera superficie (1A) son t1 y t2. La distancia t entre t1 y t2 es aproximadamente el ancho W<sub>1</sub> del primer metal de aportación antes de formar el segundo metal de aportación (3A) con suficiente precisión. Por esta razón, la distancia t puede ser considerada como W<sub>1</sub>.

En la presente realización, se requiere que la profundidad D<sub>1</sub> desde la primera superficie 1A de la chapa de acero 1 en el segundo metal de aportación sea 1,0 a 10,0 mm. Cuando la profundidad D<sub>1</sub> del segundo metal de aportación (3A) es demasiado pequeña, se puede ver poco cambio en la forma de la porción del borde del primer metal de aportación y se puede reducir el efecto de atenuar la concentración de la tensión y, por lo tanto, se admite que la profundidad D<sub>1</sub> sea 2,0 mm o mayor. Cuando sea necesario, se puede admitir que la profundidad D<sub>1</sub> sea 3,0 mm o mayor, o 4,0 mm o mayor.

Mientras tanto, cuando la profundidad D<sub>1</sub> del segundo metal de aportación (3A) sea demasiado grande, se incrementa la tensión residual de la tracción aplicada en las proximidades del segundo metal de aportación (3A) en el interior de la chapa de acero y así se pueden reducir las propiedades de resistencia a la fatiga. Además, se puede deteriorar la fragilidad en la porción soldable y en sus proximidades y, por lo tanto, se admite que la profundidad D<sub>1</sub> sea 10,0 mm o menos. Cuando sea necesario, se admite que la profundidad D<sub>1</sub> sea 9,0 mm o menos, 8,0 mm o menos o 7,0 mm o menos.

Además, en la presente realización, la profundidad D<sub>1</sub> es la distancia desde la primera superficie 1A de la cara de irradiación del segundo haz de alta densidad de energía hasta la porción más profunda del segundo metal de aportación (3A).

Además, como se muestra en la figura 1B, en la junta soldada a tope de acuerdo con una realización de la invención, se puede formar un tercer metal de aportación (3B) para cubrir una sección de la cara de una segunda superficie 1B opuesta a la primera superficie 1A, dentro de la sección del primer metal de aportación (2). En este caso, es preferible que el ancho W<sub>4</sub> del primer metal de aportación (2) sobre la segunda superficie 1B y el ancho W<sub>5</sub> del tercer metal de aportación sobre la segunda superficie 1B satisfagan la siguiente ecuación (2)

$$1,2 \leq W_5/W_4 \leq 3,5 \quad (2)$$

Además, el tercer metal de aportación (3B) se puede formar por un tercer haz de alta densidad de energía.

Además, no se puede confirmar directamente la forma de la sección de la cara de la segunda superficie 1B del primer metal de aportación (2) que se forma por irradiación del primer haz de alta densidad de energía después de haberse formado el tercer metal de aportación (3B). Sin embargo, el ancho W<sub>4</sub> del primer metal de aportación (2) sobre la cara de la segunda superficie 1B se puede estimar por el mismo método que el método de estimación del ancho W<sub>1</sub> del primer metal de aportación (2).

De esta manera, al preparar el segundo metal de aportación (3A) y el tercer metal de aportación (3B), se pueden mejorar las propiedades de resistencia a la fatiga en las superficies anterior y posterior de la chapa de acero 1.

Además, como primer haz de alta densidad de energía, segundo haz de alta densidad de energía y tercer haz de alta densidad de energía se puede usar un haz de electrones, un haz láser, etc.

Además, para soldar por un haz de alta densidad de energía, en el caso de usar, por ejemplo, un haz de electrones, se puede irradiar una chapa de acero que tiene un espesor de 50 mm bajo las siguientes condiciones: voltaje de aceleración 150 V, corriente del haz 180 mA y velocidad de soldeo 100 a 300 mm/min.

Además, cuando se realiza la soldadura por un haz de alta densidad de energía, la junta soldada a tope se puede fabricar de tal manera que se puede insertar y soldar una hoja metálica con un espesor de aproximadamente 0,1 mm sobre una superficie soldable del par de chapas de acero 1. Como hoja metálica se puede usar una hoja de Ni o similar. De esta manera, insertando la hoja metálica en el tiempo de soldar por el haz de alta densidad de energía, se puede evitar deterioro de la tenacidad de la porción soldable.

Además, el haz de alta densidad de energía antes descrito puede ser irradiado bajo condiciones tales como una cantidad de calor aportado de aproximadamente 1/10 de la cantidad de calor aportado en la soldadura por el primer haz de alta densidad de energía, por ejemplo, un voltaje de aceleración de 90 V, una corriente del haz de 60 mA y una velocidad de soldeo mayor que 500 mm/min. Esto es porque el efecto de atenuar la concentración de la tensión en la porción del borde se reduce cuando la cantidad de calor aportado en el tiempo de fundir de nuevo el primer metal de aportación es demasiado pequeña y se deteriora la tenacidad en la porción soldable cuando la cantidad de calor aportado es demasiado grande.

Además, es preferible usar una función de oscilación de alta velocidad cuando se realiza la irradiación del segundo haz de alta densidad de energía. Esto es porque las dos porciones del borde del primer metal de aportación funden

simultáneamente, esto es, porque se posibilita que las dos porciones del borde fundan de nuevo a una velocidad sustancialmente alta en comparación con un proceso de nueva fusión (aplanado TIG) de la porción del borde del primer metal de aportación, por ejemplo, usando un arco TIG (TIG = soldadura al tungsteno en atmósfera de gas inerte). Además, se pueden conseguir fácilmente el ancho  $W_2$  y profundidad  $D_1$  deseados ajustando el voltaje de aceleración, corriente del haz, velocidad de soldeo, condiciones de oscilación, etc., basándose en el ancho  $W_1$  medido cuando se realice la invención.

Además, las condiciones de irradiación del tercer haz de alta densidad de energía para formar el tercer metal de aportación (3B) pueden ser sustancialmente las mismas que las condiciones de irradiación del segundo haz de alta densidad de energía antes mencionadas. Sin embargo, se pueden cambiar estas condiciones sin salirse del alcance de la presente realización de la invención.

Cuando se incrementa una región de irradiación por el haz en el tiempo de soldeo por el primer haz de alta densidad de energía, la cantidad de calor aportado a la chapa de acero resulta excesiva. Como resultado, pueden crecer los granos de tejidos de una porción de la línea de fusión o se puede formar martensita en forma de isla (MA: constituyente de martensita-austenita), que es una fase de fragilidad. Por esta razón, el incremento en la región de irradiación por el haz puede originar una reducción de la tenacidad del metal de aportación o de la porción de la línea de fusión.

Además, cuando se usa el método de soldar por un haz de electrones a presión reducida (RPEBW) como método de soldar por el primer haz de alta densidad de energía, el ancho del primer metal de aportación tiende a incrementarse en comparación con soldar una junta fabricada por un método de soldar por un haz de electrones (método EBW) en condiciones de alto vacío en el interior de una cámara de vacío.

Debido a esto, es preferible que el ancho  $W_1$  del primer metal de aportación sea 30% o menos, o 20% o menos, del espesor de la chapa de acero, para asegurar firmemente un valor vE del ensayo Charpy de la junta soldada a tope incluso cuando se use el método de soldar RPEBW.

Además, es necesario que el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación en el centro del espesor de la chapa de acero sea 15% o menos, preferiblemente 10% o menos. Sin embargo, el ancho  $W_1$  puede estar limitado a 15 mm o menos, 11 mm o menos, o 7 mm o menos. El ancho  $W_1$  puede estar limitado a 7 mm o menos, 6 mm o menos, o 5 mm o menos.

Además, cuando los anchos  $W_1$  y  $W_3$  del primer metal de aportación son demasiado pequeños, es difícil fundir completamente una superficie estriada por la dirección incidente y estabilidad del primer haz de alta densidad de energía y, por lo tanto, es preferible que el ancho  $W_1$  del primer metal de aportación sea 2% o más del espesor de la chapa de acero y que el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación sea 20% o más del espesor de la chapa de acero en el centro del espesor de la chapa de acero.

Además, la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización se puede usar para soldar con alta densidad de energía sobre la chapa de acero de alta resistencia para obtener una estructura soldable. La chapa de acero no se limita a esto. Sin embargo, preferiblemente se puede usar chapa de acero cuyo límite elástico es 355 MPa o más. Dicha chapa de acero de alta resistencia se puede fabricar a partir de acero para una estructura soldada con las composiciones conocidas. Además, el límite elástico de la chapa de acero puede ser 600 MPa o menos. Además, la resistencia a la tracción de la chapa de acero puede estar limitada a 400 MPa o más, a 490 MPa o más, a 780 MPa o menos o a 690 MPa o menos.

Por ejemplo, como composición básica se usa una chapa de acero que contiene (% en masa) 0,02 a 0,20% de C, 0,01 a 1,0% de Si, 0,3 a 2,1% de Mn, 0,001 a 0,20% de Al,  $\leq 0,02$  de N,  $\leq 0,01\%$  de P,  $\leq 0,01$  de S y 0,50 a 4,0% de Ni. Además de esta composición básica, la chapa de acero puede contener adicionalmente 8% o menos o 3% o menos en total de uno, dos o más de Cr, Mo, Cu, W, Co, V, Nb, Ti, Zr, Ta, Hf, REM, Y, Ca, Mg, Te, Se y B de acuerdo con las propiedades requeridas, como mejora de la resistencia del material base o tenacidad de la junta, etc.

Cuando el problema antes mencionado es notable se usa chapa de acero con un espesor de 30 mm o más. Se pueden tener efectos mayores cuando el espesor de la chapa es 50 mm o más y, por lo tanto, el espesor de la chapa puede ser 50 mm o más. Mientras tanto, cuando el espesor de la chapa es demasiado grueso, es difícil soldar por un haz de alta densidad de energía y, por lo tanto, el espesor de la chapa está limitado a 200 mm o menos, preferiblemente a 150 mm o menos o preferiblemente a 100 mm o menos.

Además, en una torre generadora de energía eólica, o equipo similar, la chapa de acero se somete a un proceso de flexión y después se suelda a una tubería de acero o se sueldan tuberías de acero. Este caso es básicamente una junta soldada a tope fabricada a partir de chapa de acero que ha sido sometida al proceso de flexión. En consecuencia, la invención se puede aplicar a soldar para fabricar tubería de acero a partir de chapa de acero que ha sido sometida al proceso de flexión o a soldar entre tuberías de acero.

En la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización, es preferible que la dureza del primer metal de aportación, del segundo metal de aportación y del tercer metal de aportación sea 110% o más y 150% o menos de la

dureza de la chapa de material base. Preferiblemente, la dureza del metal de aportación es 110% o más que la dureza del material base de la chapa de acero para asegurar su capacidad de endurecimiento y evitar que se genere ferrita de granos gruesos. Sin embargo, cuando se incrementa extremadamente la dureza, se deteriora la tenacidad a la fractura debido a un incremento de tensiones locales y, por lo tanto, es preferible 150% o menos.

- 5 La diferencia de dureza antes descrita se puede conseguir de una manera tal que se evite que la dureza del metal de aportación sea demasiado alta ajustando la velocidad de enfriamiento después de soldar.

10 En la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización, se vuelve a fundir el primer metal de aportación y se forman el segundo metal de aportación y el tercer metal de aportación que tienen una porción del borde más lisa que la del primer metal de aportación. Como resultado, se atenúa la concentración de la tensión en la porción del borde del segundo metal de aportación y del tercer metal de aportación y, por lo tanto, se pueden mejorar las propiedades de resistencia a la fatiga en un entorno de vibración del intervalo de gigaciclos. Además, se puede obtener suficiente tenacidad a la fractura.

15 Debido a esto, la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización se puede usar para una estructura o columna tubular de acero que constituye una porción de la cimentación de la torre generadora de energía eólica que requiere propiedades de resistencia a la fatiga en un intervalo de vibración de gigaciclos.

En el método de fabricación de la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización, es preferible que la irradiación del primer haz de alta densidad de energía, del segundo haz de alta densidad de energía y del tercer haz de alta densidad de energía se realicen, todas, fijando sólo una región de formación de la porción soldable de la chapa de acero y estando bajo vacío las proximidades de la región.

- 20 Realizando la irradiación del haz bajo las condiciones antes descritas, es posible soldar una estructura grande, como una torre generadora de energía eólica en el mar, y equipos similares, cerca del sitio de su construcción de una manera sencilla y muy eficiente. Como resultado, la junta soldada a tope de acuerdo con la presente realización se puede fabricar de una manera sencilla y muy eficiente.

### Ejemplos

- 25 A continuación se describirá la invención de acuerdo con ejemplos. Sin embargo, las condiciones de los ejemplos son primeras condiciones adoptadas para verificar la viabilidad y efectividad de la invención y ésta no está limitada sólo a estos ejemplos.

La invención puede adoptar diversas condiciones y combinaciones de estas siempre que se consigan los objetos de la invención sin salirse de la esencia de la invención.

- 30 Se soldó mediante soldadura por haces de electrones (soldadura por el primer haz de alta densidad de energía) bajo las condiciones de soldadura mostradas en la tabla 3 usando una chapa de acero que tenía la composición química, límite elástico y resistencia a la tracción en cada espesor de la chapa mostrados en la tabla 1, para fabricar una junta soldada a tope que tenía un primer metal de aportación con un ancho  $W_1$  sobre la superficie de una chapa de acero sobre una cara de irradiación de un haz de electrones. Además, se ajustó como se muestra en la tabla 5 el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación en el centro ( $t/2$ ) del espesor  $t$  de la chapa de acero.

35 Además, cuando fuera necesario, se fabricó la junta soldada a tope que tenía la composición mostrada en la tabla 2 insertando a una superficie estriada una hoja metálica fina de un espesor de 0,1 mm.

- 40 Después, se realizó una nueva soldadura por haz de electrones bajo las condiciones mostradas en la tabla 4 (soldadura por el segundo haz de alta densidad de energía) con lo que se formó el segundo metal de aportación para cubrir una sección de la cara de irradiación del primer metal de aportación. En este caso, se formó el segundo metal de aportación que tenía la forma mostrada en la tabla 5 ajustando la profundidad  $D_1$ , la cantidad de calor aportado y el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación. Además, en el ajuste del ancho  $W_3$  del segundo metal de aportación, se usó una función de oscilación acoplada a un equipo de soldadura por haz de electrones.

- 45 Además, con respecto al ensayo número 19, la soldadura por el segundo haz de alta densidad de energía se realizó bajo las condiciones de soldadura E3 mostradas en la tabla 4, con lo que se formó el segundo metal de aportación cubriendo una sección de la cara de irradiación del primer metal de aportación. Al mismo tiempo, se realizó la soldadura por el tercer haz de alta densidad de energía bajo las condiciones de soldadura E1, por lo que se formó el tercer metal de soldadura cubriendo una sección de una cara opuesta de la cara de irradiación del primer haz de alta densidad de energía del primer metal de aportación. En este caso, se formó el tercer metal de aportación que tenía la forma mostrada en la tabla 5 ajustando la profundidad  $D_2$ , cantidad de calor aportado y ancho  $W_5$  del tercer metal de aportación.

- 55 Además, la soldadura por el primer haz de alta densidad de energía, la soldadura por el segundo haz de alta densidad de energía y la soldadura por el tercer haz de alta densidad de energía se realizaron, todas ellas, en la cámara de presión mostrada en la tabla 5. Además, los números en la parte inferior del ensayo número 19 (números entre paréntesis) de la tabla 5 indican, respectivamente, las condiciones de la nueva soldadura en el momento de

## ES 2 617 438 T3

irradiación por el tercer haz de alta densidad de energía, el ancho ( $W_4$ ) del primer metal de aportación en la superficie posterior de la chapa de acero, el ancho ( $W_5$ ) del tercer metal de aportación formado por irradiación por el tercer haz de alta densidad de energía, la relación  $W_5/W_4$  y la profundidad ( $D_2$ ) del tercer metal de aportación.

5 Con respecto al comportamiento de la junta soldada a tope obtenida de la manera antes descrita, se estimaron las características de la junta mostradas en la tabla 5.

En primer lugar, el valor  $vE$  de la resiliencia Charpy (J) fue un valor obtenido en un ensayo de impacto realizado a una temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  tomando una muestra de ensayo con entalla V en la que la posición de la entalla desde justo bajo la superficie de la junta de soldadura fue el centro del segundo metal de aportación. Los resultados se muestran en la tabla 5. Además, el ensayo de impacto Charpy se realizó de acuerdo con JIS Z 2242.

10 El ensayo de fatiga se realizó usando una máquina servohidráulica de ensayo de la fatiga (Hz) tomando una muestra para el ensayo de la fatiga de acuerdo con JIS Z 3103-1987 a partir de la junta soldada a tope obtenida. El ensayo de la fatiga se realizó bajo las siguientes condiciones: en aire a temperatura ambiente, relación de tensión 0,1, velocidad de repetición 5 a 40 Hz e intervalo de tensión de 80 a 200 MPa. Como se muestra en la tabla 5, para el ensayo de la fatiga se midieron la resistencia a la fatiga  $F_1$  de la junta del número de repeticiones de dos millones de veces ( $2 \times 10^6$  veces) en una vida de rotura y la resistencia a la fatiga  $F_2$  de la junta correspondiente a un gigaciclo ( $10^6$  veces).

15 Además, la resistencia a la fatiga  $F_1'$  del número de repeticiones de  $2 \times 10^6$  veces y la resistencia a la fatiga  $F_2'$  en el gigaciclo de hasta  $2 \times 10^9$  veces se obtuvieron tomando de la junta soldada a tope obtenida una muestra de ensayo ultrasónico de la fatiga, por separado de la muestra del ensayo a la fatiga. Después, comparando los resultados de estas dos condiciones, se obtuvo la relación de reducción ( $F_2'/F_1'$ ) entre ellos.

20 Posteriormente, se estimó la resistencia de la junta a la fatiga  $F_2$  (valor estimado) bajo el gigaciclo multiplicando, por la relación de reducción ( $F_2'/F_1'$ ), la resistencia de la junta a la fatiga  $F_1$  de  $2 \times 10^6$  veces obtenida por el ensayo a la fatiga de la junta.

Los resultados anteriores se muestran en la tabla 5.

25 Tabla 1

	Composición química (% en masa)								Espesor t de la chapa (mm)	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	N			
B1	0,1	1,2	0,41	0,003	0,003	0,5	0,2	0,005	30	455	669
									50	432	632
									80	418	615
									100	392	576
B2	0,2	1,5	0,25	0,003	0,004	1,1	0,2	0,004	30	534	785
									50	511	745
									80	491	722
									100	478	703
B3	0,05	2,1	0,21	0,004	0,004	0,5	0	0,004	30	413	551
									50	392	521
									80	368	491
									100	355	465



# ES 2 617 438 T3

Tabla 2

Composición química de la hoja metálica fina  
(% en masa)

	Ni	Cr	Fe
F1	100	-	-
F2	18,6	8,5	Ba I

5 Tabla 3

Condiciones del soldeo

Número de la soldadura	Voltaje de aceleración (kV)	Corriente del haz (mA)	Velocidad de soldeo (mm/min)
W1	150	180	250
W2	150	220	250
W3	150	260	250
W4	150	170	150
W5	150	220	100
W6	150	270	100
W7	150	160	300

Tabla 4

10

Condiciones del nuevo soldeo

Número de la soldadura	Voltaje de aceleración (kV)	Corriente del haz (mA)	Velocidad de soldeo (mm/min)
E1	90	60	550
E2	90	60	500
E3	110	60	500
E4	90	60	1.800
E5	150	70	300

[TABLA 5]

Ensayo número	Acero	Espesor de la chapa t: (mm)	Hoja metálica	Presión de la cámara (Pa)	Condiciones del soldo	Condiciones de la nueva fusión		Ancho del metal de aportación (mm)			Relación de la nueva fusión $W_2/W_1$ ( $W_5/W_4$ )	Profundidad del segundo y tercer metal de aportación $D_1$ ( $D_2$ ) (mm)	Características de la junta soldada				Observaciones	
						Segundo haz de alta densidad de energía (Tercer haz de alta densidad de energía)	Condición	Oscilación	Después de soldar $W_1$ ( $W_4$ )	Después de la nueva fusión $W_2$ ( $W_5$ )			Porción $W_3$	Resistencia a la fatiga en dos millones de ciclos $F1$ : MPa	Relación de la pérdida de fatiga $F2/F1$ '	Resistencia a la fatiga en gigaciclos $F2$ : MPa		Valor Charpy a -40°C (J)
1	B1	50	F1	0.07	W1	E1	NO USADA	9.1	11.8	3.6	1.3	4.4	169	82%	139	293	EJEMPLO	
2	B1	50	F1	7	W1	E2	USADA	8.8	30.1	3.5	3.4	4.8	168	81%	136	256	EJEMPLO	
3	B1	50	F2	7	W1	E3	NO USADA	9.4	19.8	3.8	2.1	8.0	181	83%	151	302	EJEMPLO	
4	B1	50	F2	7	W2	E3	USADA	10.2	28.3	4.1	2.8	5.9	164	88%	145	236	EJEMPLO	
5	B3	50	NO USADA	7	W3	E2	USADA	13.1	17.1	5.2	1.3	4.5	166	84%	140	125	EJEMPLO	
6	B1	80	F1	0.07	W4	E1	NO USADA	8.8	11.6	3.5	1.3	4.1	159	77%	123	236	EJEMPLO	
7	B3	80	NO USADA	7	W4	E2	USADA	8.8	28.9	3.5	3.3	4.2	158	84%	132	168	EJEMPLO	
8	B1	100	F1	0.07	W5	E1	USADA	9.3	14.1	3.7	1.5	3.2	164	83%	136	229	EJEMPLO	
9	B2	100	F1	7	W5	E3	NO USADA	9.9	20.2	4.0	2.0	7.6	171	83%	142	189	EJEMPLO	
10	B1	100	F2	7	W6	E1	USADA	11.9	40.1	4.8	3.4	4.2	182	80%	146	287	EJEMPLO	
11	B2	30	F1	0.07	W7	E2	USADA	7.6	25.6	2.9	3.4	4.8	165	84%	138	187	EJEMPLO	
12	B2	30	NO USADA	0.07	W7	E2	NO USADA	8.2	18.1	3.3	2.2	5.6	171	79%	135	68	EJEMPLO	
13	B1	30	NO USADA	7	W7	E2	NO USADA	8.1	15.8	3.2	2.0	5.2	182	80%	146	163	EJEMPLO	
14	B1	50	NO USADA	0.07	W1	E3	USADA	8.9	28.6	3.6	3.2	5.5	187	80%	149	125	EJEMPLO	
15	B1	80	NO USADA	0.07	W4	E3	NO USADA	9.2	18.5	3.7	2.0	6.8	182	74%	135	171	EJEMPLO	
16	B3	100	F1	0.07	W5	E1	NO USADA	9.5	12.1	3.8	1.3	4.8	169	86%	146	345	EJEMPLO	
17	B3	100	NO USADA	7	W5	E1	NO USADA	9.9	12.3	4.0	1.2	4.2	181	89%	161	148	EJEMPLO	
18	B1	30	F1	7	W7	E1	USADA	8.3	15.2	3.3	1.8	4.1	156	83%	129	281	EJEMPLO	
19	B1	80	F1	0.07	W4	E3	NO USADA (NO USADA)	9.2	18.7	3.7	2.0	6.5	192	85%	164	241	EJEMPLO	
								(8.5)	(11.3)		(1.3)	(4.3)						
20	B2	50	F1	7	W3	E1	NO USADA	12.4	10.1	5.0	0.8	3.1	103	80%	82	169	EJEMPLO COMPARATIVO	
21	B3	50	NO USADA	0.07	W1	E2	USADA	8.6	37.6	3.4	4.4	4.7	152	81%	123	14	EJEMPLO COMPARATIVO	
22	B1	50	F1	0.07	W1		SIN NUEVA FUSION	9.1	-	3.6	-	-	82	83%	68	286	EJEMPLO COMPARATIVO	
23	B2	80	F2	7	W4	E1	NO USADA	9.9	11.2	4.0	1.1	3.3	101	88%	89	169	EJEMPLO COMPARATIVO	
24	B2	100	F1	7	W5	E3	USADA	9.8	35.5	3.9	3.6	6.1	153	65%	99	21	EJEMPLO COMPARATIVO	
25	B1	100	F1	7	W6	E1	NO USADA	11.7	11.1	4.7	0.9	3.6	110	79%	87	257	EJEMPLO COMPARATIVO	
26	B1	30	F2	0.07	W7	E4	USADA	8.2	28.2	3.3	3.4	1.0	95	85%	81	269	EJEMPLO COMPARATIVO	
27	B3	30	NO USADA	0.07	W7	E5	NO USADA	8.9	10.6	3.6	1.2	12.0	109	91%	99	11	EJEMPLO COMPARATIVO	
28	B1	30	NO USADA	7	W7	E1	NO USADA	10.2	13.2	4.9	1.3	4.5	145	85%	123	12	EJEMPLO COMPARATIVO	
29	B3	80	NO USADA	0.07	W4		SOLDADURA AL ARCO (TIG)	10.3	45.3	4.1	4.4	0.9	92	89%	82	158	EJEMPLO COMPARATIVO	

En la tabla 5, los ensayos números 1 a 19 son ejemplos de la invención y todos satisfacen los requisitos de la invención. En la tabla 5, las propiedades mecánicas, incluidas la resistencia de la junta a la fatiga y el valor Charpy del número de repeticiones de dos millones de veces ( $2 \times 10^6$  veces) y del gigaciclo ( $10^9$  veces) fueron todas buenas.

5 Además, el ensayo número 19 fue un ensayo de la invención en el que se formó un cordón de soldadura adicional (el segundo metal de aportación y el tercer metal de aportación) sobre las dos superficies, anterior y posterior, del material de acero. De esta manera, el primer metal de aportación se fundió adicionalmente sobre las dos superficies, anterior y posterior, del material de acero formando así el segundo metal de aportación y el tercer metal de aportación y, por lo tanto, las propiedades mecánicas, incluidas la resistencia de la junta a la fatiga y el valor del ensayo Charpy del número de repeticiones de dos millones de veces y del gigaciclo fueron todas buenas.

10 En los ensayos números 20, 21, 24 y 26, el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación fue pequeño y la fusión adicional de una porción de la punta del primer metal de aportación se realizó insuficientemente y, por lo tanto, el ángulo de contacto (véase la figura 3) de la porción del borde fue grande y se redujo significativamente la resistencia de la junta a la fatiga F2 en el tiempo del gigaciclo.

15 Mientras tanto, en los ensayos números 22 y 25, el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación fue suficientemente grande y se realizó suficientemente la fusión de la porción del borde del primer metal de aportación. Sin embargo, se produjo intensamente fragilidad de tejidos en las proximidades de la superficie de la chapa de acero por el segundo metal de aportación, por lo que se redujo significativamente el valor de la resiliencia Charpy.

20 En el ensayo número 22, no se formó el segundo metal de aportación. Sin embargo, al soldar, el ángulo de contacto de la porción del borde del primer metal de aportación fue grande y se redujo significativamente la resistencia de la junta a la fatiga en el tiempo del gigaciclo.

25 En el ensayo número 27, la profundidad  $D_1$  del segundo metal de aportación fue demasiado pequeña y, por lo tanto, se realizó insuficientemente la fusión de la porción del borde del primer metal de aportación. Como resultado, el ángulo de contacto de la porción del borde del primer metal de aportación no fue suave y se redujo el efecto de atenuar la concentración de la tensión. Debido a esto, se redujo significativamente la resistencia de la junta a la fatiga en el tiempo del gigaciclo.

30 Mientras tanto, en el ensayo número 28, la profundidad  $D_1$  del segundo metal de aportación fue alta y el ángulo de contacto en la porción del borde fue grande. Como resultado, se redujo significativamente la resistencia de la junta a la fatiga en el tiempo del gigaciclo. Además, se produjo intensamente fragilidad de tejidos en las proximidades de la superficie de la chapa de acero por el segundo metal de aportación, por lo que se redujo significativamente el valor de la resiliencia Charpy.

En el ensayo número 29, el ancho  $W_1$  y el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación fueron demasiado grandes en comparación con el espesor de la chapa de acero y, por lo tanto, se produjo intensamente fragilidad de tejidos sobre la superficie de la chapa de acero y en el interior de la chapa de acero, por lo que se redujo significativamente el valor de la resiliencia Charpy.

35 En el ensayo número 30, el segundo metal de aportación se formó mediante soldadura TIG. Sin embargo, el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación fue demasiado grande y se realizó suficientemente la fusión de la porción del borde del primer metal de aportación. Sin embargo, la profundidad  $D_1$  del segundo metal de aportación fue pequeña y, por lo tanto, el ángulo de contacto de la porción del borde del primer metal de aportación no fue pequeño y se redujo el efecto de atenuar la concentración de la tensión. Además, se produjo intensamente fragilidad de tejidos en las proximidades de la superficie de la chapa de acero por el segundo metal de aportación. Como resultado, se redujo significativamente la resistencia de la junta a la fatiga en el tiempo del gigaciclo.

45 La junta soldada de la invención tiene propiedades resistentes a la fatiga en el entorno de vibración del intervalo de gigaciclos y tiene suficiente tenacidad a la fractura y, por ello, puede ser aplicada a un miembro de la cimentación de la torre generadora de energía eólica en el mar, etc. Por esta razón, la invención tiene importante aplicabilidad industrial.

Lista de símbolos de referencia

- 1 chapa de acero
- 1A primera superficie
- 1B segunda superficie
- 50 2 primer metal de aportación
- 3A segundo metal de aportación
- 3B tercer metal de aportación

## ES 2 617 438 T3

	$D_1$	profundidad del segundo metal de aportación
	$D_2$	profundidad del tercer metal de aportación
	$W_1$	ancho del primer metal de aportación (sobre la primera superficie 1A)
	$W_2$	ancho del segundo metal de aportación (sobre la primera superficie 1A)
5	$W_3$	ancho del primer metal de aportación en el centro del espesor de la chapa de acero
	$W_4$	ancho del primer metal de aportación (sobre la segunda superficie 1B)
	$W_5$	ancho del tercer metal de aportación (sobre la segunda superficie 1B)
	21	chapa de acero
	22	cordón de soldadura
10	$\rho$	radio de curvatura de la porción del borde del cordón de soldadura
	$\Theta$	ángulo de contacto de la porción del borde del cordón de soldadura

**REIVINDICACIONES**

1. Una junta soldada a tope, que consiste en:

un par de chapas de acero (1),

5 un primer metal de aportación (2) que se forma en una porción soldable del par de chapas de acero (1), desde la cara de una primera superficie (1A) del par de chapas de acero (1) a la cara de una segunda superficie (1B) opuesta a la cara de la primera superficie (1A) por irradiación de un primer haz de alta densidad de energía desde la cara de la primera superficie (1A), y

10 un segundo metal de aportación (3A) que se forma por irradiación de un segundo haz de alta densidad de energía para cubrir una superficie del extremo de la cara de la primera superficie (1A) del primer metal de aportación (2),

y opcionalmente un tercer metal de aportación (3B) que se forma por un tercer haz de alta densidad de energía para cubrir una superficie del extremo de la cara de la segunda superficie (1B) del primer metal de aportación (2),

15 en el que el ancho  $W_1$  del primer metal de aportación (2) sobre la primera superficie (1A) y el ancho  $W_2$  del segundo metal de aportación (3A) sobre la primera superficie (1A) satisfacen la siguiente ecuación <1> y la profundidad ( $D_1$ ) desde la primera superficie (1A) del segundo metal de aportación (3A) es 2,0 a 10,0 mm.

en el que el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación (2) en el centro del espesor de la chapa de acero (1) es 15% o menos del espesor de la chapa de acero (1),

en el que el espesor de la chapa de acero (1) es 30 a 200 mm, y

20 en el que, cuando está presente el tercer metal de aportación, el ancho  $W_4$  del primer metal de aportación (2) sobre la segunda superficie (1B) y el ancho  $W_5$  del tercer metal de aportación (3B) sobre la segunda superficie (1B) de la chapa de acero (1) satisfacen la siguiente ecuación <2>, y la profundidad ( $D_2$ ) desde la segunda superficie (1B) del tercer metal de aportación (3B) es 2,0 a 10,0 mm.

$$1,2 \leq W_2/W_1 \leq 3,5 \qquad <1>$$

$$1,2 \leq W_5/W_4 \leq 3,5 \qquad <2>$$

25 2. La junta soldada a tope de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el límite elástico de la chapa de acero (1) es 355 MPa o mayor.

3. La junta soldada a tope de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que la junta soldada a tope se usa en una estructura o columna tubular de acero que constituye una porción de la cimentación de una torre generadora de energía eólica.

30 4. Un método de fabricación de una junta soldada a tope, que consiste en:

irradiar una porción soldable de un par de chapas de acero (1) con un primer haz de alta densidad de energía para formar un primer metal de aportación (2) con un ancho  $W_1$  sobre una primera superficie (1A) que está en una cara de irradiación del primer haz de alta densidad de energía del par de chapas de acero (1), e

35 Irradiar el primer metal de aportación (2) con un segundo haz de alta densidad de energía que tiene una densidad de energía menor que la del primer haz de alta densidad de energía, para formar un segundo metal de aportación (3A) con un ancho  $W_2$  sobre la primera superficie (1A) de la chapa de acero (1),

40 y opcionalmente irradiar el primer metal de aportación (2) sobre una segunda superficie (1B) opuesta a la primera superficie (1A) con un tercer haz de alta densidad de energía que tiene una densidad de energía menor que la del primer haz de alta densidad de energía, para formar un tercer metal de aportación (3B) con un ancho  $W_5$  sobre la segunda superficie (1B),

en el que el ancho  $W_1$  y el ancho  $W_2$  satisfacen la siguiente ecuación <1>, y la profundidad ( $D_1$ ) desde la primera superficie (1A) del segundo metal de aportación (3A) es 2,0 a 10,0 mm,

en el que el ancho  $W_3$  del primer metal de aportación (2) en el centro del espesor de la chapa de acero (1) es 15% o menos del espesor de la chapa de acero (1),

45 en el que se usa la chapa de acero (1) con un espesor de 30 a 200 mm,

en el que el primer metal de aportación (2) se vuelve a fundir para formar el segundo metal de aportación (3A), y

en el que, cuando está presente el tercer metal de aportación (3B), el ancho  $W_4$  del primer metal de aportación (2) sobre la segunda superficie (1B) y el ancho  $W_5$  del tercer metal de aportación (3B) sobre la segunda

superficie (1B) de la chapa de acero (1) satisfacen la siguiente ecuación <2>, y la profundidad (D<sub>2</sub>) desde la segunda superficie (1B) del tercer metal de aportación (3B) es 2,0 a 10,0 mm.

$$1,2 \leq W_2/W_1 \leq 3,5 \quad <1>$$

$$1,2 \leq W_5/W_4 \leq 3,5 \quad <2>$$

- 5 5. El método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 4, en el que tanto el primer haz de alta densidad de energía como el segundo haz de alta densidad de energía son haces de electrones.
6. El método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 4 o 5, en el que tanto la irradiación del primer haz de alta densidad de energía como la irradiación del segundo haz de alta densidad de energía se realizan fijando sólo una región de formación de una porción soldable del par de chapas de acero (1) y estando bajo vacío las proximidades de la región.
- 10 7. El método de fabricación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en el que, como chapa de acero (1), se usa una chapa de acero que tiene un límite elástico de 355 MPa o mayor.

FIG. 1A

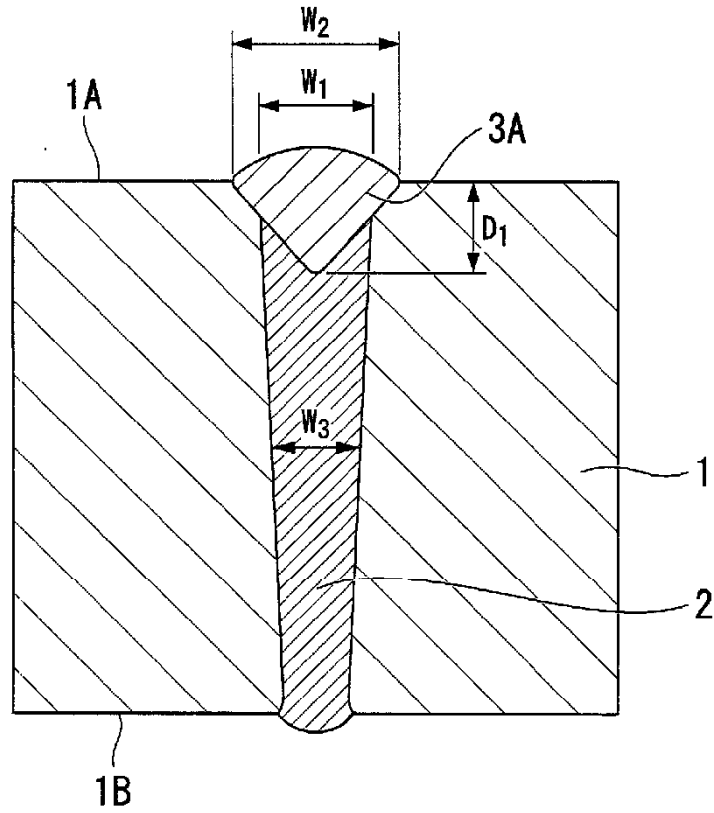


FIG. 1B

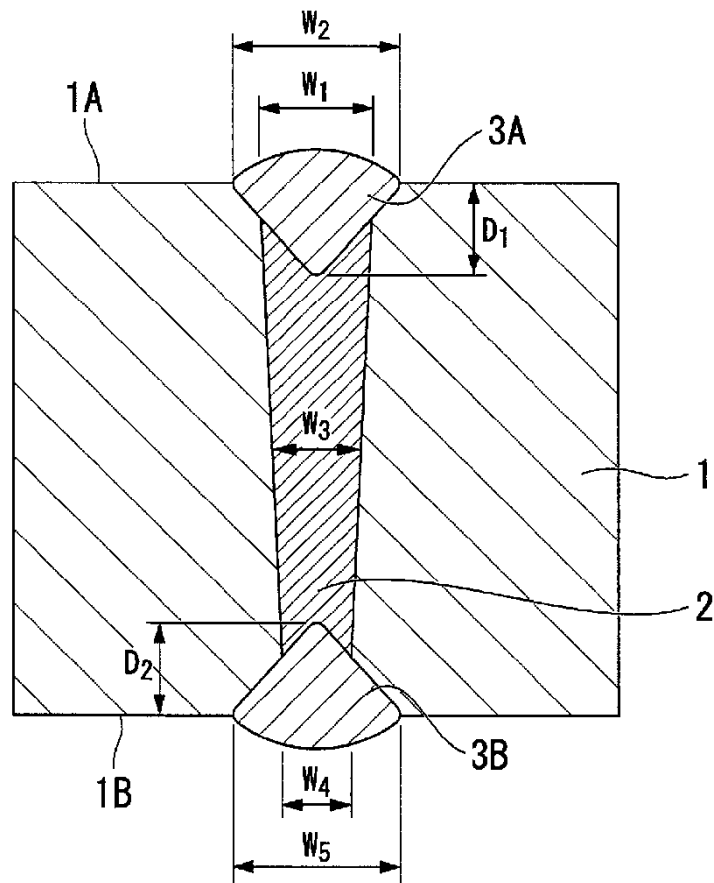


FIG. 2

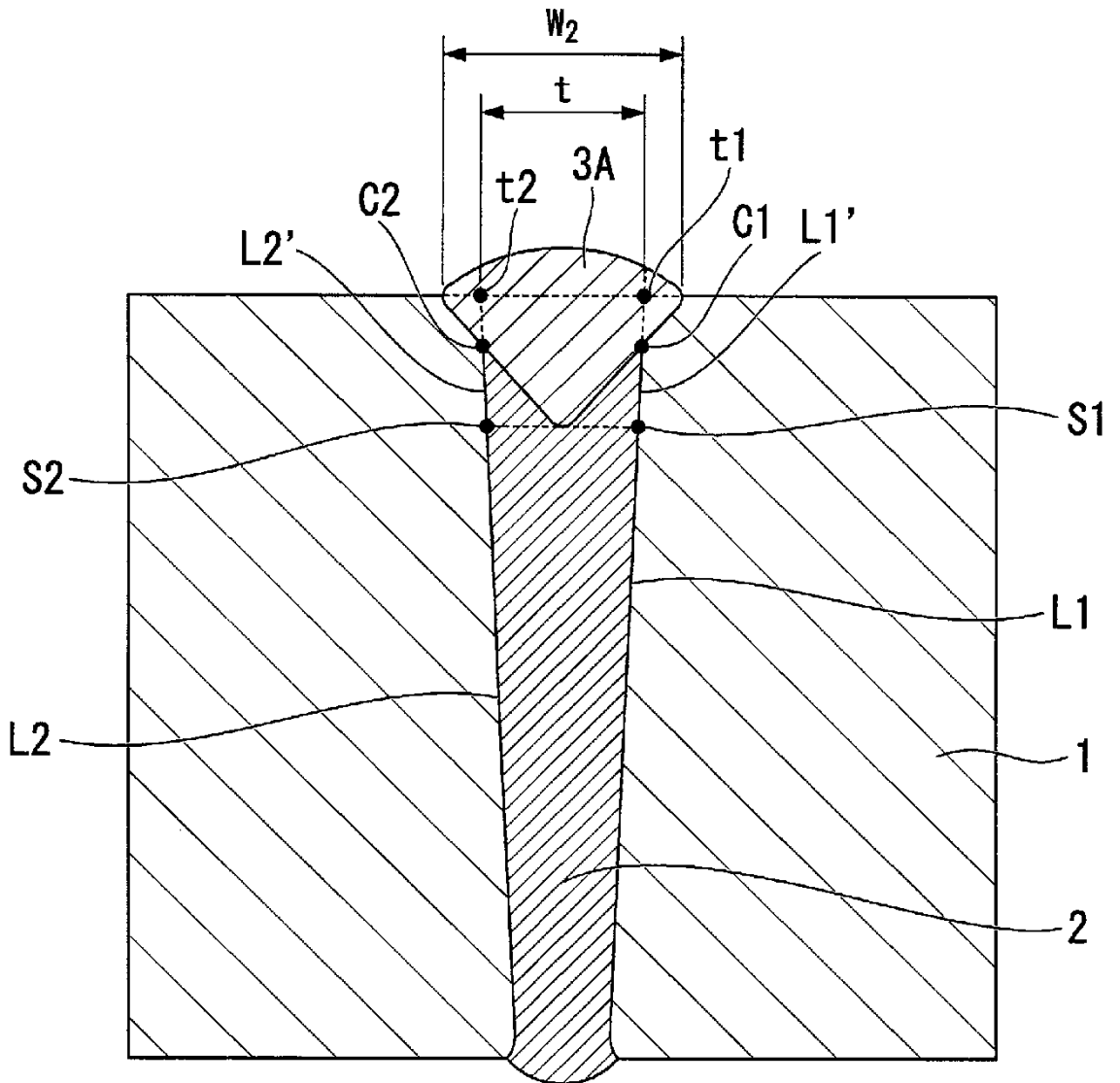




FIG. 3A

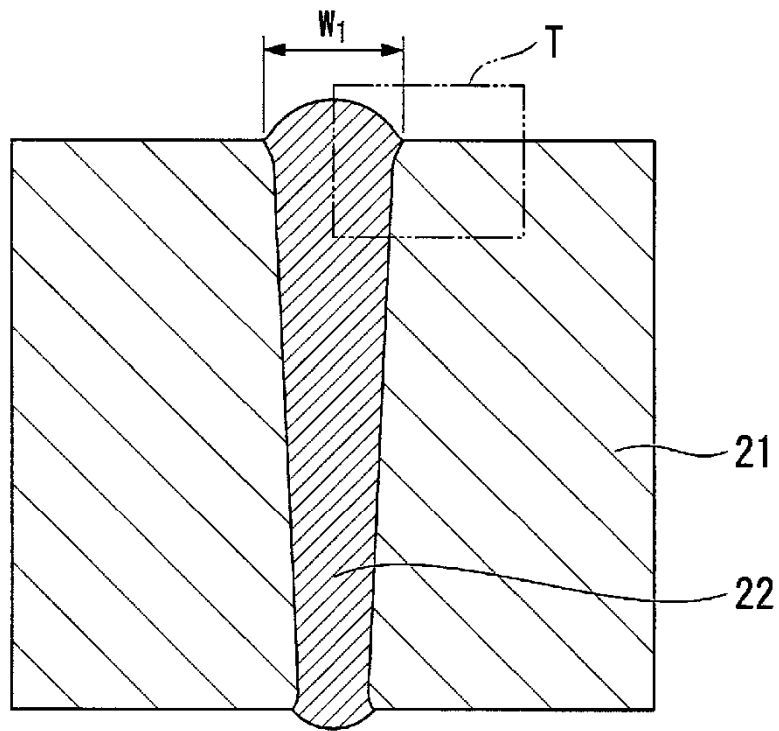


FIG. 3B

