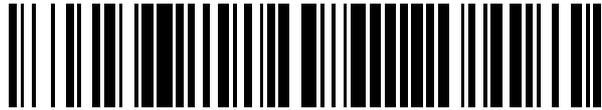


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 442 867**

51 Int. Cl.:

B23K 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2007 E 07707042 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2013 EP 2070631**

54 Título: **Junta soldada mediante haz de electrones con excelente resistencia a la fractura frágil**

30 Prioridad:

02.10.2006 JP 2006270967

02.10.2006 JP 2006271044

02.10.2006 JP 2006271074

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

14.02.2014

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;
KOJIMA, AKIHIKO;
YOSHIDA, YUZURU y
TANAKA, YOUICHI

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 442 867 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 mediante haz de electrones con excelente resistencia a la fractura frágil

La presente invención se refiere a una junta soldada mediante haz de electrones, con excelente resistencia a la fractura frágil de la estructura soldada, en particular, realizando una soldadura a tope de chapas de acero de un espesor de chapa superior a 50 mm.

Hay en la sociedad una necesidad muy acusada de librarse de la dependencia de la energía procedente del petróleo y de otros combustibles fósiles, y utilizar fuentes de energía natural sostenibles. Por lo tanto, se están extendiendo por todo el mundo sistemas de gran tamaño para la generación de energía eólica.

Las regiones más adecuadas para la generación de energía eólica son regiones en las que se pueden esperar fuertes vientos de manera continua. También se está llevando a cabo la generación de energía eólica en mar abierto a escala global. Para la construcción de torres de energía eólica en mar abierto, las partes de la base de las torres deben estar enclavadas en el fondo del lecho marino. Para conseguir que las aspas de las turbinas de las torres de energía eólica estén a una altura segura suficiente respecto a la superficie del agua, las partes de la base tienen que tener longitudes suficientes.

Por esta razón, las partes de la base de las torres de energía eólica son estructuras tubulares que tienen espesores de chapa de aproximadamente 100 mm y grandes secciones transversales, de aproximadamente 4 m de diámetro. Las alturas globales de las torres alcanzan alturas de 80 m o más. Por lo tanto, se está contemplando el montaje de semejantes estructuras gigantes, de manera simple y eficaz, mediante soldadura a la orilla del mar, cerca de los lugares de construcción.

Por lo tanto, en el sentido anterior, ha surgido una necesidad nunca vista anteriormente de soldar *in situ*, con una alta eficacia, chapas de acero extremadamente gruesas, de espesores de chapa de 100 mm.

En general, el método de soldadura por haz de electrones es un método que hace posible una soldadura eficaz mediante un haz de alta energía y alta densidad, pero es necesario realizar la soldadura en una cámara a vacío mientras que se mantiene un estado de alto vacío de manera que, en el pasado, el tamaño de la chapa de acero que se podía soldar estaba limitado.

A diferencia de esto, en los últimos años, el Welding Institute of Great Britain (Instituto de Soldadura de Gran Bretaña) ha desarrollado y ha propuesto una soldadura por haz de electrones a presión reducida (RPEBW) como método de soldadura que haga posible, de manera eficaz, la soldadura *in situ* de una chapa extremadamente gruesa, de un espesor de aproximadamente 100 mm, (véase el documento WO99/16101).

Usando este método RPEBW, incluso cuando se sueldan estructuras de gran tamaño como las torres de energía eólica, es de esperar que llegue a ser posible reducir localmente, y de forma eficaz, la presión de la soldadura justamente en las partes que se van a soldar.

Sin embargo, por otro lado, con este método RPEBW, la soldadura se realiza en un estado de grado de vacío reducido en comparación con el método de soldadura en una cámara a vacío, de manera que ha surgido la nueva cuestión de que llega a ser difícil asegurar la tenacidad de la parte del metal fundido, que se fundió mediante el haz de electrones, y que luego se solidificó (de aquí en adelante denominada "metal de soldadura").

Para ocuparse, en el pasado, de semejante problema se conoce por el documento JP-A-3-248783, etc., el revestimiento de las superficies de soldadura con láminas de Ni u otro inserto metálico y la realización posterior de la soldadura por haz de electrones, con el fin de hacer que el contenido de Ni del metal de soldadura sea del 0,1 al 4,5% y mejorar el valor del impacto Charpy y otros valores de la tenacidad del metal de soldadura.

Sin embargo, al usar el método RPEBW para soldar, el Ni y otros elementos del inserto metálico no se dispersarán, con este método, de manera uniforme hacia la zona afectada por el calor. Es decir, aumentará la diferencia de dureza entre el metal de soldadura y la zona afectada por el calor (de aquí en adelante denominada "HAZ"; del inglés: heat affected zone). Por lo tanto, por el contrario, surge el problema de una gran variación en la tenacidad de la HAZ.

En general, como un indicador para la evaluación cuantitativa de la seguridad de una estructura soldada, se conoce el valor δ_c de la tenacidad a la fractura, basado en la dinámica de fractura, hallado mediante el ensayo CTOD. Una junta soldada, obtenida mediante soldadura por el método RPEBW convencional, tiene una gran variación de la tenacidad en la zona afectada por el calor, de manera que es difícil asegurar un valor δ_c de la tenacidad a la fractura.

Por otro lado, para asegurar el valor K_c de tenacidad a la fractura en una junta soldada con electrogás, o soldada con otro gran aporte de calor, en el documento JP-A-2005-144552 se describe el método de controlar la relación de durezas del metal de soldadura y del material base al 110% o menos, para mejorar el K_c de la tenacidad a la fractura del límite (de aquí en adelante denominado "FL") entre el metal de soldadura y el material base.

5 Sin embargo, el asegurar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la junta soldada por haz de electrones requiere que tanto el FL y el metal de soldadura tengan un valor δ_c satisfactorio de la tenacidad a la fractura. Si, de la misma manera que en la junta soldada con gran aporte de calor, la dureza del material base se reduce al 110% o menos, surgirá el problema de que no será capaz de asegurar el valor de la tenacidad a la rotura del metal de soldadura en la junta soldada por haz de electrones.

10 Además, el método de soldadura por haz de electrones es un método de uso de la energía de un haz de electrones para fundir una vez, resolidificar, y soldar entonces el material base de la zona de soldadura. Es difícil controlar la dureza del metal de soldadura, el valor δ_c de la tenacidad a la fractura, y otras características mediante el alambre de soldadura etc., tan fácilmente como con la soldadura por electrogás u otra soldadura por arco con gran aporte de calor.

El documento JP-A-2002-003984 describe una estructura que tiene una junta soldada por láser o por haz de electrones, excelente en la resistencia a la fatiga, y su método de fabricación, que se aplica a una chapa que tiene un espesor de 10 a 50 mm, conteniendo el metal base, en % en masa:

15 C: 0,005 a 0,15%
Si: 0,01 a 0,8%
Mn: 0,2 a 2,0%
Al: 0,001 a 0,2%
N. 0,002% o menos
20 P: 0,01% o menos
S: 0,01% o menos.

El documento EP-A-0867520 describe una estructura soldada, de acero de alta resistencia, que tiene una resistencia a la tracción de no menos de 900 MPa y con excelente tenacidad a baja temperatura, en el que se usa un procedimiento de soldadura por arco sumergido.

25 En consideración a la anterior técnica antes descrita, la presente invención tiene como objeto la provisión de un medio para mejorar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura tanto del metal de soldadura en la junta soldada mediante haz de electrones, como del límite (FL) entre el metal de soldadura, en el que la tensión local aumenta en particular, y la zona afectada por el calor, y mejorar de forma estable la tenacidad a la fractura de junta soldada.

30 Los inventores investigaron las propiedades mecánicas del material base y de la junta soldada para conseguir este objeto. Como resultado, descubrieron que debido a la presencia del inserto metálico, usado para mejorar la tenacidad del metal de soldadura, se elevó la resistencia y la dureza del metal de soldadura y llegaron a ser notablemente más altas que incluso la resistencia o la dureza del material base, de manera que la tensión local aumentó cerca del límite con la zona afectada por el calor (HAZ) en contacto con el metal de soldadura y, por lo tanto, el valor δ_c de la tenacidad a la fractura del FL cayó.

35 Además, basándose en este descubrimiento, los inventores hicieron la presente invención como una nueva tecnología de diseño de juntas, dando lugar a una junta soldada capaz de evitar la caída de la tenacidad en la junta por un emparejamiento descompensado, y capaz de asegurar una excelente tenacidad estable en la soldadura, por haz de electrones, de chapas gruesas de acero de alta resistencia que tienen un límite elástico del orden de 355 MPa o más, y un espesor de chapa superior a 50 mm (preferiblemente de 50 mm a 100 mm, más o menos).

El objeto anterior se puede conseguir mediante las características especificadas en la reivindicación.

40 Según la presente invención, es posible formar una junta soldada con un valor δ_c de la tenacidad a la fractura suficientemente alto al soldar chapas de acero de alta resistencia que tienen un límite elástico del orden de 355 MPa y un espesor de chapa superior a 50 mm.

Además, incluso en el caso de no usar un inserto metálico, es posible conseguir de manera fiable el objeto de la presente invención según el contenido de Ni del material base.

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

La Figura 1 es una vista que muestra el efecto de la dureza del metal de soldadura (WM) y el material base sobre los valores δ_c del metal de soldadura y la HAZ – FL,

50 la Figura 2 es una vista que muestra los efectos de la relación de durezas del metal de soldadura y del material base y el tamaño de grano \square sobre la relación de los valores de la anchura del ablandamiento de la HAZ y del CTOD de la HAZ – FL,

la Figura 3 es una vista que muestra un ejemplo de los resultados del análisis mediante el FEM (método de elementos finitos en 3D) de la distribución de las tensiones que abren las grietas en diferentes posiciones separadas de la punta de la muesca, en la dirección de propagación de la grieta, cuando al proporcionar muescas en el límite (FL) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor (HAZ), y en la zona afectada por el calor (HAZ) en

las muestras de ensayo que tienen un espesor de chapa de 70 mm y el CTOD (desplazamiento de la abertura en la punta de la grieta) en las puntas de las muescas, llega a ser de 0,05 mm,

la Figura 4 es una vista que muestra los resultados de los ensayos CTOD al soldar mediante el método RPEBW con inserción de una hoja de Ni en las partes que se unen a tope y sin inserción,

5 la Figura 5 es una vista de los cambios de dureza en una junta soldada en un caso similar a la Figura 1,

la Figura 6 es una vista que muestra la relación entre el valor de la tenacidad a la fractura del metal de soldadura y el número de óxidos que tienen un tamaño de grano de 2,0 μm o más,

10 la Figura 7 es una vista que muestra la relación entre la cantidad de Ni del metal de soldadura, la diferencia entre cantidad de Ni del metal de soldadura y la de la chapa de acero de material base, y el valor δ_c de la tenacidad a la fractura, y

la Figura 8 es una vista que muestra los efectos del contenido de Ni en el metal de soldadura sobre el valor δ_c de la tenacidad a la fractura del metal de soldadura y el FL, HAZ.

15 En una junta soldada por haz de electrones en general, es difícil asegurar la tenacidad a la fractura δ_c en el metal de soldadura formado por fusión y resolidificación de parte del material base. Por esta razón, en el pasado, se conocía el método de insertar una hoja de níquel u otro inserto metálico en la parte de la ranura de soldadura al tiempo de la realización de la soldadura por haz de electrones para mejorar la templabilidad del metal de soldadura y usar este efecto sinérgico para asegurar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura.

20 Sin embargo, los inventores descubrieron que con este método, el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la zona afectada por el calor en la junta soldada por haz de electrones, en particular en el límite (FL) entre el metal de soldadura y la zona afectada por el calor, cae enormemente y el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la junta soldada por haz de electrones no puede estar suficientemente asegurado.

25 Por lo tanto, los inventores prepararon chapas de acero que tenían límites elásticos por haz de electrones del orden de 460 MPa, insertaron en las ranuras de soldadura un inserto metálico que tenía un contenido de Ni del 4%, las soldaron mediante soldadura por haz de electrones, y mediante los ensayos CTOD midieron y evaluaron el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de las juntas soldadas obtenidas.

Como resultado de los ensayos CTOD de las juntas soldadas, se supo que el metal de soldadura exhibía valores δ_c de la tenacidad a la fractura suficientemente altos, de 0,2 mm o más, pero el límite (FL) entre el metal de soldadura y la HAZ exhibían valores δ_c de la tenacidad a la fractura con valores extremadamente bajos de 0,02 mm o menos.

30 A continuación, los inventores investigaron con detalle los puntos en los que suceden las fracturas de las juntas soldadas en los ensayos CTOD. Como resultado, descubrieron que

(i) las fracturas se produjeron en el límite (línea de fusión [FL]) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor (HAZ) y,

como resultado del análisis mediante el método de elementos finitos en 3D de la distribución de la tensión local que forma la fuerza directriz de las fracturas en los ensayos CTOD de las juntas soldadas, que

35 (ii) la tensión local de la FL está notablemente influenciada por la dureza del metal de soldadura colindante (MW).

40 La Figura 3 muestra un ejemplo de los resultados del análisis mediante el FEM (método de elementos finitos en 3D) de la distribución de las tensiones que abren la grieta en diferentes posiciones separadas de la punta de la muesca en la dirección de propagación de la grieta cuando se proporcionan muescas en el límite (FL) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor (HAZ), y en la zona afectada por el calor (HAZ) en las muestras de ensayo que tienen un espesor de chapa de 70 mm y el CTOD (desplazamiento de la abertura de la punta de la grieta) en las puntas de las muescas llega a ser de 0,05 mm.

45 A partir de este dibujo, se sabe que (iii) si se hace el espesor de chapa entre más de 50 mm y aproximadamente 70 mm, el grado de ligadura en la dirección del espesor de chapa (fuerza de ligadura) aumenta notablemente, y si la resistencia del metal de soldadura (WM) es superior a la resistencia del material base (BM) o de la zona afectada por el calor (HAZ) (caso de WM-H), la tensión local aumenta notablemente en el límite (FL) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor (HAZ) (en la figura, véase \square [WM-H] y \blacksquare [WM-L]).

50 Por otro lado, incluso si la resistencia del metal de soldadura (WM) es superior a la resistencia del metal base (BM) o de la zona afectada por el calor (HAZ) (caso de WM-H), la tensión local no aumenta en la zona afectada por el calor (HAZ) sino que llega a ser sustancialmente la misma que en el caso de de baja resistencia del metal de soldadura (WM) (caso de WM-L).

A partir de esto, se cree que la razón de por qué el valor δ_c cae es porque la tensión local aumenta en el límite (FL) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor cuando la resistencia del metal de soldadura (MW) es superior a la resistencia del material base (BM) o de la zona afectada por el calor (HAZ) (caso de WM-H).

Es decir, como resultado del análisis anterior, los inventores descubrieron que (iv) para suprimir un aumento notable de la tensión local en el límite (FL) del metal de soldadura (WM) y la zona afectada por el calor (HAZ) y elevar el valor δ_c , es necesario hacer la resistencia del metal de soldadura (WM) tan baja como sea posible.

5 Sin embargo, los inventores descubrieron que si se reduce la dureza del metal de soldadura, no es posible asegurar la templabilidad del metal de soldadura (WM), de manera que se formar ferritas de grano grueso y, como resultado, cae el valor del CTOD.

10 Por lo tanto, basándose en los anteriores resultados del análisis, los inventores cambiaron la dureza del metal de soldadura [Hv(WM)] de diversas maneras, midieron el valor δ_c de CTOD del FL, y representaron gráficamente el valor δ_c frente a la “dureza del metal de soldadura [Hv(WM)]/dureza de material base [Hv(BM)]” y, como resultado, como se muestra por “●” en la Figura 1, descubrieron que si se restringía la dureza del metal de soldadura al 220% o menos de la dureza del material base [Hv(BM)], es posible evitar la caída del valor δ_c de la tenacidad a la fractura debido al aumento de la tensión local.

15 Entonces, cuanto más alto es del valor δ_c mejor, pero en las normas de Det Norske Veritas (DNV) etc., se requiere un valor de aproximadamente 0,1 a 0,2 mm a la temperatura de diseño. Basándose en esto, en la presente invención, el valor δ_c perseguido se hizo de 0,15 mm o más.

Hay que indicar que en la junta soldada por haz de electrones obtenida mediante el método convencional, fue difícil asegurar de manera estable un valor δ_c de la tenacidad a fractura a -20°C de 0,15 mm o más.

20 De esta manera, haciendo la dureza del metal de soldadura [Hv(WM)] inferior a la dureza del material base [Hv(BM)], el δ_c del FL mejora, pero si se reduce excesivamente la dureza del metal de soldadura [Hv(WM)], el valor δ_c del metal de soldadura cae y, como resultado, no es posible asegurar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la junta soldada mediante haz de electrones.

Los inventores estudiaron esto y, como resultado, descubrieron que, como se muestra mediante las marcas O de la Figura 1, si se asegura una dureza del metal de soldadura [Hv(WM)] del 110% o más de la dureza del metal base [Hv(BM)], es posible asegurar el valor de CTOD requerido en el metal de soldadura.

25 Los efectos de la relación de las durezas del metal de soldadura y el material base, y el tamaño de grano \square sobre la relación entre la anchura del ablandamiento de la HAZ y el valor de CTOD del FL, se muestran en la Figura 2. Cuanto más amplia es la anchura de la HAZ, más tiende a mejorar el valor de CTOD del FL. Esto es debido a que el ablandamiento de la HAZ origina el efecto de que sea más fácil emparejar las resistencias. La anchura de la HAZ es, preferiblemente, 3 mm o más.

30 Además, los inventores descubrieron que la distribución, donde no se produce tensión local en la línea de fusión (FL) que está en contacto con el metal de soldadura, está gobernada por la dureza del metal de soldadura, pero cuando la “región ablandada” en la región de la HAZ que está en contacto con la FL es grande, la tensión local de la FL tiende a producirse fácilmente.

35 Según los resultados de los experimentos mostrados en la Figura 2, cuanto más amplia es la anchura de la HAZ, más fácilmente se observa este fenómeno. Si es de 3 mm o más, esto se hace particularmente notable, de manera que la anchura del ablandamiento de la HAZ se hace preferiblemente de 3 mm o más.

40 Cuanto más baja es la dureza de la HAZ, comparada con la dureza del material base, más se reduce en principio la tensión local del FL, pero según los hallazgos experimentales de los inventores, se observó claramente el efecto de la reducción de la tensión local del FL cuando la dureza de la HAZ se hizo inferior en un 5% o más, a la dureza del material base.

Por esta razón, es preferible hacer la anchura de la región de la zona afectada por el calor, ablandada hasta una dureza del 95% o menos, de la dureza del material base no afectado por el calor, de 3 mm o más.

45 Además, si la anchura de la región de la zona afectada por el calor llega a ser de 10 mm o más, es fácil que la deformación se concentre en la parte ablandada, por eso es preferible que sea de 10 mm o menos, desde el punto de vista de asegurar la resistencia de la junta o la resistencia a la fatiga.

Para asegurar en la junta soldada el valor δ_c predeterminado del CTOD, es crítico que se impida el aumento la tensión local en la parte más frágil de la junta soldada, es decir, en la línea de fusión (FL), como se explicó anteriormente, pero al mismo tiempo, es importante mejorar la resistencia a la fractura frágil microscópica cerca de la FL.

50 Los inventores investigaron y estudiaron el mecanismo del hecho de la fractura frágil cerca del FL y, como resultado, descubrieron que la ferrita pro-eutectoide formada alrededor de la austenita previa, y la bainita superior y las placas laterales de ferrita, etc, formadas en listones en el interior de la austenita previa, se convirtieron en los puntos de partida de la fractura.

La unidad de fractura, cuando esta ferrita o bainita superior produce fractura por escisión, depende del tamaño de grano de la fase austenítica, así los inventores descubrieron que manteniendo pequeño el tamaño de grano de la austenita previa, es posible mantener pequeñas las dimensiones de la bainita superior y la ferrita, y mejorar la resistencia a la fractura frágil.

- 5 Además, como resultado de los estudios de los inventores, si la dureza del metal de soldadura [Hv(WM)]/dureza del material base [Hv(BM)] se aproxima al 220% prescrito en la presente invención, ya no se puede ignorar la caída del valor δ_c de la tenacidad a la fractura debida al emparejamiento de la resistencia del metal de soldadura y de la HAZ, ni los efectos de la estructura.

- 10 Por lo tanto, para asegurar de forma estable el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la junta, incluso bajo tales condiciones, es preferible hacer que el tamaño de grano de la austenita previa de la zona afectada por el calor (HAZ) que está en contacto con la línea de fusión (FL), sea de 100 μm o menos, y suprimir el engrosamiento del tamaño de grano de la austenita previa (véase la Figura 2).

- 15 Además, si la región irradiada por el haz de electrones, en el momento de la soldadura por haz de electrones, se hace mayor, la cantidad de aporte de calor dado a la chapa de acero llegará a ser excesiva, y la estructura de la FL acabará haciéndose más gruesa. Esto no es deseable al asegurar establemente el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la FL.

Además, al usar el método RPEBW para producir una junta soldada por haz de electrones, la anchura del metal de soldadura tiende a aumentar en comparación con una junta soldada producida en una cámara de vacío, en un estado de alto vacío, mediante soldadura por haz de electrones (EBW).

- 20 Por esta razón, en la presente invención, para asegurar de una manera estable el valor δ_c de la tenacidad a la fractura de la junta soldada mediante haz de electrones, incluso al usar el método RPEBW, la anchura del metal de soldadura se hace un 20% o menos del espesor de la chapa del material base.

- 25 La chapa de acero de alta resistencia de la estructura soldada usada en la presente invención, se puede producir a partir de acero para estructuras soldadas de composiciones de ingredientes conocidas. Por ejemplo, acero basado en acero que contiene, en % en masa, C: 0,02 a 0,20%, Si: 0,01 a 1,0%, Mn: 0,3 a 2,0%, Al: 0,001 a 0,20%, N: 0,02% o menos, P: 0,01% o menos, y S: 0,01% o menos, y el resto Fe y las inevitables impurezas, y que contiene además, con el fin de mejorar la resistencia del material base o la tenacidad de la junta, etc, u otras propiedades requeridas, preferiblemente uno o más de Ni, Cr, Mo, Cu, W, Co, V, Nb, Ti, Zr, Ta, Hf, metales de las tierras raras, Y, Ca, Mg, Te, Se, y B.

- 30 El espesor de chapa de acero no está particularmente limitado, pero los problemas anteriores afloran en la chapa de acero de alta resistencia que tiene un espesor de chapa de más de 50 mm.

- 35 Para mantener la relación de la dureza del metal de soldadura y la dureza del material base en el intervalo de la presente invención, es necesario evitar, tanto como sea posible, que se forme ferrita gruesa en el metal de soldadura. Con este fin, se usa o no se usa un inserto metálico, y los componentes químicos se ajustan según la templabilidad del material base y del espesor de la chapa.

Cuando se usa un inserto metálico, se usa una aleación de Ni o una aleación de Fe que contenga Ni, pero la invención no está limitada a ninguna composición específica de ingredientes. Ésta se selecciona según la composición de los ingredientes del material base.

- 40 La soldadura por haz de electrones se realiza, por ejemplo en el caso de un espesor de chapa de 80 mm, bajo las condiciones de un voltaje de 175 V, una intensidad de corriente de 120 mA, y una velocidad de soldadura de 125 mm/minuto, más o menos, Normalmente, la soldadura se realiza bajo un alto vacío de 10^{-4} kPa (10^{-3} mbar) o menos, pero incluso una junta soldada bajo alto vacío, capaz de obtenerse incluso mediante una instalación sencilla, por ejemplo con un vacío de 0,1 kPa (1 mbar), más o menos, está dentro del alcance de la presente invención.

- 45 A continuación, los inventores estudiaron las condiciones para obtener de forma más estable un excelente valor δ_c de la tenacidad a la fractura bajo condiciones de dureza del metal de soldadura de más del 110% al 220% de la dureza del material base cuando se usa y cuando no se usa un inserto metálico.

(A) Caso de no usar inserto metálico (Presente invención)

- 50 Cuando no se usa un inserto metálico, parte del material base funde y se resolidifica para formar el metal de soldadura, definiendo así de manera precisa la relación de dureza del metal de soldadura y del metal base, surge un límite en lo que se refiere al valor δ_c de la tenacidad a la fractura que se puede asegurar en el metal de soldadura.

En el pasado, como medio para mejorar la tenacidad de una junta soldada con haz de electrones sin usar un inserto metálico, se conocía la técnica propuesta en los documentos JP-A-62-64486 y JP-A-2003-201535.

Esta técnica origina la formación de un gran número de finas inclusiones no metálicas basada en óxidos en el proceso de enfriamiento posterior a la soldadura, utiliza estas inclusiones como los núcleos para la transformación, cuando la austenita se transforma en ferrita, y forma una microestructura que contiene una gran cantidad de ferrita acicular fina que exhibe una excelente tenacidad, para obtener por ello un metal de soldadura superior en tenacidad.

5 Por lo tanto, desde el punto de vista de impedir una caída de la tenacidad de la junta debida al emparejamiento descompensado de la dureza del material base y del metal de soldadura, los inventores trabajaron para desarrollar más la técnica, descrita en las anteriores publicaciones de patentes, de utilizar óxidos finos para mejorar la microestructura del metal de soldadura, y estudiaron la técnica para obtener una junta soldada capaz de mejorar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura tanto del metal de soldadura como del FL, y ser capaz de asegurar de forma estable la tenacidad a la fractura de la junta soldada cuando no se usa un inserto metálico.

10 Además, en el proceso, descubrieron que cuando el metal de soldadura incluye al menos una cierta frecuencia de inclusiones de un tamaño específico, el valor δ_c de la tenacidad a la fractura fluctúa. Es decir, investigaron con detalle los puntos en donde se producían las fracturas en los ensayos CTOD de las juntas, soldadas por haz de electrones, formadas usando chapas de acero a las que se añadió Ti para hacer óxidos finos dispersos en ellas y, como resultado, descubrieron que las fracturas en los ensayos CTOD comenzaron a partir de los óxidos de un cierto tamaño o más, y que reduciendo la frecuencia de la presencia de tales óxidos, es posible reducir las fluctuaciones en el valor δ_c de la tenacidad a la fractura en los ensayos CTOD.

A continuación, se explicarán los experimentos mediante los cuales se obtuvieron los descubrimientos anteriores.

20 Los inventores hicieron chapas de acero de 70 mm de espesor, que contenían, C: 0,04%, Mn: 1,8%, S: 0,003%, Al: 0,006%, y Ti: 0,02%, unidas a tope unas con otras y, en primer lugar, para investigar las diferencias en las juntas de soldadura debidas a la presencia o ausencia de un inserto metálico, las soldaron mediante el método RPEBW, aunque por un lado, (a) insertando una hoja de Ni en las partes unidas a tope y, por otro lado (b) sin insertar allí ninguna hoja metálica.

25 Después de la soldadura, tomaron muestras de ensayo de las juntas soldadas en dos posiciones, a 1/4 y 3/4 del espesor, en la dirección del espesor de las chapas de acero, hicieron muescas en el metal de soldadura (WM) y en el límite (FL) del metal de soldadura y el material base y la HAZ, y realizaron ensayos CTOD e investigaron los cambios en la dureza de las juntas soldadas.

Los resultados de los ensayos CTOD se muestran en la Figura 4, mientras que los cambios en la dureza de las juntas soldadas se muestran en la Figura 5.

30 En el caso de (a) cuando se inserta una hoja de Ni en las partes que se unen a tope, la dureza del metal de soldadura era alta y el cayó valor δ_c de la tenacidad a la fractura en el FL, mientras que en el caso (b) cuando no se insertaba una hoja de Ni, la dureza del metal de soldadura era baja y se facilitó el grado de emparejamiento descompensado de la dureza, el valor de la tenacidad a la fractura en el FL fue un valor del mismo orden que el del metal de soldadura, y el valor δ_c de la tenacidad a la fractura del metal de soldadura era también de un orden algo inferior al del caso de la inserción de la hoja de Ni.

A continuación, los inventores investigaron los estados de la dispersión de los óxidos del metal de soldadura en los casos (a) y (b).

40 En el caso de (b), había 400/mm² óxidos de Ti de un tamaño de grano de 0,1 μ m a menos de 2,0 μ m. Estos óxidos de Ti finos estaban uniformemente dispersos en el metal de soldadura. Había 2/mm² de un tamaño de grano de 2 μ m o más, es decir, el número era más pequeño.

Por otro lado, en el caso de (a) también, el estado de dispersión de los óxidos era similar al caso de (b). No se pudo observar ninguna diferencia específica entre los dos. Sin embargo, en el caso de (a), la dureza del metal de soldadura era tan alta como el 260% la dureza del FL. Se cree que la tensión local en el FL aumentó y el δ_c bajó.

45 En el modo anterior, cuando no había inserción de la hoja de Ni, obteniendo un metal de soldadura con un estado adecuado de dispersión de óxidos, es posible facilitar el grado de emparejamiento descompensado entre el metal de soldadura y la HAZ. Se pudo confirmar que se obtuvieron valores δ_c altos de la tenacidad a la fractura en el metal de soldadura en el FL y en la HAZ. Por lo tanto, los inventores investigaron además la relación entre óxidos en el metal de soldadura y los valores δ_c de la tenacidad a la fractura del metal de soldadura y el FL en el caso de no insertar una hoja de Ni.

50 Los inventores soldaron a tope chapas de acero de 70 mm de espesor, que contenían C: 0,04%, Mn:1,8%, S: 0,003%, Al: 0,006%, y Ti: 0,02%, y que tenían diferentes contenidos de oxígeno de 10 a 250 ppm, mediante el método RPEBW, luego obtuvieron muestras de ensayo a partir del metal de soldadura en dos posiciones, a 1/4 y 3/4 del espesor, en las direcciones del espesor de las chapas de acero y se midieron sus valores de la tenacidad a la fractura y el número de óxidos.

Hay que indicar que para el número de inclusiones los inventores trataron imágenes obtenidas mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), etc., para hallar las áreas de los óxidos individuales, definieron los diámetros de los círculos equivalentes a esas áreas (diámetros de los círculos equivalentes) como los tamaños de grano de los óxidos, y hallaron el número de óxidos de un tamaño de grano de 2 µm o más, por unidad de área.

- 5 Los resultados se muestran en la Figura 6. Se aprendió que había 10/mm² o menos óxidos de un tamaño de 2 µm o más, que la fluctuación en el valor δc de la tenacidad a la fractura del metal de soldadura se reducía mucho, y que se obtenía un valor suficientemente alto.

Además, mediante experimentos similares, los inventores hallaron el tipo y las condiciones de dispersión de los óxidos de Ti que dan un metal de soldadura con un excelente valor de la tenacidad a la fractura.

- 10 Como resultado, se aprendió que si la cantidad de óxidos de Ti que tiene un tamaño de grano de 0,1 µm a menos de 2,0 µm es de 30 a 600/mm², se obtiene un metal de soldadura excelente el valor δc de la tenacidad a la fractura.

A continuación, los inventores estudiaron además la composición química del material base que da tal estado de dispersión de óxidos.

- 15 Como resultado, se aprendió que como material base que formase la estructura soldada se debería usar un material de acero que contuviera al menos, en % en masa, C: 0,02 a 0,2%, Mn: 0,8 a 3,5%, S: 0,0005 a 0,0025%, Al: menos de 0,2%, y Ti: 0,01 a 0,05%, y que tuviera un valor Pcm de 0,12% a 0,5%.

El C tiene que estar incluido en una cantidad de al menos el 0,02% para asegurar la resistencia como estructura soldada, pero si está por encima del 0,2%, se producen fácilmente grietas de solidificación.

- 20 El Mn tiene que estar incluido en una cantidad de al menos 0,8% para asegurar la resistencia y la tenacidad, pero si está por encima del 3,5%, la templabilidad aumenta demasiado y la tenacidad cae.

El S es un elemento que reduce la tenacidad y tiene que estar en un 0,0025% o menos. Sin embargo, para formar MnS y utilizar materiales compuestos formados por óxidos y MnS como núcleos para la transformación granular, se incluye preferiblemente el 0,0005% o más.

- 25 El Al se añade habitualmente en la producción de acero como un agente desoxidante, pero los óxidos de Al tienen una capacidad extremadamente pequeña de formar núcleos para la transformación ferrítica. En la presente invención, el Ti se usa para la desoxidación y, por lo tanto, se hace que el contenido de Al sea de 0,005% o menos. Además, no se necesita que esté que, en particular, esté incluido.

- 30 El Ti se usa como agente desoxidante en la presente invención. Es un elemento esencial para formar óxidos de Ti y para mejorar la tenacidad a la fractura del metal de soldadura y la HAZ mediante el refinamiento de la microestructura por los óxidos de Ti. Para formar los óxidos de Ti requeridos, se requiere al menos un 0,01% o más, pero si está por encima del 0,05%, los óxidos pueden fácilmente llegar a ser excesivos en cantidad y tamaño, y formar puntos de partida de la fractura.

- 35 En el material base también se requiere O para formar óxidos de Ti. Para satisfacer las condiciones del tamaño de grano y el número de óxidos de Ti en el metal de soldadura, debe estar contenido en el metal de soldadura en al menos 20 ppm o más, más preferiblemente 40 ppm o más. La cantidad de oxígeno en el metal de soldadura cambia no sólo según su contenido en el acero del material base, sino también según el grado de vacío en la soldadura por haz de electrones, de manera que no es posible definir el contenido del material base a través del tablero, pero el contenido de O en el material base puede ser de 40 ppm, o más, con la usual soldadura por haz de electrones a alto vacío, y además puede ser de 30 ppm o más con la RPEBW a bajo vacío. El contenido de O en el metal de soldadura es, preferiblemente, de 250 ppm o menos para satisfacer las últimas condiciones explicadas de tamaño de grano y de número de los óxidos, de manera que el límite superior del contenido de O en el material base es, preferiblemente también, del mismo orden.

- 45 Además, para mantener la relación de la dureza del metal de soldadura y la dureza del material base en el intervalo anterior, sin usar un inserto metálico, es necesario asegurar la templabilidad del metal de soldadura e impedir la formación de ferrita pro-eutectoide en el metal de soldadura tanto como sea posible. Por esta razón, el valor de Pcm de la siguiente fórmula (a) en el material base es del 0,12% en masa. Además, si el valor de Pcm excede el 0,5% en masa, la dureza del metal de soldadura llega a ser demasiado alto, de manera que el límite superior es el 0,5% en masa, pero es más preferible el 0,38% en masa o menos.

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \dots\dots (a)$$

- 50 El material de acero que forma el material base de la junta soldada mediante haz de electrones, en el caso de no usar un inserto, puede ser el acero conocido, anteriormente mencionado, que se usa en soldadura, siempre que satisfaga las anteriores condiciones de los ingredientes.

5 Cuando no se usa un inserto metálico, se hace que los óxidos de Ti se dispersen finamente y se usen como núcleos para la transformación cuando la austenita se transforma en ferrita para formar una microestructura que contiene una gran cantidad de ferrita acicular fina que exhibe una excelente tenacidad y obtener, por ello, un metal de soldadura superior en tenacidad, pero en ese caso, como se muestra en la Figura 6, es necesario impedir que la cantidad de óxidos que tiene un tamaño de grano de 2,0 μm o más, excedan los 10/mm². Si están excluidos en el acero excediendo esa cantidad, forman puntos de partida de fracturas en los ensayos CTOD y dan lugar a una fluctuación del valor de la tenacidad a la fractura en el metal de soldadura.

10 Además, el tamaño de grano de los óxidos de Ti que funcionan como núcleos de la transformación granular es de 0,1 μm a menos de 2,0 μm . Haciendo que la cantidad de óxidos de Ti que estén en este intervalo sea de 30 a 600/mm², es posible formar una microestructura que contenga una gran cantidad de ferrita acicular fina.

Hay que indicar que algunos de los óxidos de Ti tendrán MnS precipitado alrededor de ellos para formar así materiales compuestos con MnS. Estos materiales compuestos son eficaces como núcleos para la transformación granular. Los óxidos de Ti de la presente invención se definen como incluyentes de tales compuestos.

15 Para impedir que la cantidad de óxidos que tienen un tamaño de grano de 2,0 μm o más, excedan de 10/mm² y asegurar que la cantidad de óxidos de Ti que tienen un tamaño de grano de 0,1 μm a menos de 2,0 μm llegue a ser de 30 a 600/mm² en el metal de soldadura, se deberá usar como material base un material de acero con tamaños de óxidos restringido a 2,0 μm o menos.

Para esto es necesario controlar cuidadosamente las inclusiones en el proceso de desoxidación del material de acero que forma el material base.

20 Para desoxidar el acero, habitualmente se usa Al, pero si se añade el elemento Al, que es un desoxidante fuerte, la reacción de desoxidación transcurre rápidamente y terminan formándose grandes óxidos de 2 μm o más. Por lo tanto, para la desoxidación se usa Ti con una capacidad desoxidante menor que el Al para formar óxidos relativamente pequeños. Sin embargo, una vez que se introduce una gran cantidad de Ti, que forma fácilmente óxidos gruesos, es posible controlar el momento de introducción del Ti para que se reduzca poco a poco la cantidad
25 oxígeno en el acero fundido o introducir el elemento Ti débilmente oxidante, e introducir luego cantidades extremadamente pequeñas de los elementos Al, Ca, Mg, etc., desoxidante fuertes, de manera que se suprima la formación de óxidos de tamaño grueso, de 2 μm o más, y formar gran número de óxidos finos de 0,1 a 2 μm de tamaño.

(B) Caso de usar inserto metálico (fuera del alcance de la invención)

30 El material de acero que forma el material base se presenta en diversos tipos que incluyen diferentes contenidos de Ni. Dependiendo de la combinación del contenido de Ni del material base y el contenido de Ni del inserto metálico usado, algunas veces, solamente el ajuste de la relación de la dureza del metal de soldadura y la dureza del material base no permite asegurar un valor δ_c más excelente de la tenacidad a la fractura de la junta soldada.

35 Por lo tanto, en primer lugar, para investigar el efecto del contenido de Ni en el metal de soldadura, los inventores prepararon chapas de acero que tenían un límite elástico del orden de 355 MPa, insertaron la hoja de inserto metálico, que tenía un espesor de 0,3 mm y que estaba compuesta de (a) Ni puro, o (b) una aleación de Fe-Ni que tenía un contenido de Ni del 20% en masa, en las partes unidas a tope para su soldadura y las soldaron mediante soldadura por haz de electrones, luego mediante ensayos CTOD se midieron los valores δ_c de la tenacidad a la fractura en las juntas soldadas obtenidas, el cambio en la dureza, y la concentración de Ni.

40 Los inventores realizaron los ensayos CTOD sobre las juntas soldadas y midieron la dureza. Como resultado, en el caso de (a), que usa un inserto metálico compuesto de Ni puro, la dureza del metal de soldadura era alta y el valor δ_c de la tenacidad a la fractura era un valor suficientemente alto, de 0,2 mm o más, pero el valor δ_c de la tenacidad a la fractura del FL era un valor extremadamente bajo, de 0,02 mm o menos.

45 Por otro lado, en el caso de (b), que usa un inserto metálico compuesto de una aleación de Fe-Ni, la dureza del metal de soldadura era baja, se facilitó el grado emparejamiento descompensado de la dureza, y el valor δ_c de la tenacidad a la fractura era un valor suficientemente alto, de 0,2 mm o más, tanto en el metal de soldadura como en el FL.

50 Los inventores midieron el contenido medio de Ni del metal de soldadura, y como resultado se halló que era del 8,5% en masa en el caso (a) usando un inserto metálico, y era de 2,5% en masa en el caso (b) usando un inserto metálico. A partir de este valor, la diferencia en el contenido de Ni entre el material base y el metal de soldadura era del 8% en masa en el caso (a) y del 2,0% en masa en el caso (b).

De lo anterior, se aprendió que prescribiendo el contenido de Ni del metal de soldadura en un intervalo adecuado en relación con el contenido de Ni del material base, es posible impedir una caída de la tenacidad debida emparejamiento descompensado de la dureza del metal de soldadura y del material base.

- 5 A continuación, para investigar el intervalo adecuado de contenido de Ni en el metal de soldadura y el intervalo adecuado de la diferencia entre los contenidos de Ni del metal de soldadura y de material base, los inventores usaron las chapas de acero anteriormente preparadas, insertaron en las hendiduras de soldadura insertos metálicos de diferentes contenidos de Ni, las soldaron mediante soldadura por haz de electrones, obtuvieron muestras de ensayo de las juntas soldadas obtenidas, hicieron muescas en la zona del metal de soldadura (WM) y en los lados de la HAZ de la FL (FL, HAZ) y realizaron ensayos CTOD para medir el valor δ_c de la tenacidad a la fractura (de aquí en adelante denominado también, algunas veces, simplemente "valor CTOD"), y evaluaron las cantidades de Ni requeridas para asegurar el valor δ_c de la tenacidad a la fractura.
- 10 Los inventores dividieron estas muestras en unas con excelentes valores δ_c , de 0,15 mm o más, obtenidos tanto en el WM como en el FL, HAZ, indicadas como "O", y unas donde el valor era insatisfactorio en el menos uno de WM y FL, HAZ, indicadas como "●" y registraron gráficamente las cantidades de Ni del metal de soldadura y las diferencias de las cantidades de Ni del metal de soldadura y de la chapa de acero del material base para estas muestras. Los resultados se muestran en la Figura 7.
- 15 Aquí, el valor δ_c buscado fue, como se mencionó anteriormente, de 0,15 mm o más. Este valor se usa para clasificar los valores δ_c en unos que son excelentes y unos que son pobres.
- A partir de la Figura 7, se aprende que cuando el contenido de Ni en el metal de soldadura está en el intervalo del 1 al 4% en masa, y es un 0,2% en masa superior al contenido de Ni del material base, el valor CTOD requerido se puede asegurar tanto en el WM como en FL, HAZ.
- 20 Además, los inventores midieron las durezas del metal de soldadura y del material base y los cambios en la dureza alrededor del FL para los ejemplos donde se pudieron asegurar los valores CTOD de 0,15 mm, o más, tanto en el WM como en FL, HAZ, después de lo cual confirmaron que las durezas del metal de soldadura estaban dentro de un intervalo de más del 110% al 220% de las durezas del material base.
- 25 A partir de los resultados anteriores, se aprende que para asegurar el valor CTOD en una junta soldada, formada mediante soldadura por haz de electrones usando un inserto metálico, es eficaz facilitar la tensión local en el FL y hacer que el contenido de Ni del metal de soldadura sea del 1 al 4% en masa, que es un 0,2% en masa, o más, superior al contenido del material base.
- El material de acero que forma el material base puede ser uno producido a partir del acero anteriormente mencionado para uso en estructuras soldadas de composición conocida de ingredientes o de acero sin Ni añadido en particular.
- 30 Además, en el momento de la soldadura, se dispone de un inserto metálico que contiene Ni en las partes unidas a tope, o se incluye Ni en el metal de soldadura de la junta soldada en una cantidad del 1 al 4% en masa, y más de un 0,2% en masa, o más, del contenido de Ni del material base. Como inserto metálico, es necesario uno que tenga una composición que satisfaga estas condiciones, pero no está limitada concretamente a una composición específica de ingredientes.
- 35 Por ejemplo, se puede ilustrar una aleación de Fe que contenga C: 0,01 a 0,06%, Si: 0,2 a 1,0%, Mn: 0,5 a 2,5%, Ni: 50% o menos, Mo: 0 a 0,30%, Al: 0 a 0,3%, Mg: 0 a 0,30%, Ti: 0,02 a 0,25%, y B: 0,001% o menos, pero en particular el contenido de Ni se debe seleccionar en consideración a los ingredientes químicos del material de acero que forma el material base de soldadura para obtener un metal de soldadura con una concentración media que satisfaga las condiciones anteriores.
- 40 Además, cuando se incluye Ni en el metal de soldadura, es preferible incluir B en el metal de soldadura en una cantidad de 10 ppm o menos. El B tiene la acción de suprimir la formación de ferrita en los límites de grano y mejorar la tenacidad del metal de soldadura, pero considerando la formación de grietas a alta temperatura y otros puntos, se hace que sea de 10 ppm o menos.
- 45 El B se puede añadir mediante el método de adición desde el material de acero que forma el material base o desde el inserto metálico. Hay que indicar que la anterior diferencia de durezas se consigue haciendo que el contenido de Ni del metal de soldadura satisfaga las anteriores condiciones, ajustando luego adecuadamente el equilibrio entre los ingredientes del material de acero que forma el material base y el metal de soldadura formado usando el inserto metálico, o ajustando las velocidades de enfriamiento después de la soldadura para impedir que la dureza del metal de soldadura llegue a ser demasiado alta.
- 50 (C) Caso de usar inserto metálico (material de acero con alto contenido de Ni) (Fuera del alcance de la invención)

En este aspecto, se ha estado usando un material de acero que contiene Ni en una cantidad del 2,5% en masa, o más, que tiene una resistencia superior y que tiene excelente tenacidad a baja temperatura.

En una junta soldada usando semejante material de acero que tiene un alto contenido de Ni, con sólo el ajuste de la relación de la dureza del metal de soldadura y la dureza del material base, no es posible asegurar algunas veces un valor δ_c más excelente de la tenacidad a la fractura de la junta soldada.

5 Por lo tanto, para investigar los efectos del contenido de Ni del metal de soldadura, los inventores prepararon dos tipos de chapas de acero, es decir, chapa de acero que contenía Ni en un 3% en masa y chapa de acero que no contenía Ni, insertaron hojas de insertos metálicos de una pluralidad de aleaciones de Fe-Ni con diferentes contenidos de Ni, o Ni puro, en las partes que se unen a tope, y se soldaron con haz de electrones. Además, obtuvieron muestras de ensayo procedentes de las juntas soldadas después de realizar la soldadura, hicieron muescas en el metal de soldadura (WM) y a los lados de la HAZ del FL (FL, HAZ), y realizaron ensayos CTOD para
10 medir los valores δ_c de la tenacidad a la fractura y medir las concentraciones de Ni del metal de soldadura.

Basándose en los resultados obtenidos en las medidas, registraron gráficamente los valores δ_c de la tenacidad a la fractura del WM y del FL, HAZ con respecto al contenido de Ni en el metal de soldadura. Los resultados se muestran en la Figura 8.

15 A partir de la Figura 8, se aprende que en el caso de chapas de acero que tenían un contenido de Ni del 3%, con unas que tengan contenidos de Ni del metal de soldadura (WM) en el intervalo de más del 4% al 8%, es posible asegurar valores de CTOD de 0,15 mm o más, tanto para el WM (O), como para el FL, HAZ (●), pero con unas que estén en otros intervalos, únicamente se puede obtener un bajo valor de CTOD de menos de 0,15 mm en cualquiera de WM o FL, HAZ.

20 Además, en el caso de las chapas de acero que no contienen Ni, tanto el WM (Δ) como el FL, HAZ (Δ negro) fallaron al exhibir valores de CTOD de 0,15 mm, o más.

Hay que indicar que el valor δ_c buscado era 0,15 mm o más.

25 Además, los inventores midieron las durezas del metal de soldadura y del material base de los ejemplos, donde los valores de CTOD de 0,15 mm o más, se pudieron asegurar tanto en el WM como en el FL, HAZ, con lo que aprendieron que las durezas del metal de soldadura estaban en el intervalo de más del 110% a 220% de las durezas del material base.

A partir de estos resultados, aprendieron que en una junta, soldada por haz de electrones, de material de acero con un contenido de Ni, facilitar la tensión local en el FL y hacer que el contenido de Ni del metal de soldadura sea desde más del 4% al 8%, resulta eficaz para asegurar el valor del CTOD.

30 Aquí, como material de acero para formar la estructura soldada, se habla de un material de acero de alta resistencia que contiene Ni en un 2,5% en masa o más. Como la chapa de acero de alta resistencia utilizada, también se puede usar una, hecha de acero para estructuras soldadas de composiciones de los ingredientes conocidas.

35 Por ejemplo, un acero que tenga como ingredientes básicos, en % en masa, C: 0,02 a 0,20%, Si: 0,01 a 1,0%, Mn: 0,3 a 2,0%, Al: 0,001 a 0,20%, N: 0,02% o menos, P: 0,01% o menos, S: 0,01% o menos, y Ni: 2,50 a 9,0%, y que contenga, según la mejora de la resistencia del material base o de la tenacidad de la junta, o de otras propiedades requeridas, se puede usar uno o más de Cr, Mo, Cu, W, Co, V, Nb, Ti, Zr, Ta, Hf, metales de las tierras raras, Y, Ca, Mg, Te, Se, y B, en un total del 8% o menos.

Además, en el momento de la soldadura, es necesario situar un inserto metálico, compuesto de Ni, en las partes que se unen a tope y realizar la soldadura de manera que el metal de soldadura en la junta soldada contenga Ni en más de un 4% al 8% (% en masa).

40 Para obtener una estructura que permita que la tenacidad se asegure de forma estable incluso si los granos cristalinos se hacen más gruesos o los óxidos se reducen en número en la región fundida mediante el haz de electrones cuando solidifica, es necesario incluir Ni en una cantidad superior al 4%. Además, si se incluye Ni por encima del 8% en masa, la dureza del metal de soldadura aumenta demasiado y se hace difícil obtener una relación de dureza del metal de soldadura y del material base del 220% o menos.

45 Como inserto metálico es conveniente usar una hoja compuesta de Ni puro.

Basándose en el contenido de Ni del material de acero que forma el material base, en el contenido de Ni buscado en el metal de soldadura, y en las dimensiones del material de acero, se calcula el espesor de la hoja de Ni puro requerido para obtener el contenido de Ni buscado, y se prepara una hoja de semejante espesor o se superpone una pluralidad de hojas delgadas para dar el espesor requerido para preparar el inserto metálico.

50 La dureza del metal de soldadura se ajusta para que llegue a ser de más del 110% al 220% de la dureza del material base y, además, el contenido de Ni en el metal de soldadura de la junta soldada es, en % en masa, de más del 4% al 8%.

Por esta razón, es importante ajustar adecuadamente el equilibrio de los ingredientes entre el material de acero que forma el material base y el metal de soldadura formado usando el inserto metálico, o ajustar la velocidad de enfriamiento después de la soldadura para impedir que el metal de soldadura llegue a tener una dureza demasiado alta.

5 A continuación, la presente invención se explicará basándose en ejemplos, pero las condiciones de los ejemplos son ejemplos de las condiciones empleadas para conformar la capacidad de puesta en práctica, y los efectos de la presente invención. La presente invención no se limita a estos ejemplos. Mientras que no se salga de lo esencial de la presente invención y que se consiga el objeto de la presente invención, la presente invención puede emplear otras diversas condiciones o combinaciones de condiciones.

10 Ejemplo 1 (Ejemplo de referencia)

Los inventores prepararon chapas gruesas de acero que contenían los componentes mostrados en la Tabla 1, siendo el resto Fe y las inevitable impurezas, y que tenían espesores de chapa de 50 a 100 mm, insertaron en las partes de las hendiduras insertos metálicos de aleación de Fe-Ni que contenían los ingredientes mostrados en la Tabla 2 y el resto Fe y las inevitables impurezas, o no insertaron el inserto metálico, las soldaron a tope mediante soldadura por haz de electrones, luego realizaron ensayos e investigaron las características y comportamientos de las juntas soldadas formadas.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.

20 El Hv(BM) es el valor medio de la dureza del material base en la dirección del espesor e chapa, medido mediante una penetración de 10 kg. El Hv(WM) es el valor de la dureza del metal de soldadura en el centro del espesor de la chapa medido mediante una penetración de 10 kg.

La anchura del cordón es el valor medio medido en tres puntos, en la superficie frontal y la superficie posterior del metal de soldadura y el centro del espesor de la chapa.

La anchura del ablandamiento de la HAZ es la anchura de la región al medir la región de la HAZ ablandada un 5% de la dureza del material base a partir de la línea de fusión en la dirección del material base.

25 El tamaño de grano anterior α de la HAZ expresa el tamaño de los granos de austenita anterior en la HAZ que está en contacto con la línea de fusión en un diámetro del círculo equivalente.

En lo que respecta al comportamiento de la junta soldada, δc (mm) es el valor hallado a una temperatura de ensayo de -10°C en el anteriormente mencionado ensayo CTOD.

30 La resistencia a la tracción (MPa) de la junta es el resultado de un ensayo de tracción de la junta realizado sobre una muestra de ensayo NKU N° 1, y muestra la resistencia a la rotura.

Como se muestra en la Tabla 1, los Ejemplos números 1 a 15 tienen diversas condiciones dentro de los intervalos prescritos y exhiben valores δc suficientes.

35 Entre estos ejemplos, los ejemplos 1 a 14 tienen valores de Hv(WM)/Hv(BM) y de anchura del cordón/espesor de chapa y anchuras de ablandamiento dentro de los intervalos prescritos, de manera que exhiben suficientes valores tanto para los valores δc de la HAZ de las juntas soldadas como de la resistencia a la tracción de la junta.

Hay que indicar que el Ejemplo N° 14 tiene una anchura de ablandamiento de la HAZ inferior al intervalo preferible, de manera que el valor δc es algo menor comparado con los Ejemplos 1 a 13, pero es un excelente valor de al menos 0,1 mm.

40 El Ejemplo N° 15 tiene un Hv(WM)/Hv(BM) inferior al intervalo preferible, de manera que es insuficiente en la templabilidad del metal de soldadura y no se pudo suprimir la formación de ferrita proeutectoide. El δc característico de la HAZ es de un valor inferior en comparación con los Ejemplos 1 a 14.

A diferencia de esto, los Ejemplos números 16, 18 a 20, y 22, tienen valores de Hv(WM)/Hv(BM) superiores al intervalo prescrito, de manera que los valores δc del metal de soldadura son suficientes, pero los valores δc de la HAZ y FL llegan a ser bajos.

45 Además, los Ejemplos números 17 y 21 tenían valores de Hv(WM)/Hv(BM) inferiores al intervalo prescrito, de manera que no se pudo asegurar suficiente templabilidad, y cayeron los valores δc del metal soldadura.

Por lo tanto, el anterior intervalo se aplica para asegurar el valor δc en el acero de alta resistencia que tiene un límite elástico (YP) de 355 MPa o más en una región gruesa del espesor de chapa de 50 mm o más.

ES 2 442 867 T3

Tabla 1 (% en masa)

Tipo de acero	C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti
YP36	0,11	0,19	1,23	0,006	0,003		0,01
YP40	0,05	0,15	1,8	0,003	0,004		
YP47	0,08	0,24	1,22	0,007	0,002	0,65	0,01
YP56	0,05	0,14	1,61	0,005	0,002	1,21	0,01

Tabla 2 (% en masa)

Inserto metálico	C	Si	P	S	Ni
N1	0,02	0,01	0,002	0,010	0,50
N2	0,01	0,21	0,004	0,001	1,20
N3	0,03	0,02	0,003	0,002	4,00
N4	0,01	0,12	0,008	0,003	8,00

Tabla 3

N°	Junta soldada a tope						Características de la junta soldada						Resistencia a la tracción de la junta (MPa)		
	Tipo de acero	Espesor de la chapa (mm)	Resistencia a la tracción del material base (MPa)	Método de soldadura	Vacío (Pa)	Inserto metálico	Hv(BM)	Hv(WM)	Hv(WM)/Hv(BM)	Anchura haz/espesor de la chapa	Anchura ablandamiento del haz (mm)	Tamaño de grano anterior de la HAZ (µm)		Metal de soldadura δc (mm)	F ₁ HAZ δc (mm)
1	YP36	50	510	Haz de electrones	100	N1	162	203	2,05	0,12	7	80	0,85	0,22	542
2	YP36	100	505	Haz de electrones	100	N1	165	205	2,04	0,08	6	90	0,99	0,32	532
3	YP36	65	520	Haz de electrones	200	N2	174	219	2,06	0,12	6	70	1,01	0,25	557
4	YP36	70	543	Haz de electrones	50	N2	165	182	1,9	0,09	7	50	1,13	0,65	555
5	YP36	100	541	Haz de electrones	90	N4	175	226	2,09	0,19	8	65	1,21	0,35	593
6	YP36	60	535	Haz de electrones	80	Ninguno	171	202	1,2	0,15	6	75	0,45	0,98	537
7	YP36	55	540	Haz de electrones	0,02	N2	169	179	1,86	0,16	5	55	0,65	0,75	542
8	YP40	70	570	Haz de electrones	0,2	Ninguno	185	228	1,32	0,18	7	55	0,75	1,02	596
9	YP40	80	565	Haz de electrones	0,1	N3	187	234	2,05	0,1	4	45	0,85	0,42	600
10	YP40	65	555	Haz de electrones	120	N2	186	238	2,09	0,12	4	58	1,05	0,32	570
11	YP47	75	610	Haz de electrones	200	Ninguno	204	263	1,25	0,13	3	75	0,52	1,22	620
12	YP47	80	580	Haz de electrones	200	N2	206	260	2,06	0,12	4	180	1,02	0,23	621
13	YP56	100	634	Haz de electrones	100	Ninguno	201	239	1,23	0,2	3	90	0,16	1,32	641
14	YP56	55	640	Haz de electrones	1000	N2	203	260	2,08	0,08	2	55	0,98	0,21	696
15	YP56	70	635	Haz de electrones	100	N2	204	173	1,05	0,09	4	150	0,21	1	459
16	YP36	70	510	Haz de electrones	100	N4	202	307	2,32	0,45	4	80	1,25	0,012	520
17	YP36	70	505	Haz de electrones	100	Ninguno	204	153	0,85	0,67	10	90	0,04	0,13	450
18	YP 40	65	565	Haz de electrones	200	N2	210	347	2,45	0,66	5	70	0,89	0,05	570
19	YP40	70	555	Haz de electrones	0,01	Ninguno	204	377	2,65	1,2	6	160	0,55	0,032	560
20	YP40	80	560	Haz de electrones	100	N3	210	452	2,95	0,8	3	170	0,23	0,025	562
21	YP47	100	620	Haz de electrones	100	N2	200	162	0,81	0,5	6	210	0,08	0,12	550
22	YP47	100	615	Haz de electrones	100	N1	210	307	2,26	0,8	7	240	0,55	0,025	620

Ejemplo 2

5 Los inventores prepararon chapas gruesas de acero que contenían los ingredientes mostrados en la Tabla 4, siendo el resto Fe y las inevitables impurezas, y que tenían espesores de chapa de 50 a 100 mm, las soldaron a tope mediante soldadura por haz de electrones, luego realizaron ensayos e investigaron las características y comportamientos de las juntas soldadas formadas.

Los resultados se muestran en la Tabla 5

En la Tabla 5, Hv (BM), Hv (WM), y δ_c (mm) se hallaron de la misma de la misma manera que en el Ejemplo 1. Hay que indicar que esto también es verdad para los posteriores Ejemplos 3 y 4 explicados.

10 Como se muestra en la Tabla 5, los Ejemplos de la invención, números 1 a 15, tenían valores de Hv(WM)/Hv(BM), componentes químicos de los materiales de acero, y cantidades de oxígeno y cantidades de óxidos en el metal de soldadura, todos dentro de los intervalos definidos por la presente invención. Los valores δ_c eran suficientes en todos, en el metal de soldadura y en el FL, HAZ.

Hay que indicar que los Ejemplos de la invención, números 5, 6, 12, y 13, tenían gran número de óxidos que tenían tamaños de grano de 2 μm o más, de manera que los valores δ_c del metal de soldadura eran bajos.

15 A diferencia de esto, el Ejemplo comparativo 16 tenía una cantidad de C en el material de acero y un valor Pcm superiores a los valores prescritos de la presente invención, tenía un valor de Hv(WM)/Hv(BM) superior al intervalo de la presente invención, y tenía un número de óxidos de un tamaño de grano de 0,1 a 2 μm , inferior al valor prescrito de la presente invención, de manera que el metal de soldadura y el FL, HAZ eran totalmente insuficientes en el valor δ_c .

20 El Ejemplo comparativo 17 tenía un valor de Hv(WM)/Hv(BM) y de Pcm del material de acero inferiores a los valores prescritos de la presente invención y tenía un número de óxidos de tamaño de grano de 2 μm o más, superior al valor prescrito de la presente invención o más, de manera que el valor δ_c del metal de soldadura era insuficiente.

25 El Ejemplo comparativo 18 tenía un valor de Hv(Wm)/Hv(BM) y de Pcm del material de acero inferiores a los valores prescritos de la presente invención y tenía un número de óxidos de un tamaño de grano de 0,1 a 2 μm , inferior a los valores prescritos de la presente invención, de manera que era insuficiente en el valor δ_c del metal de soldadura.

Tabla 4

	Material de acero N°	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Ti	B	Al	Ca	Mg	Cr	Mo	Pcm
Ejemplo de la invención	1	0,11	0,19	1,23	0,006	0,003			0,01							0,18
	2	0,05	0,15	1,8	0,003	0,004			0,02	0,0008						0,15
	3	0,08	0,24	1,22	0,007	0,002	0,65		0,01							0,16
	4	0,06	0,14	1,61	0,005	0,002	1,21		0,01							0,17
	5	0,04	0,2	1,81	0,004	0,002	0,9	0,9	0,02			0,006	0,00015		0,1	0,20
	6	0,021	0,2	2,2	0,004	0,002			0,02	0,0012		0,006	0,00015			
Ejemplo comparativo	7	0,08	0,2	1,81	0,004	0,002	3	3	0,02		0,006		0,00012			0,38
	8	0,25	0,14	1,61	0,005	0,002	1,21		0,01							0,36
	9	0,021	0,2	1,1	0,004	0,002	0,3	0,3	0,02		0,006	0,00015				0,10

Tabla 5

Nº	Junta soldada a tope mediante haz de electrones						Características de la junta soldada						Comportamiento de la junta soldada	
	Material de acero Nº	Material de acero Pcm	Espesor de chapa (mm)	Resistencia a la tracción del material base (MPa)	Vacío (Pa)	Inserto metálico	Hv (BM)	Hv(WM)/Hv(BM)	Anchura cordón/ Espesor chapa	Cantidad de oxígeno en metal de soldadura (ppm)	Óxidos de tamaño de grano de 2 µm o más/mm ²	Óxidos de tamaño de grano de 0,1 a menos de 2 µm/mm ²	δc (mm) del metal de soldadura a -10°C	δc (mm) FL, HAZ a -10°C
Ejemplo de la invención	1	0,18	100	525	100	Ninguno	175	1,3	0,18	22	2	100	0,99	0,32
	2	0,18	65	535	200	Ninguno	180	1,2	0,19	50	3	250	1,01	0,25
	3	0,18	70	543	50	Ninguno	185	1,3	0,12	45	5	55	1,13	0,65
	4	0,15	100	505	90	Ninguno	170	1,11	0,11	35	4	35	1,21	0,35
	5	0,15	60	535	80	Ninguno	180	1,2	0,19	30	8	250	0,16	0,98
	6	0,15	55	512	0,02	Ninguno	170	1,2	0,17	30	7	352	0,18	0,75
	7	0,16	70	560	0,2	Ninguno	190	1,4	0,18	70	1	125	0,75	1,02
	8	0,16	80	555	0,1	Ninguno	185	1,9	0,12	55	2	550	0,85	0,42
	9	0,16	65	550	120	Ninguno	185	2,2	0,14	40	1	250	1,05	0,32
	10	0,17	75	580	200	Ninguno	200	1,6	0,12	35	4	123	0,52	1,22
	11	0,17	80	580	200	Ninguno	195	1,11	0,13	30	2	450	1,02	0,23
	12	0,16	100	520	100	Ninguno	180	1,2	0,09	45	7	560	0,16	1,32
	13	0,16	55	580	1000	Ninguno	195	1,15	0,19	50	9	120	0,17	0,21
	14	0,14	70	515	100	Ninguno	175	1,2	0,11	30	2	45	0,2	1
	15	0,23	70	650	100	Ninguno	220	1,2	0,12	25	3	50	0,21	0,15
	16	0,36	70	680	100	Ninguno	202	2,5	0,13	35	0	25	0,05	0,012
	17	0,09	65	380	200	Ninguno	210	0,95	0,12	90	15	65	0,012	0,35
	18	0,09	70	375	0,01	Ninguno	204	0,8	0,12	45	8	10	0,03	0,25
Ejemplo comparativo														

Ejemplo 3 (Ejemplo de referencia)

5 Los inventores prepararon chapas gruesas de acero que contienen los ingredientes mostrados en la Tabla 6, siendo el resto Fe y las inevitables impurezas, y que tienen espesores de chapa de 50 a 100 mm, insertaron en las partes de las hendiduras un inserto metálico de aleación de Fe-Ni que contiene los ingredientes mostrados en la Tabla 7 y que el resto es Fe y las inevitables impurezas, o un inserto metálico de Ni puro, las soldaron a tope mediante soldadura por haz de electrones, luego realizaron ensayos e investigaron las características y comportamientos de las juntas soldadas formadas.

10 Los resultados se muestran en la Tabla 8. Hay que indicar que la resistencia a la tracción (MPa) de la junta se halló preparando muestras de ensayo NKU N° 1 y realizando los ensayos de tracción de la junta, y muestra la resistencia a la rotura.

Como se muestra en la Tabla 8, los Ejemplos números 1 a 15 tienen diversas condiciones dentro de los intervalos prescritos, y exhiben valores δc suficientes.

Por otro lado, los números 16, 17, 19 y 20 tenían contenidos de Ni en los metales de soldadura del 1% o menos. Como resultado, los δc de los metales de soldadura fueron insuficientes.

15 Los Ejemplos números 18, 21, y 22 tenían contenidos de Ni en el metal de soldadura del 4% o más, de manera que los Hv(WM)/Hv(BM) eran superiores a 220. Como resultado, los δc de los metales de soldadura fueron suficientes, pero los δc de los FL, HAZ fueron insuficientes.

Tabla 6 (% en masa)

Acero N°	C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti
1	0,11	0,19	1,23	0,006	0,003		0,01
2	0,05	0,15	1,8	0,003	0,004		
3	0,08	0,24	1,22	0,007	0,002	0,65	0,01
4	0,06	0,14	1,61	0,005	0,002	1,21	0,01

20 Tabla 7

Inserto metálico	C	Si	P	S	Ni
N1	0,02	0,01	0,002	0,010	30
N2	0,01	0,21	0,004	0,001	20
N3	0,03	0,02	0,003	0,002	8
N4	0,01	0,12	0,008	0,003	15
N5					100

Tabla 8

N°	Junta soldada a tope mediante haz de electrones					Características de la junta soldada						Comportamiento de la junta soldada				
	Tipo de acero	Espesor de la chapa (mm)	Resistencia a la tracción del material base (MPa)	Vacio (Pa)	Inserto metálico	A: cantidad de Ni del material base (%)	Esesor del inserto metálico (mm)	B: cantidad de Ni del metal de soldadura (%)	B - A (%)	Hv (BM)	Hv (WM)	Hv(WM)/Hv(BM) (%)	Anchura cordón/ espesor de chapa	δc del metal de soldadura (mm)	δc del FL, HAZ (mm)	Resistencia a la tracción de la junta (MPa)
1	1	50	510	100	N1	0	0,44	1,1	2,2	162	203	125	0,12	0,75	0,42	536
2	1	100	505	100	N1	0	0,59	2,2	2,2	165	205	124	0,08	0,88	0,36	526
3	1	65	520	200	N2	0	0,98	2,5	3,2	174	219	126	0,12	0,75	0,52	550
4	1	70	543	50	N2	0	1,01	3,2	3,2	165	264	160	0,09	0,65	0,45	730
5	1	100	541	90	N4	0	4,94	3,9	3,9	175	368	210	0,19	1,02	0,18	954
6	1	60	535	80	N5	0	0,34	3,8	3,8	171	325	190	0,15	1,14	0,16	854
7	1	55	540	0,02	N2	0	0,53	1,2	1,2	169	179	106	0,16	0,42	0,79	481
8	2	70	570	0,2	N5	0	0,49	3,9	3,9	185	389	210	0,18	1,23	0,17	1005
9	2	80	565	0,1	N3	0	1,10	1,5	1,1	187	202	108	0,1	0,32	0,95	513
10	2	65	555	120	N2	0	0,47	1,2	1,2	186	223	120	0,12	1,05	0,46	559
11	3	75	610	200	N2	0,65	0,76	2,2	1,55	204	263	129	0,13	0,86	0,36	661
12	3	80	580	200	N2	0,65	1,03	2,8	2,15	206	260	126	0,12	0,42	0,63	614
13	4	100	634	100	N5	1,21	0,52	3,8	2,59	201	291	145	0,2	0,96	0,45	772
14	4	55	640	1000	N2	1,21	0,50	3,5	2,29	203	260	128	0,08	0,23	0,85	688
15	4	70	635	100	N2	1,21	0,78	3,7	2,49	204	282	138	0,09	0,78	0,55	736
16	1	70	510	100	N4	0	0,06	0,1	0,1	162	156	96	0,12	0,03	0,23	520
17	1	70	505	100	Ninguno	0	Ninguno	0	0	162	143	88	0,15	0,04	0,31	520
18	2	65	565	200	N5	0	0,62	6	6	174	557	320	0,16	0,95	0,02	570
19	2	70	555	0,01	Ninguno	0	Ninguno	0	0	175	166	95	0,15	0,04	0,45	560
20	2	80	560	100	N3	0	0,60	0,4	0,4	173	190	110	0,15	0,11	0,52	562
21	3	100	620	100	N2	0,65	1,93	4,5	3,85	200	560	280	0,1	0,84	0,03	550
22	3	100	615	100	N5	0,65	1,47	8	7,35	201	643	320	0,2	0,93	0,02	620

Ejemplo 4 (Ejemplo de referencia)

5 Los inventores prepararon chapas gruesas de acero que contenían los ingredientes mostrados en la Tabla 9, siendo el resto Fe y las inevitables impurezas, y que tenían espesores de chapa de 50 a 100 mm, insertaron en las partes de las hendiduras insertos metálicos de Ni (NA) o insertos metálicos de aleación de Ni-Fe (NB, NC) compuestos por los ingredientes mostrados en la Tabla 10, las soldaron a tope mediante soldadura por haz de electrones, luego realizaron ensayos e investigaron las características y comportamientos de las juntas soldadas formadas.

Los resultados se muestran junto con las condiciones de las juntas soldadas, etc., en la Tabla 11. Hay que indicar que la resistencia a la tracción (MPa) de la junta se obtiene mediante un ensayo similar al Ejemplo 3.

10 Como se muestra en la Tabla 11, los Ejemplos números 1 a 15 tienen las diversas condiciones dentro del intervalo descrito y tienen valores δc suficientemente altos en el metal de soldadura y en el FL, HAZ.

A diferencia de esto, los Ejemplos 16 a 19 tienen altos contenidos de Ni en el metal de soldadura del 8% o más, por eso los valores Hv(WM)/HV(BM) llegan a ser superiores al 220% y, como resultado, los δc de los metales de soldadura son valores suficientemente altos, pero los δc del FL, HAZ son valores extremadamente bajos.

Tabla 9 (% en masa)

Material de acero N°	C	Si	Mn	P	S	Ni	Ti
1	0,11	0,19	1,23	0,006	0,003	2,5	0,01
2	0,05	0,15	1,8	0,003	0,004	3,5	
3	0,08	0,24	1,22	0,007	0,002	5,5	0,01
4	0,06	0,14	1,61	0,005	0,002	4,2	0,01

15

Tabla 10

Inserto metálico	C	Si	P	S	Ni
NA	0,02	0,01	0,002	0,010	99
NB	0,01	0,21	0,004	0,001	70
NC	0,03	0,02	0,003	0,002	50

Tabla 11

Nº	Junta soldada a tope mediante haz de electrones										Características de la junta soldada				Comportamiento de la junta soldada	
	Tipo de acero	Espesor de la chapa (mm)	Resistencia a la tracción del material base (MPa)	Vacío (Pa)	Inserto metálico	A: cantidad de Ni del material base (%)	Espesor del inserto metálico (mm)	B: cantidad de Ni del metal de soldadura (%)	B - A (%)	Hv (BM)	Hv (WM)	Hv(WM)/Hv(BM) (%)	Anchura cordón/ espesor de chapa	δc del metal de soldadura (mm)	δc del FL, HAZ (mm)	
1	1	50	510	100	NA	2,5	0,2	6,2	3,7	185	352	190	0,12	0,74	0,23	
2	1	100	505	100	NA	2,5	0,3	5,9	3,4	185	333	180	0,08	0,88	0,31	
3	1	65	520	200	NB	2,5	0,6	7,8	5,3	185	407	220	0,12	0,71	0,25	
4	1	70	543	50	NB	2,5	0,5	8	5,5	185	389	210	0,09	0,72	0,29	
5	1	100	541	90	NA	2,5	0,3	4,1	1,6	185	204	110	0,19	0,42	0,83	
6	1	60	535	80	NA	2,5	0,2	4,3	1,8	185	222	210	0,15	0,34	0,92	
7	1	55	540	0,02	NB	2,5	0,4	5,3	2,8	185	361	195	0,16	0,58	0,32	
8	2	70	570	0,2	NA	3,5	0,3	6,2	2,7	195	410	210	0,18	0,54	0,43	
9	2	80	565	0,1	NC	3,5	0,4	5,8	2,3	195	400	205	0,1	0,39	0,28	
10	2	65	555	120	NB	3,5	0,4	7,4	3,9	195	332	170	0,12	0,63	0,72	
11	3	75	610	200	NB	5,5	0,3	8	2,5	208	343	165	0,13	0,48	0,72	
12	3	80	580	200	NB	5,5	0,1	6,2	0,7	208	229	110	0,12	0,36	1,02	
13	4	100	634	100	NA	4,2	0,3	5,9	1,7	200	230	115	0,2	0,41	1,12	
14	4	55	640	1000	NB	4,2	0,1	6,3	2,1	201	271	135	0,08	0,25	0,94	
15	4	70	635	100	NB	4,2	0,2	6,8	2,6	201	285	142	0,09	0,65	0,74	
16	1	70	510	100	NA	2,5	0,40	9,5	7	185	463	250	0,08	1,23	0,03	
17	2	65	565	200	NA	3,5	0,50	12	8,5	195	507	260	0,09	0,98	0,06	
18	2	80	560	100	NC	3,5	1,76	8,5	5	195	488	250	0,22	1,05	0,07	
19	3	100	620	100	NB	5,5	0,63	9,2	3,7	208	582	280	0,12	1,06	0,06	

Según la presente invención, en una junta de chapas de acero de alta resistencia, soldadas mediante haz de electrones, que tienen una resistencia y espesor de chapa grande incluso si hay presentes defectos de soldadura o se producen y crecen grietas de fatiga, hay resistencia a la fractura frágil, de manera que es posible impedir la rotura y daños críticos tales como la fractura de la estructura soldada.

- 5 Por consiguiente, la presente invención es una invención que exhibe el notable efecto de aumentar notablemente la seguridad de estructuras soldadas y, por lo tanto, tiene un alto valor de utilización en la industria.

REIVINDICACIONES

1. Una estructura soldada que comprende una junta soldada por haz de electrones, excelente en su resistencia a la fractura frágil en una junta soldada a tope de la estructura soldada, en la que un material base de la estructura soldada es una chapa de acero que tiene un espesor de más de 50 mm, conteniendo dicho material base, en % en masa, C: 0,02 a 0,2%, Mn: 0,8 a 3,5%, S: 0,0005 a 0,0025%, Al: 0,005% o menos, y Ti: 0,01 a 0,05%, y que tiene un valor de Pcm expresado por la siguiente fórmula (a) de 0,12% a 0,5%, y en la que la dureza del metal de soldadura de la junta soldada está por encima del 110% al 220% de la dureza del material base y la anchura del metal de soldadura es el 20% o menos del espesor de la chapa del material base, en la que el metal de soldadura de la junta soldada tiene una cantidad de O de 20 ppm o más, una cantidad de óxidos de un tamaño de grano de 2,0 μm o más, de 10/mm² o menos, y una cantidad de óxidos de Ti que tienen un tamaño de grano de 0,1 μm a menos de 2,0 μm de 30 a 600/mm²:

$$P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \dots\dots (a)$$

Fig.1

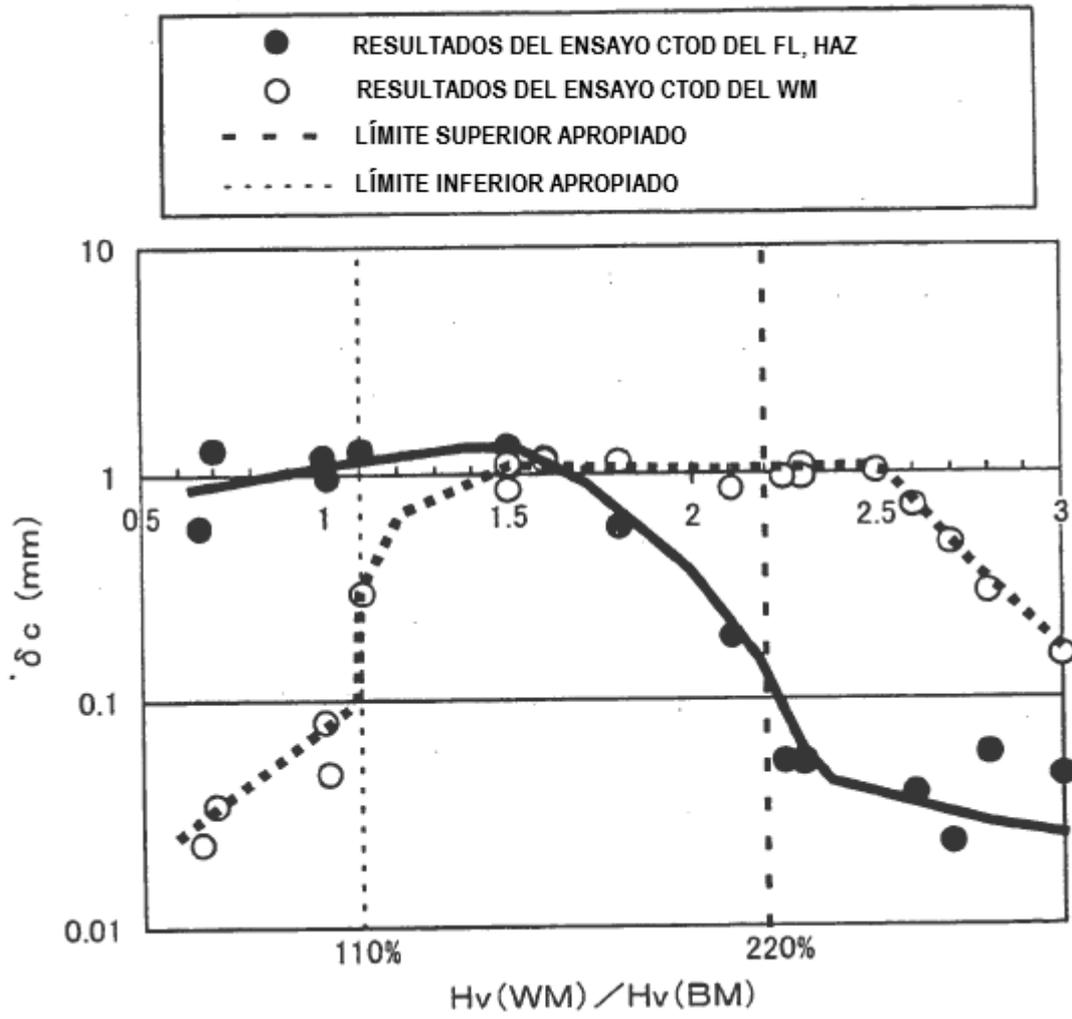


Fig.2

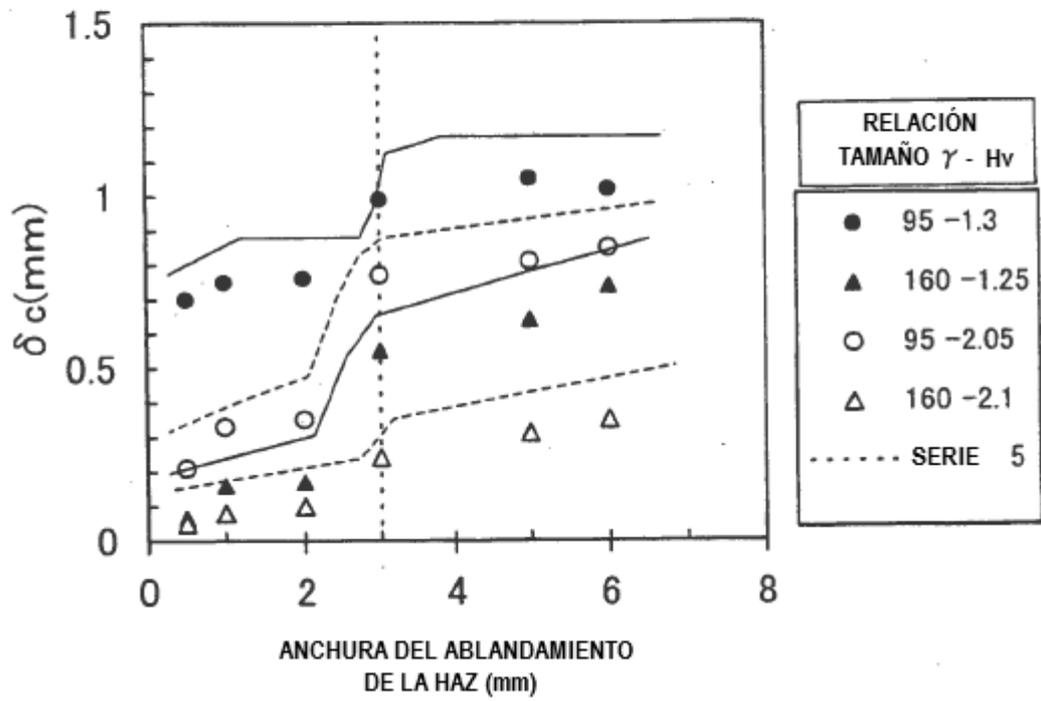


Fig.3

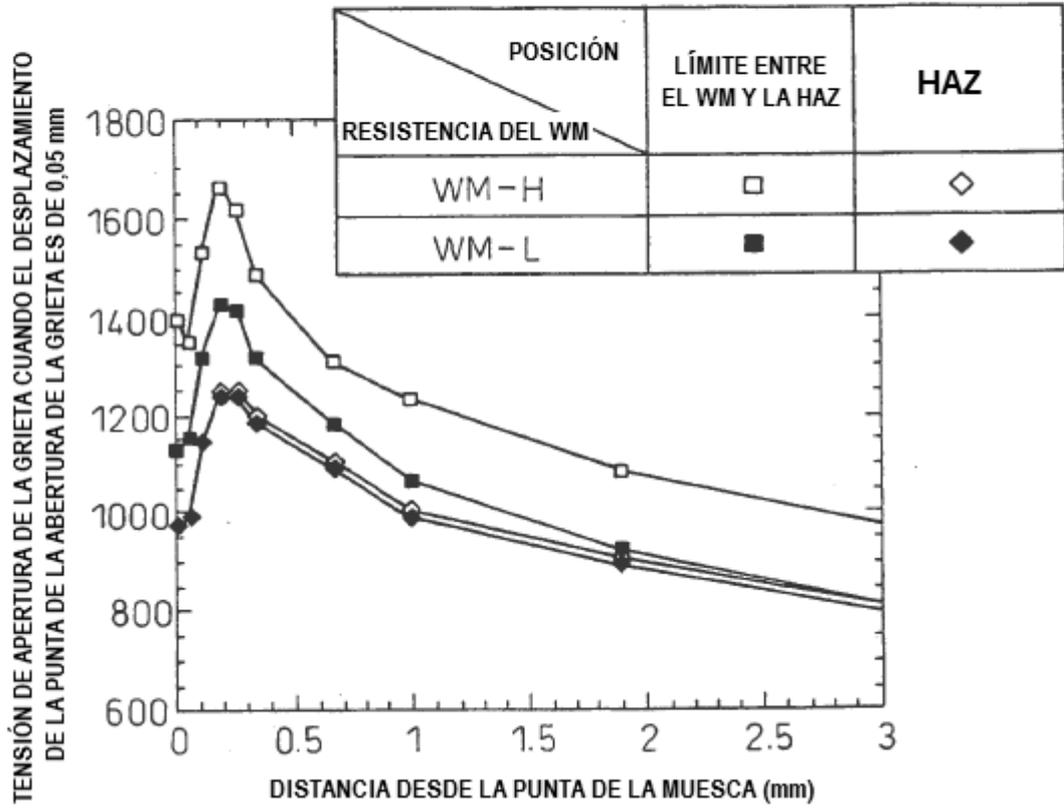


Fig.4

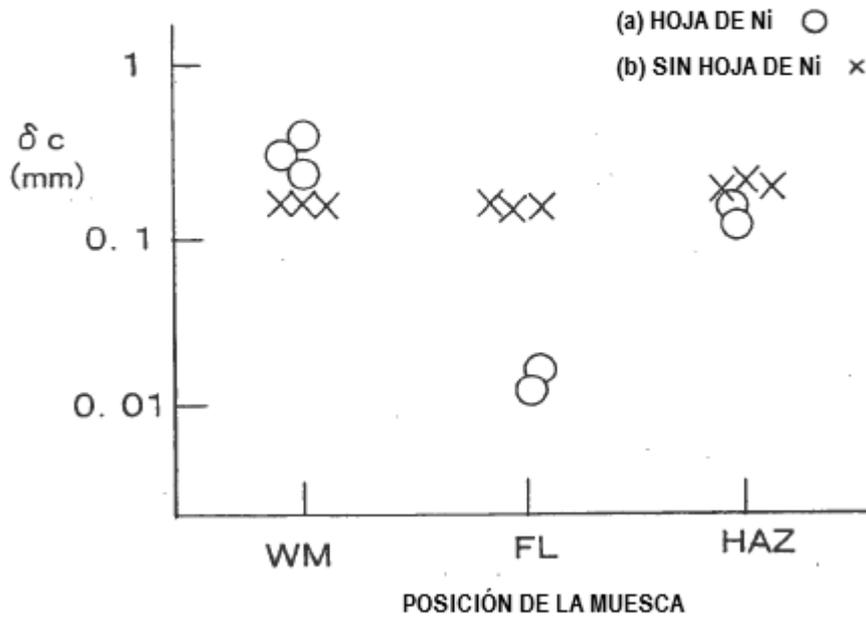


Fig.5

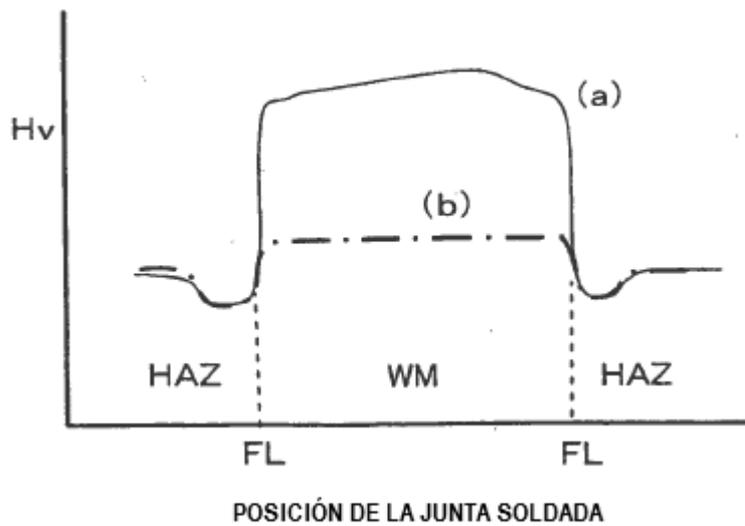


Fig.6

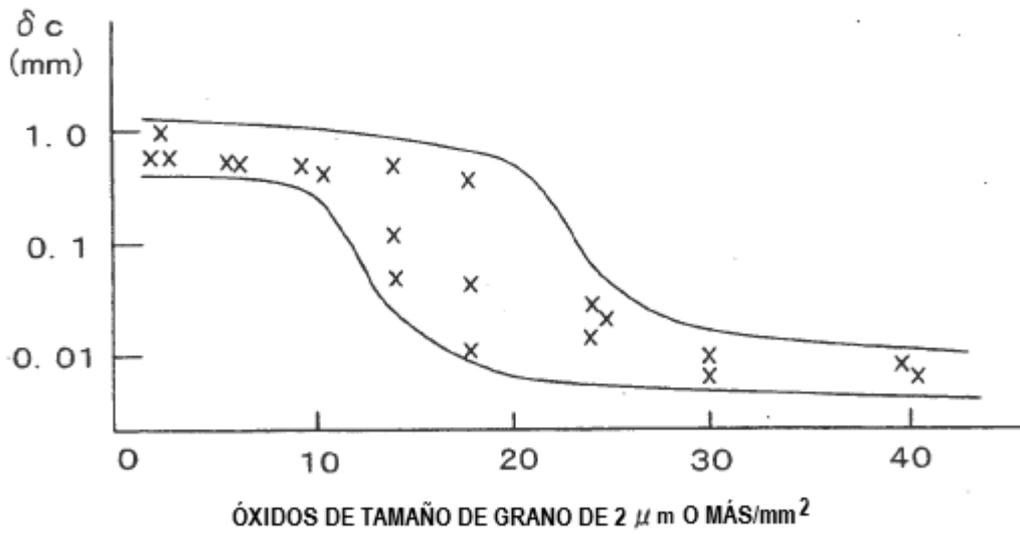


Fig.7

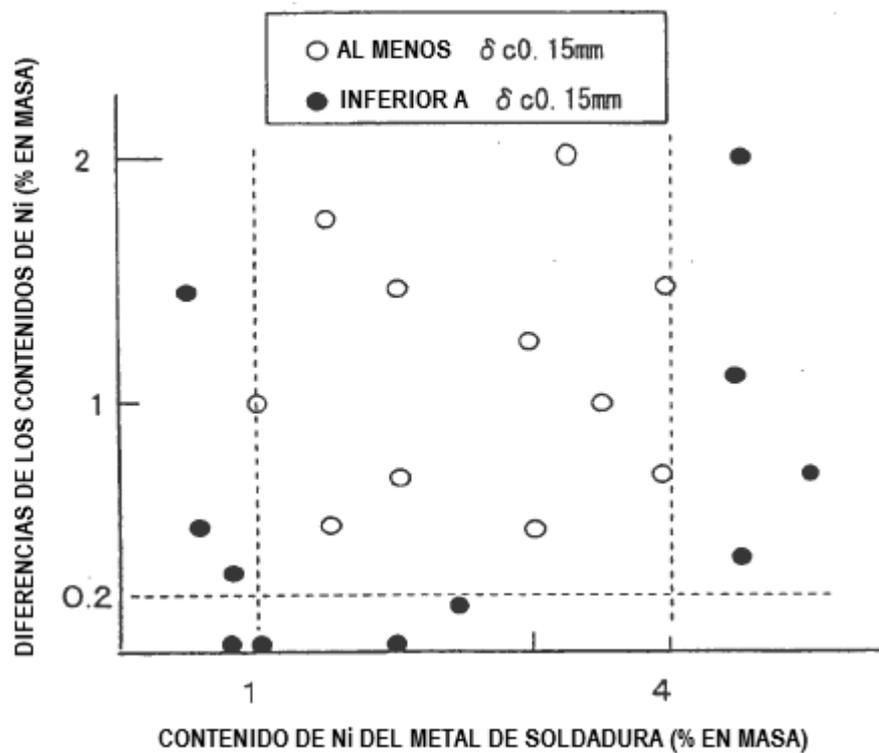


Fig.8

	CANTIDAD DE Ni DEL MATERIAL BASE	
	3%	0%
WM	○	△
FL. HAZ	●	▲

