

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 663 500**

51 Int. Cl.:

**B23K 11/11** (2006.01)

**B23K 11/16** (2006.01)

**B23K 11/24** (2006.01)

**B23K 103/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.06.2014 PCT/JP2014/064616**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.12.2014 WO14196499**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.06.2014 E 14807362 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.01.2018 EP 3006154**

54 Título: **Estructura unida soldada por puntos y método de soldadura por puntos**

30 Prioridad:

**05.06.2013 JP 2013118886**

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

**13.04.2018**

73 Titular/es:

**NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION (100.0%)**

**6-1, Marunouchi 2-chome  
Chiyoda-ku, Tokyo 100-8071, JP**

72 Inventor/es:

**WAKABAYASHI, CHISATO;**

**WATANABE, FUMINORI;**

**FURUSAKO, SEIJI;**

**MIYAZAKI, YASUNOBU;**

**KAWATA, HIROYUKI;**

**OKADA, TOHRU y**

**HAMATANI, HIDEKI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 663 500 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Estructura unida soldada por puntos y método de soldadura por puntos

## 5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención está relacionada con una unión formada superponiendo una pluralidad de pedazos de planchas de acero y realizando soldadura por puntos sobre las planchas de acero.

## ANTECEDENTES DE LA TÉCNICA

10 En los últimos años, en el campo del automóvil se ha demandado la reducción en el peso de la carrocería de un vehículo para lograr eficiencia de combustible y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, a fin de mejorar la seguridad en una colisión, se ha demandado el aumento de la resistencia de miembros de la carrocería de un vehículo. A fin de satisfacer estas demandas, es eficaz usar una plancha de acero de alta resistencia para una carrocería de vehículo, componentes y similares. Cuando se realiza el ensamblaje de la carrocería de vehículo, montaje de un componente y similares, principalmente se usa soldadura por puntos. Cuando se suelda por puntos 15 una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más, la resistencia de una unión soldada se vuelve un problema.

20 En una unión formada superponiendo una pluralidad de pedazos de planchas de acero y realizando soldadura por puntos sobre las planchas de acero (más adelante en esta memoria, referida también como "unión soldada por puntos"), la resistencia a la tracción es una propiedad importante. Dicha resistencia a la tracción incluye una resistencia a cizalladura por tracción (TSS, del inglés *tensile shear strength*) medida bajo una carga de tracción aplicada en una dirección de cizalladura, y una resistencia a la tracción transversal (CTS, del inglés *cross tensile strength*) medida bajo una carga de tracción aplicada en una dirección de desprendimiento. Obsérvese que métodos de medición para la resistencia a cizalladura por tracción y la resistencia a la tracción transversal se definen en los 25 documentos JIS Z 3136 y JIS Z 3137.

30 La CTS en una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero, que cada uno tiene una resistencia a la tracción de 270 MPa a 600 MPa, aumenta según un aumento en la resistencia de las planchas de acero. Por lo tanto, es difícil que ocurra un problema relativo a una resistencia de unión, en la unión soldada por puntos formada de las planchas de acero que cada una tiene una resistencia a la tracción de 270 MPa a 600 MPa. Sin embargo, la CTS en una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más, no aumenta o reduce incluso si aumenta la resistencia a la tracción de las planchas de acero. 35

Generalmente, en una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más, la CTS se reduce fácilmente. Esto es debido a que la concentración de esfuerzos con respecto a una parte soldada se aumenta debido a una disminución de la ductilidad, y debido a que se reduce la tenacidad de la parte soldada dado que la parte soldada se temple. Por esta razón, se demanda una mejora de la CTS en la unión soldada por puntos formada de la pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más. 40

45 Como método para asegurar la resistencia y la tenacidad en la unión soldada por puntos formada de la pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más, hay un método de energización en dos fases en el que se realiza energización principal, y después se realiza pos-energización. La bibliografía de patente 1 describe un método en el que se finaliza la energización principal y después de pasar un tiempo predeterminado, se realiza energización de templado, para de ese modo realizar recocido en una unión soldada por puntos (una parte de lenteja o botón de soldadura y una zona afectada por calor) para reducir la dureza de la unión. 50

Sin embargo, en este método, existe la necesidad de provocar que casi se complete una transformación martensítica antes de realizar la energización de templado. Por consiguiente, se requiere mucho tiempo de enfriamiento tras finalizar la energización principal. Además, en este método, la lenteja o botón de soldadura se ablanda para reducir la fuerza de cizalladura. 55

Además, como método para asegurar la resistencia y la tenacidad en la unión soldada por puntos formada de la pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa o más, hay un método en el que se realiza soldadura, y entonces se calienta una parte soldada por una forma de calentamiento diferente de la soldadura. La bibliografía de patente 2 describe un método en el que se realiza soldadura, y después del mismo, se calienta una parte soldada con alta frecuencia para someterla a tratamiento de templado. 60

Sin embargo, en este método, se requiere otro proceso tras la soldadura, y así el procedimiento de funcionamiento se complica. Además, en este método, se requiere un aparato especial para usar la alta frecuencia. Además, en este método, se ablanda un botón de soldadura para reducir la fuerza de cizalladura. 65

Además, la bibliografía de patente 3 describe un método en el que se forma un botón de soldadura mediante soldadura principal, y entonces se realiza pos-energización con una corriente que es igual o mayor que una corriente de soldadura principal. Sin embargo, en este método, cuando se alarga un tiempo de pos-energización, únicamente se agranda el diámetro de botón de soldadura, y una estructura se convierte en la misma que la obtenida en soldadura convencional.

La bibliografía de patente 4 describe un método en el que se realiza soldadura por puntos sobre planchas de acero que cada una tiene una resistencia a la tracción de 440 MPa o más. En este método, se restringe la composición de los componentes de la plancha de acero para que satisfaga las siguientes condiciones:  $C \times P \leq 0,0025$ ; P: 0,015 % o menos; y S: 0,01 % o menos. Además, tras realizar la soldadura, se realiza tratamiento con calor sobre una parte soldada a 300 °C durante aproximadamente 20 minutos. Sin embargo, en este método, la plancha de acero aplicable está limitada. Adicionalmente, en este método, se tarda tiempo en realizar la soldadura, y así la productividad es baja.

La bibliografía de patente 5 describe una unión soldada por puntos formada de planchas de acero de alta resistencia (resistencia a la tracción: 750 a 1850 MPa, equivalente de carbono  $C_{eq}$ : 0,22 a 0,55 % en masa) en la que se define una microestructura de una zona de capa exterior al botón de soldadura, y un diámetro medio de grano y un número de densidad de carburos en la microestructura. Sin embargo, cuando se produce una fractura fuera del botón de soldadura, la estructura del botón de soldadura no contribuye, y así la definición relacionada con la microestructura ni tiene significado.

La bibliografía de patente 6 describe un método en el que se realiza soldadura por puntos sobre planchas de acero que cada una tiene una resistencia a la tracción de 900 a 1850 MPa, y que tienen un grosor de plancha de 1,8 a 2,8 mm. En este método, tras realizar la soldadura, se realiza sucesivamente pos-energización con una corriente que es de 0,5 veces a 0,9 veces una corriente de soldadura, durante un tiempo que es de 0,3 veces a 0,5 veces un tiempo de soldadura.

Sin embargo, en este método, no se ha realizado suficientemente un estudio relativo al tiempo entre la soldadura principal y la pos-energización, y así el método no contribuye a la mejora de la resistencia de unión.

La bibliografía de patente 7 está relacionada con un método para soldar por puntos láminas de acero de alta resistencia. El método incluye energización en dos fases junto con enfriamiento. En otra realización, el método también incluye energización en tres fases que es realizada en condiciones fijas durante la energización de soldadura.

La bibliografía de patente 8 está relacionada con soldar por puntos una pieza estructural que se fabrica superponiendo las superficies de las láminas de acero. La zona soldada incluye una zona afectada por calor que rodea un botón de soldadura. La dureza en la zona soldada aumenta a lo largo de una región exterior de la zona afectada por calor hacia la zona afectada por calor, y entonces disminuye a lo largo de la zona afectada por calor hacia la región central del botón de soldadura. En una región fronteriza entre el botón de soldadura y la zona afectada por calor, el botón de soldadura puede tener una parte convexa que se abulta dentro de la zona afectada por calor a lo largo de la parte superpuesta. Las láminas de acero contienen carbono al 0,15 % en masa o más.

## LISTA DE CITAS

### BIBLIOGRAFÍA DE PATENTES

- Bibliografía de patente 1: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2002-103048
- Bibliografía de patente 2: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2009-125801
- Bibliografía de patente 3: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2010-115706
- Bibliografía de patente 4: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2010-059451
- Bibliografía de patente 5: Folleto de publicación internacional N.º WO 2011-025015
- Bibliografía de patente 6: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2011-5544
- Bibliografía de patente 7: Patente japonesa abierta a la inspección pública N.º de publicación 2009-241086
- Bibliografía de patente 8: Patente europea N.º de publicación 2460613

## COMPENDIO DE LA INVENCION

### PROBLEMA TÉCNICO

A partir de los antecedentes que se han descrito anteriormente, en una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, la tenacidad se vuelve fácilmente insuficiente, y así ha sido convencionalmente difícil asegurar una resistencia a la tracción trasversal suficientemente alta. Por consiguiente, la presente invención tiene el objeto de mejorar la resistencia a la tracción trasversal de una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa.

## SOLUCIÓN AL PROBLEMA

Una unión soldada por puntos de la presente invención es una unión soldada por puntos formada superponiendo una pluralidad de pedazos de planchas de acero y realizando soldadura por puntos sobre las planchas de acero, incluida una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, estando al menos un pedazo de plancha de acero fuera de la pluralidad de pedazos de planchas de acero, en el que un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representada por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, y existen diez o más de carburos con base de hierro, en cada uno de los cuales una longitud de una parte más larga es 0,1 ( $\mu\text{m}$ ) o más, en una región cuadrada cuya longitud de un lado es 10 ( $\mu\text{m}$ ) en la que una dirección de grosor de plancha y una dirección de superficie de placa de las planchas de acero se establecen a una dirección vertical y una dirección horizontal, respectivamente, estando una región dentro de una zona afectada por calor de una sección transversal que pasa a través de un centro de una marca de soldadura formada sobre superficies de las planchas de acero por la soldadura por puntos, y se corta a lo largo de la dirección de grosor de plancha de las planchas de acero, en el que una posición de un centro de la región cuadrada es una posición, en sección transversal, separada 100 ( $\mu\text{m}$ ) de una posición de una parte extrema de un botón de soldadura en una dirección perpendicular a una tangente a una línea que indica la parte extrema del botón de soldadura, en esa posición, en la que la posición de la parte extrema del botón de soldadura es una posición, de posiciones sobre la línea que indica la parte extrema del botón de soldadura, dentro de un intervalo cuyo centro se establece en un centro en la dirección de grosor de plancha de la unión soldada por puntos y que tiene una longitud de 1/4 veces un grosor total de plancha que es un valor total de grosores de plancha de la pluralidad de pedazos de planchas de acero a lo largo de la dirección de grosor de plancha.

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S.

Un primer ejemplo de un método de soldadura por puntos de la presente invención es un método de soldadura por puntos para superponer una pluralidad de pedazos de planchas de acero y realizar soldadura por puntos sobre las planchas de acero, en el que al menos un pedazo de plancha de acero de la pluralidad de pedazos de planchas de acero es una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, en el que un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representada por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, el método de soldadura por puntos incluye: realizar soldadura principal para energizar electrodos de soldeo con una corriente de soldadura principal  $I_W$  (kA) en un estado en el que la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero son presurizados por los electrodos de soldeo a una fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar la soldadura principal, enfriamiento tras soldadura principal para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  (ms) que satisface la siguiente expresión (C) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la soldadura principal, pos-energización para energizar los electrodos de soldeo con una corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (D) durante un tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (E) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); y mantener, tras finalizar la pos-energización, la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la expresión anterior (B) durante un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) que satisface la siguiente expresión (F), y entonces liberar la presurización a la fuerza de presurización  $F_E$  (N).

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

$$1960 \times h \leq F_E \leq 3920 \times h \dots (B)$$

$$7 \times h + 5 \leq t_S \leq 300 \dots (C)$$

$$0,66 \times I_W \leq I_P < I_W \dots (D)$$

$$48/\{(I_P/I_W)^2 - 0,44\} \leq t_P \dots (E)$$

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (F)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S, y  $h$  en la expresión anterior (B), y la expresión anterior (C) indica un grosor de plancha de la plancha de acero (mm).

Un segundo ejemplo de un método de soldadura por puntos de la presente invención es un método de soldadura por puntos para superponer una pluralidad de pedazos de planchas de acero y realizar soldadura por puntos sobre las planchas de acero, en el que al menos un pedazo de plancha de acero de la pluralidad de pedazos de planchas de acero es una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, en el que un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representada por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, el método de soldadura por puntos incluye: realizar pre-

energización para energizar electrodos de soldeo con una corriente de pre-energización  $I_f$  (kA) que satisface la siguiente expresión (C) durante un tiempo de pre-energización  $t_f$  (ms) que satisface la siguiente expresión (D), en un estado en el que la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero son presurizados por los electrodos de soldeo a una fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar la pre-energización, enfriamiento tras la pre-energización para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero durante un tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  (ms) que satisface la siguiente expresión (E) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la pre-energización, soldadura principal para energizar los electrodos de soldeo con una corriente de soldadura principal  $I_W$  (kA) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar la soldadura principal, enfriamiento tras soldadura principal para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  (ms) que satisface la siguiente expresión (F) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la soldadura principal, pos-energización para energizar los electrodos de soldeo con una corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (G) durante un tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (H) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); y mantener, tras finalizar la pos-energización, la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la expresión anterior (B) durante un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) que satisface la siguiente expresión (I), y entonces liberar la presurización a la fuerza de presurización  $F_E$  (N).

$$C_{eq} = [C] + [Si] / 30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

$$1960 \times h \leq F_E \leq 3920 \times h \dots (B)$$

$$0,40 \times I_W \leq I_f < I_W \dots (C)$$

$$20 \leq t_f \dots (D)$$

$$0 \leq t_C < 200 + 7 \times h \dots (E)$$

$$7 \times h + 5 \leq t_S \leq 300 \dots (F)$$

$$0,66 \times I_W \leq I_P < I_W \dots (G)$$

$$48 / \{(I_P/I_W)^2 - 0,4\} \leq t_P \dots (H)$$

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (I)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S, y h en la expresión anterior (B), la expresión anterior (E), y la expresión anterior (F) indica un grosor de plancha de la plancha de acero (mm).

#### EFFECTOS VENTAJOSOS DE LA INVENCION

Según la presente invención, es posible mejorar la resistencia a la tracción trasversal de una unión soldada por puntos formada de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una disposición de dos pedazos de planchas de acero y electrodos de soldeo cuando se inicia soldadura por puntos.

La figura 2 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un ejemplo de un botón de soldadura y una zona afectada por calor formada por la soldadura por puntos.

La figura 3 es un diagrama que ilustra un ejemplo de primera forma de un patrón de energización.

La figura 4 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una apariencia a mitad de solidificación de una zona fundida que se solidifica para ser un botón de soldadura.

La figura 5 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una relación entre un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal y un grosor de plancha de una plancha de acero.

La figura 6 es un diagrama que ilustra un primer ejemplo de una relación entre un tiempo de pos-energización y el cuadrado de un valor obtenido al dividir una corriente de pos-energización por una corriente de soldadura principal.

La figura 7 es un diagrama que ilustra, de una manera conceptual, un ejemplo de una relación entre el tiempo de pos-energización y un grado de fragilidad de una parte periférica exterior del botón de soldadura y la zona afectada por calor.

La figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de segunda forma de un patrón de energización.

La figura 9 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una relación entre un tiempo de enfriamiento tras la pre-energización y un grosor de plancha de una plancha de acero.

La figura 10 es un diagrama que ilustra un segundo ejemplo de una relación entre un tiempo de pos-

energización y el cuadrado de un valor obtenido al dividir una corriente de pos-energización por una corriente de soldadura principal.

La figura 11A es un diagrama (fotografía) que ilustra un ejemplo de una estructura de una zona afectada por calor de una unión soldada obtenida por soldadura no convencional.

La figura 11B es un diagrama (fotografía) que ilustra un ejemplo de una estructura de una zona afectada por calor de una unión soldada obtenida por soldadura convencional.

La figura 12A es un diagrama que explica un ejemplo de una condición de precipitación de carburos con base de hierro.

La figura 12B es un diagrama que ilustra una parte de una región A en la figura 12A de una manera agrandada.

#### DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES

Los presentes inventores realizaron estudios serios, desde un punto de vista metalúrgico y un punto de vista mecánico, en relación con la razón por la que la resistencia a la tracción transversal (CTS) en la unión soldada por puntos formada de la pluralidad de pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa no puede ser mejorada suficientemente por la técnica convencional en la que se realiza pos-energización tras la soldadura principal. Obsérvese que en la siguiente descripción, a la plancha de acero cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa se le hace referencia como "plancha de acero de alta resistencia" según la necesidad.

Como resultado de esto, se probó que si la tenacidad en el botón de soldadura solo se mejora como en las técnicas convencionales descritas anteriormente, cuando se realiza una prueba de tracción transversal, aunque es posible suprimir una fractura bajo carga baja que ocurre dentro del botón de soldadura, no se puede suprimir suficientemente una fractura bajo carga baja que ocurre en la zona afectada por calor (HAZ, del inglés *heat-affected zone*) en la periferia del botón de soldadura. Aquí, el botón de soldadura indica una parte de una plancha de acero que se funde mediante energización entre electrodos de soldeo y entonces se solidifica. La zona afectada por calor indica una parte de una plancha de acero calentada a una temperatura igual o mayor que el punto Ac1 y menor que una temperatura de fusión.

Como se ha descrito anteriormente, los presentes inventores encontraron que, a fin de obtener una unión soldada por puntos con alta fiabilidad, se necesita mejorar no únicamente la carga de fractura dentro del botón de soldadura sino también la carga de fractura en la parte periférica del botón de soldadura. A fin de lograr eso, en la presente realización, tras formar una región solidificada en una periferia interior de una zona fundida, la región solidificada y una zona afectada por calor que rodea la región solidificada se mantienen a una temperatura alta durante mucho tiempo.

Más adelante en esta memoria, se describirán realizaciones de la presente invención. Básicamente, las realizaciones respectivas que se describen más adelante se realizan manteniendo una región solidificada formada en una periferia interior de una zona fundida y una zona afectada por calor que rodea la región solidificada a una temperatura alta durante mucho tiempo. Sin embargo, no es posible obtener una unión soldada con alta fiabilidad únicamente realizando el mantenimiento durante mucho tiempo que supere un tiempo de mantenimiento convencional.

[Plancha de acero de alta resistencia]

Primero se describirán planchas de acero usadas para soldadura por puntos.

(Tipo de acero)

El tipo de acero no está limitado particularmente. El tipo de acero puede emplear cualquier tipo tal como, por ejemplo, un tipo de estructura de dos fases (por ejemplo, una estructura que contiene martensita en ferrita, o una estructura que contiene bainita en ferrita), un tipo de transformación inducido por alargamiento (una estructura que contiene austenita en ferrita residual), un tipo endurecido (una estructura de martensita), o un tipo microcristalino (una estructura esencialmente hecha de ferrita).

En la presente realización, una unión soldada por puntos usando la plancha de acero de alta resistencia constituida por cualquier tipo de acero, puede suprimir la "reducción y fluctuación" de la resistencia de unión para realizar una buena apariencia por fractura, de modo que es posible obtener una unión soldada con alta fiabilidad.

Obsérvese que un tipo de acero de una plancha de acero que se superpondrá con la plancha de acero de alta resistencia, tampoco está limitado particularmente. También se puede emplear una plancha de acero de un tipo de acero diferente del tipo de acero de la plancha de acero de alta resistencia. Por ejemplo, la plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia también se puede establecer en una plancha de acero dulce. Además, la plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia también puede ser una plancha de acero de un tipo de acero que sea del mismo tipo de acero que la plancha de acero de alta resistencia.

(Resistencia a la tracción)

Una resistencia a la tracción de al menos un pedazo de plancha de acero (plancha de acero de alta resistencia) de una pluralidad de pedazos de planchas de acero superpuestas se establece de 750 MPa a 2500 MPa. Normalmente, conforme aumenta la resistencia a la tracción de una plancha de acero de alta resistencia, se requiere una alta resistencia de unión. Aunque una resistencia a la tracción transversal (CTS) de una unión soldada por puntos aumenta en proporción a una resistencia de una plancha de acero en la clase de 590 MPa a 780 MPa, disminuye en una plancha de acero que tiene una resistencia de 780 MPa o más.

Si la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia es inferior a 750 MPa, la resistencia a la tracción transversal es alta desde el principio, y además, es pequeña una carga con respecto a la unión soldada por puntos. Por consiguiente, es difícil que ocurra un problema en relación con un deterioro de apariencia de fractura en una parte soldada y la resistencia de unión. Por lo tanto, la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia se establece a 750 MPa o más.

Si la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia supera 2500 MPa, se vuelve difícil la supresión de "reducción y fluctuación" de la resistencia de unión. Además, según esto, se vuelve difícil suprimir el deterioro de la apariencia de fractura en la parte soldada, y suprimir la aparición de un defecto o una grieta dentro del botón de soldadura. Por lo tanto, la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia se establece a 2500 MPa o menos.

Obsérvese que una resistencia a la tracción de una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia tampoco se limita particularmente. La plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia también se puede establecer en una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, y también se puede establecer en una plancha de acero cuya resistencia a la tracción es inferior a 750 MPa. Por ejemplo, si la plancha de acero es un miembro de acero usado en el campo de automóviles y similares, la resistencia a la tracción del mismo se puede seleccionar según el miembro de acero a usar.

(Grosor de plancha)

Un grosor de plancha de la plancha de acero de alta resistencia no está limitado particularmente. Por ejemplo, basta un grosor de plancha (de 0,5 mm a 3,2 mm) de una plancha de acero de alta resistencia usada en general para una carrocería de un vehículo o algo semejante de un automóvil. Sin embargo, como una concentración de esfuerzos en una periferia de un botón de soldadura aumenta según un aumento en un grosor de plancha de una plancha de acero de alta resistencia, el grosor de plancha de la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente 2,6 mm o menos.

Un grosor de plancha de una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia no está limitado particularmente. También es posible que grosores de plancha de una pluralidad de pedazos de planchas de acero que se va a superponer sean mutuamente diferentes. Por ejemplo, cuando se superponen tres pedazos o más de planchas de acero, grosores de plancha de los tres pedazos o más de planchas de acero respectivos también pueden ser diferentes entre sí. Únicamente se requiere que al menos un pedazo de plancha de acero de los tres pedazos o más de planchas de acero sea la plancha de acero de alta resistencia, y las otras planchas de acero también puedan ser planchas de acero dulce. Además, cuando se superponen tres pedazos o más de planchas de acero, grosores de plancha de al menos dos pedazos de planchas de acero también pueden ser iguales. Obsérvese que generalmente, un grosor de una plancha de acero es de 6 mm o menos.

(Equivalente de carbono  $C_{eq}$ )

Un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representado por la siguiente expresión (1) está preferiblemente dentro de un intervalo del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa. Si el equivalente de carbono  $C_{eq}$  es inferior al 0,20 % en masa, no es posible obtener una resistencia a la tracción igual o mayor que 750 MPa, que es el valor límite inferior de la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia descrita anteriormente. Por otro lado, no es preferible que el equivalente de carbono  $C_{eq}$  supere el 0,55 % en masa, dado que la resistencia a la tracción supera 2500 MPa, que es el valor límite superior de la resistencia a la tracción de la plancha de acero de alta resistencia descrita anteriormente. El  $C_{eq}$  de una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia puede tomar cualquier valor.

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (1)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S.

(Composición de los componentes)

Únicamente se requiere seleccionar una composición de los componentes que pueda asegurar la resistencia a la tracción (de 750 MPa a 2500 MPa) de la plancha de acero de alta resistencia descrita anteriormente. Cuando se considera que un miembro de acero después de ser sometido a soldadura por puntos se usa principalmente en el campo de automóviles y similares, la composición de los componentes de la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente la siguiente composición de los componentes. Obsérvese que en la descripción que sigue, %

significa % en masa.

((C: del 0,07 % en masa al 0,45 % en masa))

5 El C es un elemento que aumenta la resistencia a la tracción del acero. Es posible que cuanto mayor sea el contenido de C en el acero, mayor se haga la resistencia de un botón de soldadura. Sin embargo, si el contenido de C en el acero es inferior al 0,07 % en masa, es difícil obtener una resistencia a la tracción de 750 MPa o más. Por otro lado, si el contenido de C en el acero supera el 0,45 % en masa, se reduce la facilidad de trabajo de la plancha de acero de alta resistencia. Por lo tanto, el contenido de C en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente del 0,07 % masa al 0,45 % masa.

10 ((Si: del 0,001 % en masa al 2,50 % en masa))  
 El Si es un elemento que aumenta la resistencia de acero por fortalecimiento de solución sólida y fortalecimiento de estructura. Sin embargo, si el contenido de Si en el acero supera el 2,50 % en masa, se reduce la facilidad de trabajo del acero. Mientras, industrialmente es técnicamente difícil reducir el contenido de Si en el acero a menos del 0,001 % en masa. Por lo tanto, el contenido de Si en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente del 0,001 % masa al 2,50 % masa.

20 ((Mn: del 0,8 % en masa al 5,0 % en masa))  
 El Mn es un elemento que aumenta la resistencia del acero. Sin embargo, si el contenido de Mn en el acero supera el 5,0 % en masa, se deteriora la facilidad de trabajo del acero. Por otro lado, si el contenido de Mn en el acero es inferior al 0,8 % en masa, es difícil obtener una resistencia a la tracción de 750 MPa o más. Por lo tanto, el contenido de Mn en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente del 0,8 % masa al 5,0 % masa.

25 ((P: 0,03 % en masa o menos))  
 El P es un elemento que provoca fragilidad de un botón de soldadura. Si un contenido de P en el acero supera el 0,03 % en masa, tiende a ocurrir una grieta en un botón de soldadura, y es difícil obtener una resistencia de unión suficientemente alta. Por lo tanto, el contenido de P en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,03 % en masa o menos. Obsérvese que no es preferible, desde el punto de vista de coste, reducir el contenido de P en el acero a menos del 0,001 % en masa. Por lo tanto, el contenido de P en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,001 % en masa o más. Sin embargo, también es posible establecer el contenido de P en la plancha de acero de alta resistencia a menos del 0,001 % en masa.

35 ((S: 0,01 % en masa o menos))  
 El P es un elemento que provoca fragilidad de un botón de soldadura. Además, el S es un elemento que se une al Mn para formar MnS basto, dificultando de ese modo la facilidad de trabajo del acero. Si el contenido de S en el acero supera el 0,01 % en masa, tiende a ocurrir una grieta en el botón de soldadura, lo que hace difícil obtener una resistencia de unión suficientemente alta. Además, se reduce la facilidad de trabajo del acero. Por lo tanto, el contenido de S en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,01 % en masa o menos. Obsérvese que no es preferible, desde el punto de vista de coste, reducir el contenido de S en el acero a menos del 0,0001 % en masa. Por lo tanto, el contenido de S en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,0001 % en masa o más. Sin embargo, también es posible establecer el contenido de S en la plancha de acero de alta resistencia a menos del 0,0001 % en masa.

45 ((N: 0,01 % en masa o menos))  
 El N es un elemento que forma un nitruro basto que deteriora la facilidad de trabajo del acero. Además, el N es un elemento que provoca la generación de una burbuja en el momento de soldar. Si el contenido de N en el acero supera el 0,01 % en masa, se provoca prominentemente el deterioro de la facilidad de trabajo del acero y la generación de burbuja. Por lo tanto, el contenido de N en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,01 % en masa o menos. Obsérvese que no es preferible, desde el punto de vista de coste, reducir el contenido de N en el acero a menos del 0,0005 % en masa. Por lo tanto, el contenido de N en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,0005 % en masa o más. Sin embargo, también es posible establecer el contenido de N en la plancha de acero de alta resistencia a menos del 0,0005 % en masa.

55 ((O: 0,01 % en masa o menos))  
 El O es un elemento que forma un óxido para deteriorar la facilidad de trabajo del acero. Si el contenido de O en el acero supera el 0,01 % en masa, se provoca prominentemente el deterioro de la facilidad de trabajo del acero. Por lo tanto, el contenido de O en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,01 % en masa o menos. Obsérvese que no es preferible, desde el punto de vista de coste, reducir el contenido de O en la plancha de acero de alta resistencia a menos del 0,0005 % en masa. Por lo tanto, el contenido de O en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 0,0005 % en masa o más. Sin embargo, también es posible establecer el contenido de O en la plancha de acero de alta resistencia a menos del 0,0005 % en masa.

65 ((Al: 1,00 % en masa o menos))  
 El Al es un elemento estabilizador de ferrita y exhibe un efecto tal como supresión de precipitación de cementita durante una transformación de bainita. Por consiguiente, el Al está contenido para controlar una estructura de acero. Además, el Al también funciona como desoxidante. Por otro lado, el Al se oxida fácilmente. Si el contenido de Al

supera el 1,00 % en masa, las inclusiones aumentan, con el resultado de que tiende a ocurrir el deterioro de la facilidad de trabajo del acero. Por lo tanto, el contenido de Al en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente el 1,00 % en masa o menos.

5 La plancha de acero de alta resistencia puede contener selectivamente los siguientes elementos según la necesidad, aparte de los elementos principales descritos anteriormente.

((Ti: del 0,005 % en masa al 0,20 % en masa))

10 ((Nb: del 0,005 % en masa al 0,20 % en masa))

((V: del 0,005 % en masa al 0,20 % en masa))

15 Ti, Nb y V son elementos que contribuyen a un aumento en la resistencia del acero por al menos uno de fortalecimiento por precipitación, fortalecimiento por grano fino por supresión del crecimiento de un grano cristalino de ferrita, y fortalecimiento por dislocación por supresión de recristalización. Sin embargo, si el contenido de cualquiera de los elementos en el acero es inferior al 0,005 % en masa, es difícil que se exhiba el efecto de añadir los elementos. Por otro lado, si el contenido de cada uno de estos elementos en el acero supera el 0,20 % en masa, se dificulta la facilidad de trabajo del acero. Por lo tanto, es preferible que el contenido de estos elementos en la  
20 plancha de acero de alta resistencia sea respectivamente del 0,005 % en masa al 0,20 % en masa.

((B: del 0,0001 % en masa al 0,01 % en masa))

25 El B es un elemento que fortalece el acero al controlar una estructura de acero. Sin embargo, si el contenido de B en el acero es inferior al 0,0001 % en masa, es difícil de que se exhiba el efecto de añadir el elemento. Por otro lado, si el contenido de B en el acero supera el 0,01 % en masa, se satura el efecto de añadir el elemento. Por lo tanto, el contenido de B en la plancha de acero de alta resistencia es preferiblemente del 0,0001 % masa al 0,01 % masa.

((Cr: del 0,01 % en masa al 2,0 % en masa))

30 ((Ni: del 0,01 % en masa al 2,0 % en masa))

((Cu: del 0,01 % en masa al 2,0 % en masa))

35 ((Mo: del 0,01 % en masa al 0,8 % en masa))

Cr, Ni, Cu y Mo son elementos que contribuyen a una mejora de la resistencia del acero. Estos elementos se pueden usar en lugar de una parte de elemento Mn de mejora de resistencia), por ejemplo. Sin embargo, si el contenido de cualquiera de los elementos en el acero es inferior al 0,01 % en masa, no se hace contribución para mejorar la  
40 resistencia.

45 Por lo tanto, es preferible que el contenido de estos elementos en la plancha de acero de alta resistencia sea respectivamente del 0,01 % en masa o más. Por otro lado, si el contenido de cada uno de Cr, Ni y Cu en el acero supera el 2,0 % en masa, y si el contenido de Mo en el acero supera el 0,8 % en masa, a veces ocurren problemas en el momento de decapado o trabajar en caliente. Por lo tanto, es preferible que el contenido de cada uno de Cr, Ni y Cu en la plancha de acero de alta resistencia sea del 2,0 % en masa o menos. Además, es preferible que el contenido de Mo en la plancha de acero de alta resistencia sea del 0,8 % en masa o menos.

(Al menos un tipo de Ca, Ce, Mg y REM (metal de tierra rara): del 0,0001 % en masa al 1,0 % masa en total)

50 Ca, Ce, Mg y REM son elementos que contribuyen a una mejora de la facilidad de trabajo de acero al reducir el tamaño de un óxido tras la desoxidación o un tamaño de un sulfuro existente en una plancha de acero laminada en caliente. Sin embargo, si el contenido de estos elementos en el acero es menos del 0,0001 % en masa en total, es difícil que se exhiba el efecto de añadir los elementos. Por otro lado, si el contenido de estos elementos en el acero supera el 1,0 % en masa en total, se reduce la facilidad de trabajo del acero. Por lo tanto, es preferible que el  
55 contenido de estos elementos en la plancha de acero de alta resistencia sea del 0,0001 % en masa al 1,0 % en masa en total.

60 Obsérvese que el REM es un elemento que pertenece a una serie lantánida, y REM y Ce se pueden añadir como metales de Misch al acero fundido en una fase de fabricación de acero. Además, aparte de La y Ce, pueden contenerse en composición elementos de la serie lantánida.

65 Un equilibrio distinto a los elementos respectivos descritos anteriormente en la plancha de acero de alta resistencia puede ser constituido por  $F_E$  e impurezas inevitables. Obsérvese que en relación con uno cualquiera de Cr, Ni, Cu, Mo, B, Ti, Ni y V descritos anteriormente, se tolera que contenga una cantidad muy pequeña menor que los valores límite inferiores anteriores como impurezas. Además, en relación con Ca, Ce, Mg, La, y REM, se tolera contener una cantidad muy pequeña menor que los valores límite inferiores anteriores de la cantidades totales de los mismos

como impurezas.

Lo anterior es una explicación en relación con la composición de los componentes de la plancha de acero de alta resistencia, y una composición de los componentes de una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia puede emplear cualquier composición de los componentes.

(Metalización)

Sobre una superficie de la plancha de acero de alta resistencia se puede formar una capa de metalización. Además, también es posible que se forme una capa de metalización sobre una superficie de una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia. Como clases de la capa de metalización, se pueden citar, por ejemplo, una base de Zn, una base de Zn-Fe, una base de Zn-Ni, una base de Zn-Al, una base de Zn-Mg, una base de Pb-Sn, una base de Sn-Zn, una base de Al-Si, y similares.

Como plancha de acero de alta resistencia que incluye una capa de metalización con base de Zn, se pueden citar, por ejemplo, una plancha de acero galvanizada aleada sumergida en caliente, una plancha de acero galvanizada sumergida en caliente, una plancha de acero electrogalvanizada, y similares. Cuando la capa de metalización se forma sobre la superficie de la plancha de acero de alta resistencia, una unión soldada por puntos exhibe una excelente resistencia a la corrosión. Si la capa de metalización es una capa galvanizada aleada sobre la superficie de la plancha de acero de alta resistencia, se obtiene una excelente resistencia a la corrosión, y además se vuelve buena la adhesión de material de revestimiento.

Un peso de la capa de metalización tampoco está particularmente limitado. Es preferible establecer un peso de la capa de metalización sobre una superficie de la plancha de acero de alta resistencia a  $100 \text{ g/m}^2$  o menos. Si el peso de la capa de metalización sobre una superficie de la plancha de acero de alta resistencia supera los  $100 \text{ g/m}^2$ , la capa de metalización puede dificultar la soldadura. La capa de metalización se puede formar sobre únicamente una superficie o ambas superficies de la plancha de acero de alta resistencia. Obsérvese que se puede formar una película de recubrimiento inorgánico u orgánico (tal como, por ejemplo, una película de recubrimiento lubricante) o algo semejante sobre una capa de superficie de la capa de metalización. Condiciones iguales que las condiciones en relación con la capa de metalización descritas anteriormente se aplican a una plancha de acero que se va a superponer con la plancha de acero de alta resistencia.

A continuación, se describirán ejemplos de un método de soldadura por puntos.

<Primer ejemplo de método de soldadura por puntos>

Primero se describirá un primer ejemplo del método de soldadura por puntos.

[Soldadura por puntos]

La figura 1 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una disposición de dos pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia y electrodos de soldeo cuando se inicia soldadura por puntos. Como se ilustra en la figura 1, las planchas de acero 1A y 1B se superponen de modo que sus superficies de placa se orientan entre sí. Las planchas de acero superpuestas 1A y 1B son emparedadas por electrodos de soldeo 2A y 2B desde arriba y abajo, y, aplicando una fuerza de presión necesaria, se energizan los electrodos de soldeo 2A y 2B.

La figura 2 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un ejemplo de un botón de soldadura y una zona afectada por calor formada por la soldadura por puntos. La figura 3 es un diagrama que ilustra un ejemplo de primera forma de un patrón de energización cuando se realiza la energización sobre los electrodos de soldeo. Obsérvese que en este caso, a fin de simplificar la explicación, se cita como ejemplo un caso en el que se sueldan por puntos dos pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia. Sin embargo, como se ha descrito anteriormente, incluso en un caso en el que se sueldan por puntos tres pedazos o más de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia, es posible realizar la soldadura por puntos mediante un método igual que el método que se describe más adelante.

Las planchas de acero 1A y 1B, y los electrodos de soldeo 2A y 2B se disponen de una manera como se ilustra en la figura 1. Además, cuando se realiza energización en un patrón de energización ilustrado en la figura 3, por ejemplo, se forma un botón de soldadura 3 en una frontera entre las planchas de acero 1A y 1B, como se ilustra en la figura 2. Además, se forma una zona afectada por calor 4 en una periferia del botón de soldadura 3. Obsérvese que al menos una de las planchas de acero 1A y 1B es la plancha de acero de alta resistencia descrita anteriormente.

Lo siguiente es una explicación en relación con el patrón de energización ilustrado en la figura 3. Obsérvese que una corriente que se describe más adelante indica una corriente que fluye entre el electrodo de soldeo 2A y el electrodo de soldeo 2B. Primero, se aumenta gradualmente un valor de corriente (pendiente ascendente) desde 0 (cero) hasta cuando alcanza un valor de una corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA). Además, se realiza soldadura principal bajo un estado en el que el valor de corriente se establece al valor de la corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA). Cuando se finaliza la soldadura principal, el valor de corriente se establece a 0 (cero), y se mantiene un estado en el que el

valor de corriente es 0 (cero) durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal (solidificación tiempo)  $t_s$  (ms). Después de pasar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  (ms), el valor de corriente se establece a un valor de una corriente de pos-energización  $I_p$  (kA), y se mantiene un estado en el que el valor de corriente es el valor de la corriente de pos-energización  $I_p$  (kA) durante un tiempo de pos-energización  $t_p$  (ms), realizando de ese modo pos-energización. Después de pasar el tiempo de pos-energización  $t_p$  (ms), el valor de corriente se establece a 0 (cero). Obsérvese que un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) indicado en la figura 3 corresponde a un tiempo para mantener una fuerza de presurización  $F_E$  (N) tras finalizar la pos-energización, como se describirá más adelante. Además, también es posible diseñar de manera que el valor de corriente no se aumente gradualmente (pendiente ascendente) desde 0 (cero) hasta cuando alcanza el valor de la corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA), y el valor de corriente se establece inmediatamente al valor de la corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA).

(Fuerza de presurización:  $F_E$ )

La energización con la corriente de soldadura principal  $I_w$  se realiza mientras se presuriza la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero por los electrodos de soldeo 2A y 2B en la fuerza de presurización  $F_E$  que satisface la siguiente expresión (2).

$$1960 \times h \leq F_E \leq 3920 \times h \dots (2)$$

$h$ : grosor de plancha de la plancha de acero (mm)

La fuerza de presurización  $F_E$  de los electrodos de soldeo 2A y 2B con respecto a las planchas de acero 1A y 1B, ejerce una gran influencia en la aparición de un defecto o una grieta dentro del botón de soldadura 3 y en la zona afectada por calor 4. Si la fuerza de presurización  $F_E$  es inferior a " $1960 \times h$ " (N), se hace difícil suprimir la aparición del defecto o la grieta dentro del botón de soldadura 3 y en la zona afectada por calor 4. Como resultado de esto, no es posible mejorar una apariencia de fractura de una unión soldada por puntos, y así es difícil lograr una mejora de la resistencia de unión y una reducción de fluctuación de la resistencia de unión.

Por otro lado, si la fuerza de presurización  $F_E$  supera " $3920 \times h$ " (N), una región que es llevada hasta el contacto con cada uno de los electrodos de soldeo 2A y 2B, en una región de las planchas de acero 1A y 1B, se mella en gran medida. Por lo tanto, se perjudica la apariencia externa, y, además de eso, se reduce la resistencia de unión. Además a fin de obtener que la fuerza de presurización  $F_E$  supere " $3920 \times h$ " (N), se requiere que una pistola de soldadura (un dispositivo que realiza energización aplicando una fuerza de presurización a los electrodos de soldeo 2A y 2B) tenga un brazo robótico con alta rigidez. Por lo tanto, en la presente realización, la fuerza de presurización  $F_E$  de los electrodos de soldeo 2A y 2B con respecto a las planchas de acero 1A y 1B se establece a no menos de " $1960 \times h$ " (N) ni más de " $3920 \times h$ " (N).

Obsérvese que si los diámetros de las puntas de los electrodos de soldeo 2A y 2B se vuelven demasiado grandes, se reducen las presiones de superficie en las puntas de los electrodos de soldeo 2A y 2B. Por consiguiente, se vuelve difícil mejorar la apariencia de fractura. Además, se vuelve difícil lograr la mejora de la resistencia de unión y la reducción en la fluctuación de la resistencia de unión, que se realizan, según la mejora de la apariencia de fractura. Por lo tanto, es preferible que los diámetros de las puntas de los electrodos de soldeo 2A y 2B sean respectivamente de aproximadamente 6 mm a 8 mm.

En la expresión anterior (2),  $h$  indica un grosor de plancha de una plancha de acero (mm). Los grosores de plancha de dos pedazos de planchas de acero son a veces diferentes (en un ejemplo ilustrado en la figura 2, los grosores de plancha de las planchas de acero 1A y 1B son a veces diferentes). En este caso, únicamente se requiere usar un valor medio aritmético de los grosores de plancha de los dos pedazos de planchas de acero (un valor medio aritmético del grosor de plancha de la plancha de acero 1A y el grosor de plancha de la plancha de acero 1B), como " $h$ " en la expresión anterior (2). Si se realiza soldadura por puntos sobre una pluralidad de pedazos de planchas de acero cuyo número es tres o más, se determina una suma total de los grosores de plancha de la pluralidad de pedazos de planchas de acero, y se puede usar un valor obtenido dividiendo por la mitad la suma total como " $h$ " en la expresión anterior (2).

(Corriente de soldadura principal:  $I_w$ )

Los electrodos de soldeo 2A y 2B son energizados con la corriente de soldadura principal  $I_w$  mientras se presurizan las planchas de acero 1A y 1B a la fuerza de presurización  $F_E$  descrita anteriormente, para realizar de ese modo la soldadura principal. La corriente de soldadura principal  $I_w$  y un tiempo de soldadura principal (un tiempo durante el que se hace fluir la corriente de soldadura principal  $I_w$ ) no está limitada particularmente. Únicamente se requiere emplear una corriente de soldadura y un tiempo de energización que sean casi iguales que la corriente de soldadura y un tiempo de energización convencionalmente empleados para obtener establemente un botón de soldadura con un tamaño requerido, como la corriente de soldadura principal  $I_w$  y el tiempo de soldadura principal.

Obsérvese que, por ejemplo, la raíz cuadrada de un valor medio en el tiempo de soldadura principal de valores, cada uno de los cuales es el cuadrado de la corriente de soldadura principal en el tiempo de soldadura principal (específicamente, un valor efectivo de la corriente de soldadura principal), o un valor máximo de la corriente de

soldadura principal, se puede emplear como corriente de soldadura principal  $I_w$ .

Como equipo de soldadura por puntos, se puede usar como tal un equipo convencional de soldadura por puntos usado comúnmente. Además, en relación con electrodos de soldeo y similares, también es posible usar electrodos de soldeo convencionales como tal. Un suministro de energía tampoco está limitado en particular, y se puede usar un suministro de energía de CA, un inversor de CC, un inversor de CA o algo semejante.

(Tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_s$ )

La energización de los electrodos de soldeo 2A y 2B con la corriente de soldadura principal  $I_w$  se realiza durante un tiempo predeterminado, y justo tras finalizar la energización, la energización se detiene mientras se mantiene tal como está la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la soldadura principal (cuando se realiza la energización con la corriente de soldadura principal  $I_w$ ). Posteriormente, se mantiene ese estado durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  (ms) que satisface la siguiente expresión (3). Por consiguiente, una zona fundida se solidifica desde una periferia exterior de la zona fundida (específicamente, una frontera de la zona fundida con otro región), para formar de ese modo una región solidificada en forma de cáscara que tiene una región solidificada que queda dentro de la misma. Obsérvese que en la descripción que sigue, a la frontera de la zona fundida con la otra región se le hace referencia como frontera de fusión según la necesidad.

$$7 \times h + 5 \leq t_s \leq 300 \dots (3)$$

h: grosor de plancha de la plancha de acero (mm)

Justo tras finalizar la energización con la corriente de soldadura principal  $I_w$ , se inicia la solidificación de la zona fundida desde la frontera de fusión. La figura 4 es un diagrama que ilustra esquemáticamente un ejemplo de una apariencia a mitad de la solidificación de la zona fundida que se solidifica para ser un botón de soldadura. Cuando los electrodos de soldeo 2A y 2B son energizados con la corriente de soldadura principal  $I_w$  mientras se presurizan las planchas de acero 1A y 1B con la fuerza de presurización  $F_E$ , se forma una zona fundida que se solidifica para ser un botón de soldadura. Después de eso, cuando se finaliza la energización, la solidificación se inicia desde una frontera de fusión 3a, y tras pasar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$ , se forma una región solidificada 5. En este momento, queda una región sin solidificar 6 dentro de la región solidificada 5. En una periferia de la región solidificada 5, se forma una zona afectada por calor 4.

La región sin solidificar 6 se solidifica para formar un botón de soldadura. En la presente realización, se inicia pos-energización cuando existe la región sin solidificar 6. Específicamente, el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  determina una anchura (longitud en una dirección de superficie de placa) de la región solidificada 5 en el momento de iniciar la pos-energización.

En una plancha de acero de alta resistencia que tiene una cantidad de carbono relativamente grande, ocurre transformación martensítica en un proceso de realizar enfriamiento durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  tras la soldadura principal. En este momento, cuando un grano previo a austenita es grande, aumenta una temperatura de transformación martensítica aparente. Cuando aumenta la temperatura de transformación martensítica, ocurre fácilmente el templado automático (auto-templado). Por lo tanto, se mejora la tenacidad de la zona afectada por calor 4 por pos-energización descrita más adelante. A fin de lograr este efecto, se requiere que la zona afectada por calor 4 sea formada de una monofase austenita. A fin de realizar eso, el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  se tiene que establecer a 300 (ms) o menos.

Además, si el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  supera 300 (ms), se reduce una temperatura para agrandar la región solidificada 5. Por lo tanto, tiene que realizarse la pos-energización durante mucho tiempo para obtener un efecto de pos-energización que se describirá más adelante (efecto de mejora de estructura y mejora de segregación) en una parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 en la periferia del botón de soldadura 3. Por consiguiente, se reduce la productividad de la unión soldada por puntos. Como se han descrito anteriormente, no es realista un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  que supere 300 (ms).

Por otro lado, si el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  es inferior a " $7 \times h + 5$ " (ms), la solidificación de la zona fundida se vuelve insuficiente, dando como resultado que la anchura de la región solidificada 5 se estrecha. Además, si el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  es inferior a " $7 \times h + 5$ " (ms), el grano previo a austenita se vuelve demasiado grande, lo que da como resultado que se reduce la tenacidad de la zona afectada por calor 4, por el contrario, por la pos-energización que se describirá más adelante. Por lo tanto, no es posible lograr el efecto de pos-energización que se describirá más adelante (efecto de mejora de estructura y mejora de segregación), que da como resultado que se vuelve difícil mejorar suficientemente la resistencia de unión. Además, cuanto más grande es el grosor de plancha h de la plancha de acero, más lenta se vuelve la tasa de enfriamiento de las planchas de acero 1A y 1B. Generalmente, cuanto más grande es el grosor de plancha h de la plancha de acero, más largo se vuelve exponencialmente el tiempo de enfriamiento de las planchas de acero 1A y 1B. Sin embargo, en un intervalo general de grosor de una plancha de acero empleada para una unión soldada por puntos (de 0,5 mm a 3,2 mm, por ejemplo), una relación entre el tiempo de enfriamiento de las planchas de acero 1A y 1B y el grosor de plancha h de la plancha de acero se puede aproximar linealmente. Por lo tanto, en la presente

realización, un valor límite inferior del tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  se representa mediante una expresión lineal usando el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero, como se representa con la expresión (3).

Se superpusieron dos pedazos de planchas de acero con diversos grosores de plancha, teniendo cada uno el equivalente de carbono  $C_{eq}$  representado por la expresión anterior (1) de 0,3 % en masa o más, para ser soldados por puntos usando una máquina de soldadura tipo servopistola y realizando soldadura principal, enfriamiento y pos-energización, en este orden, con diversos patrones de energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción transversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base de un método definido en el documento JIS Z 3137. En la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional, según la necesidad.

Además, una unión soldada por puntos que tiene un diámetro de botón de soldadura igual que el diámetro de botón de soldadura de la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional, se obtuvo superponiendo dos pedazos de planchas de acero, teniendo cada uno el equivalente de carbono descrito anteriormente y el grosor de plancha descrito anteriormente, y realizando soldadura por puntos mediante un método igual que el método descrito anteriormente excepto por la realización del enfriamiento tras la soldadura principal y la pos-energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción transversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base del método definido en el documento JIS Z 3137. En la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, según la necesidad.

Se comparó CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional y la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional en la que no se realizó pos-energización. La figura 5 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una relación entre el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  y el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero. En la figura 5, un trazado sobre la base del tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  y el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero cuando la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional se mejoró un 20 % o más, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, se indica mediante  $\circ$ . Además, un trazado sobre la base del tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  y el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero cuando se mejoró CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional pero una cantidad de mejora fue menor del 20 % o cuando no se mejoró, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, se indica mediante  $\blacktriangle$ . Como se ilustra en la figura 5, un eje horizontal indica  $h$  (mm), y un eje vertical indica  $t_S$  (ms). En la figura 5, se determinó una línea de frontera entre  $\circ$  y  $\blacktriangle$  como curva de regresión. A partir de un resultado de la determinación, se obtuvo una expresión lineal que define el valor límite inferior en la expresión anterior (3).

A partir de la descripción anterior, en la presente realización, el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  se establece a no menos de " $7 X h + 5$ " (ms) ni más de 300 (ms). Obsérvese que a fin de evitar la reducción en la productividad de la unión soldada por puntos, es más preferible establecer el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  a no menos de " $7 X h + 5$ " (ms) ni más de 250 (ms). Además, a fin de facilitar la formación de la región solidificada 5, es preferible no realizar energización durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ . Sin embargo, también es posible energizar los electrodos de soldeo 2A y 2B con una corriente que sea 0,5 veces o menos la corriente de soldadura principal  $I_W$  durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  para ajustar una velocidad de formación y una temperatura de la región solidificada 5. Obsérvese que como grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero en la expresión (3), se emplea un valor igual que el valor del grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero en la expresión anterior (2), por ejemplo. Además, es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la soldadura principal sea mantenida tal como está durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ . Sin embargo, también es posible que la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  sea diferente de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la soldadura principal, dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2).

(Corriente de pos-energización:  $I_P$ , tiempo de pos-energización:  $t_P$ ) Cuando pasa el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ , y justo después de formarse la región solidificada 5 con una anchura requerida, los electrodos de soldeo 2A y 2B son energizados con una corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (4) durante un tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (5) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) aplicada cuando se realiza la soldadura principal, para realizar de ese modo pos-energización.

$$0,66 X I_W \leq I_P < I_W \dots (4)$$

$I_W$ : corriente de soldadura principal (kA)

$$48/(\alpha^2 - 0,44) \leq t_P \dots (5)$$

$$\alpha = I_P/I_W$$

Por lo tanto, la expresión (5) se puede reescribir de la siguiente manera.

$$48/((I_P/I_W)^2 - 0,44) \leq t_P \dots (5)$$

5 Como se ha descrito anteriormente, la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de pos-energización  $t_P$  se establece a la fuerza de presurización que satisface la expresión anterior (2). Es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que esta fuerza de presurización  $F_E$  sea establecida normalmente a una fuerza de presurización igual que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la soldadura principal (cuando se realiza la energización con la corriente de soldadura principal  $I_W$ ), y cuando la zona fundida se solidifica desde la frontera de fusión para formar la región solidificada en forma de cáscara 5 (durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ ). Sin embargo, siempre que la fuerza de presurización esté dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2), la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de pos-energización  $t_P$  no siempre tiene que ser la misma fuerza de presurización que la aplicada cuando se realizan estas operaciones.

15 La corriente de pos-energización  $I_P$  ejerce una gran influencia sobre una estructura y una segregación de la región solidificada en forma de cáscara 5, una estructura y una segregación del botón de soldadura 3 formado tras terminar de solidificación, y una estructura y una segregación de la zona afectada por calor 4. Si la corriente de pos-energización  $I_P$  es inferior a "0,66 X  $I_W$ " (kA), un aporte de calor en la región solidificada 5 y la zona afectada por calor 4 es insuficiente, lo que da como resultado que no se pueda lograr el efecto de mejorar la estructura y la segregación (efecto de mejora de estructura y mejora de segregación).

20 Por otro lado, si la corriente de pos-energización  $I_P$  es igual o mayor que la corriente de soldadura principal  $I_W$  (kA), aumenta demasiado una temperatura de la región solidificada 5 y la zona afectada por calor 4. Además, se funde de nuevo la región solidificada 5. Por lo tanto, no se puede lograr el efecto de mejorar la estructura y la segregación (efecto de mejora de estructura y mejora de segregación).

25 Por consiguiente, en la presente realización, la corriente de pos-energización  $I_P$  se establece a "0,66 X  $I_W$ " (kA) o más y menos que " $I_W$ " (kA). Obsérvese que a fin de obtener el efecto de mejorar la estructura y la segregación con más seguridad, es preferible establecer la corriente de pos-energización  $I_P$  a no menos de "0,70 X  $I_W$ " (kA) ni más de "0,98 X  $I_W$ " (kA). Obsérvese que cuando se emplea un valor efectivo como corriente de soldadura principal  $I_W$ , es preferible que la corriente de pos-energización  $I_P$  también emplee un valor efectivo. Además, cuando se emplea un valor máximo como corriente de soldadura principal  $I_W$ , es preferible que la corriente de pos-energización  $I_P$  también emplee un valor máximo.

35 En el método de soldadura por puntos de la presente realización, los electrodos de soldeo 2A y 2B son energizados con la corriente de pos-energización  $I_P$  durante un tiempo que satisface la expresión anterior (5) (tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms)). Por consiguiente, se mejora la estructura y la segregación en la región solidificada 5 y la zona afectada por calor 4, para aumentar de ese modo la fiabilidad de la unión soldada.

40 En relación con el tiempo de pos-energización  $t_P$ , hay una descripción en un párrafo [0087] en la bibliografía de patente 5, que "cuando el tiempo supera 100 ms, se vuelve pequeño el efecto de mejorar la resistencia de unión y reducir la fluctuación de la resistencia de unión, y, además, se reduce la productividad". Específicamente, la bibliografía de patente 5 describe que el tiempo de pos-energización  $t_P$  se debe establecer a 200 (ms) o menos.

45 Sin embargo, en años recientes, la mejora de CTS en planchas de acero de alta resistencia es un asunto de importancia. Por consiguiente, los presentes inventores realizaron estudios serios en relación con el método de aumentar aún más la resistencia de unión de la unión soldada por puntos, sin adherirse al sentido común convencional ni a una visión predispuesta.

50 La bibliografía de patente 5 describe una estructura dentro de un botón de soldadura. Sin embargo, no se hace descripción en relación con un plan de mejora de CTS cuando ocurre una fractura de tapón. Por consiguiente, los presentes inventores realizaron experimentos sistemáticos en relación con pos-energización que aumenta aún más la CTS cuando ocurre la fractura de tapón.

55 Como se describe en la sección de (tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_S$ ), se superpusieron dos pedazos de planchas de acero con diversos grosores de plancha, teniendo cada uno el equivalente de carbono  $C_{eq}$  representado por la expresión anterior (1) de 0,3 % en masa o más, para ser soldados por puntos usando una máquina de soldadura tipo servopistola y realizando soldadura principal, enfriamiento y pos-energización, en este orden, con diversos patrones de energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción trasversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base del método definido en el documento JIS Z 3137. Como se describe en la sección de (tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_S$ ), en la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional, según la necesidad.

65 Además, como se describe en la sección de (tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_S$ ), además, una unión soldada por puntos que tiene un diámetro de botón de soldadura igual que el diámetro de botón de soldadura

de la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional, se obtuvo superponiendo dos pedazos de planchas de acero, teniendo cada uno el equivalente de carbono descrito anteriormente y el grosor de plancha descrito anteriormente, y realizando soldadura por puntos mediante un método igual que el método descrito anteriormente excepto por la realización del enfriamiento tras la soldadura principal y la pos-energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción trasversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base del método definido en el documento JIS Z 3137. Como se describe en la sección de (tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_s$ ), en la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, según la necesidad.

Se comparó CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional y la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional en la que no se realizó pos-energización. La figura 6 es un diagrama que ilustra un primer ejemplo de una relación entre el tiempo de pos-energización y el cuadrado de un valor obtenido al dividir la corriente de pos-energización por la corriente de soldadura principal  $I_w$  ( $(I_p/I_w)^2$ ). En la figura 6, un trazado sobre la base del tiempo de pos-energización  $t_P$ , la corriente de pos-energización  $I_P$ , y la corriente de soldadura principal  $I_w$ , cuando la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional se mejoró un 20 % o más, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, se indica mediante  $\circ$ . Además, un trazado sobre la base del tiempo de pos-energización  $t_P$ , la corriente de pos-energización  $I_P$ , y la corriente de soldadura principal  $I_w$ , cuando se mejoró la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional pero una cantidad de mejora fue menos del 20 % o cuando no se mejoró, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, se indica mediante  $\blacktriangle$ . Como se ilustra en la figura 6, un eje horizontal indica  $(I_p/I_w)^2$ , y un eje vertical indica  $t_P$  (ms).

La fractura de tapón en la unión soldada por puntos ocurre en la zona afectada por calor 4. Por lo tanto, se estimó que se genera una diferencia en resistencias a fractura de tapón por una diferencia en fuerzas de resistencia con respecto a una propagación de grieta en la zona afectada por calor 4, es decir, una diferencia de tenacidad de la zona afectada por calor 4. Por consiguiente, mediante FE-EPMA se midió una distribución de concentración de P y S que ejercen una gran influencia en la tenacidad de la zona afectada por calor 4. Como resultado de esto, en la figura 6, se encontró que en la zona afectada por calor 4 de la unión soldada obtenida mediante primera soldadura no convencional obtenida bajo las condiciones (el tiempo de pos-energización  $t_P$ , la corriente de pos-energización  $I_P$ , y la corriente de soldadura principal  $I_w$ ) indicada por O, la segregación de P y S se reduce enormemente, cuando se compara con la de la zona afectada por calor 4 de la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional. Específicamente, se puede suponer que la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 se mantuvieron a una temperatura alta por el calor generado a través de la pos-energización, dando como resultado que la segregación de P y S se redujo enormemente.

Si la región solidificada 5 formada en la periferia interior de la frontera fundida se funde de nuevo por la pos-energización, la segregación de P y S aumenta en la región resolidificada, dando como resultado que se reduce la tenacidad del botón de soldadura 3. Como resultado de esto, la fractura ocurre dentro del botón de soldadura 3 incluso bajo poca carga. Por lo tanto, se requiere que la corriente de pos-energización  $I_P$  sea una corriente de un valor en el que no ocurre la fusión de la región solidificada 5. Específicamente, se requiere que se satisfaga la condición de  $I_w > I_P$ .  $I_P/I_w$  es un índice para determinar una cantidad aportada de calor cuando se realiza la pos-energización (el tamaño del botón de soldadura 3). Por consiguiente,  $I_P/I_w$  se expresa como  $\alpha$  ( $<1$ ).

El calor generado en la pos-energización es en proporción al cuadrado de la corriente de pos-energización  $I_P$ . Por lo tanto, en la figura 6 el eje horizontal adopta  $(I_p/I_w)^2$ . Además, una parte del calor generado en la pos-energización se escapa todo sobre los electrodos de soldeo 2A y 2B y las planchas de acero 1A y 1B. Una cantidad del calor que se va a escapar se establece a  $\beta$ . Por consiguiente, una cantidad de calor  $Q$  que actúa sobre el aumento de temperatura del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 durante la pos-energización, se puede representar mediante la siguiente expresión (6).

$$Q \propto (\alpha^2 - \beta) \times t_P \dots (6)$$

$$\alpha = I_P / I_w$$

Como se han descrito anteriormente, al determinar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  como en la expresión (3), tiende a ocurrir el templado automático provocado por la pos-energización. Existe la necesidad de realizar energización con la corriente de pos-energización  $I_P$  durante un tiempo requerido para mejorar la tenacidad de la zona afectada por calor 4 realizada por el templado automático.

Además, a fin de reducir la segregación de P y S en la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 en la periferia del botón de soldadura 3 para mejorar suficientemente la tenacidad del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4, se requiere una cantidad de calor que supera una cantidad de calor A que es una cantidad predeterminada. Por lo tanto, una condición para mejorar la tenacidad de la zona soldada por puntos se representa mediante una expresión (8), que se obtiene al modificar la siguiente expresión (7).

$$A < (\alpha^2 - \beta) \times t_p \dots (7)$$

$$A/(\alpha^2 - \beta) < t_p \dots (8)$$

5 En la figura 6, se determinó una línea de frontera entre  $\circ$  y  $\blacktriangle$  como curva de regresión (específicamente, se determinaron coeficientes A y  $\beta$  en la expresión (8)). A partir de un resultado de la determinación, se obtuvo la expresión anterior (5).

10 A fin de realizar la difusión de P y S para reducir la segregación de P y S en la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4, existe la necesidad de calentar la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 a 1050 °C o más. A fin de realizar eso, se requiere una condición que satisfaga  $\alpha \geq 0,66$ .

15 La figura 7 es un diagrama que ilustra, de una manera conceptual, un ejemplo de una relación entre el tiempo de pos-energización  $t_p$  y el grado de fragilidad de una parte periférica exterior del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4. La figura 7 ilustra, de una manera conceptual, una secuencia de acontecimientos en la que se reduce la segregación de P y S y se mejora la tenacidad. En la figura 7, un eje vertical indica un grado de fragilidad provocado por la segregación o insuficiente templado automático. Conforme se reduce el valor en el eje vertical, se reduce la segregación y se realiza suficientemente el templado automático, dando como resultado que se mejora la tenacidad. Una temperatura en la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 alcanza una temperatura sustancialmente estable ( $\approx$  punto de fusión) debido a la soldadura principal realizada para formar la parte soldada, y así se aumenta completamente. Por el contrario, una temperatura de la zona afectada por calor 4 no es aumentada suficientemente por la soldadura principal.

25 Además, cuando se inicia la pos-energización, la temperatura de la zona afectada por calor 4 es inferior a la temperatura de la parte periférica exterior del botón de soldadura 3 que se acaba de solidificar y así tiene una temperatura alta. Por esta razón, lleva mucho tiempo realizar tratamiento con calor manteniendo la zona afectada por calor 4 a una temperatura alta con el uso de la pos-energización, cuando se compara con un tiempo requerido para realizar tratamiento con calor en la parte periférica exterior del botón de soldadura 3. Este se puede estimar para que sea una razón por la que se puede obtener el resultado de la figura 6. Si el tiempo de pos-energización  $t_p$  es inferior a 200 (ms), un intervalo de selección del  $\alpha$  mencionado anteriormente ( $= I_p/I_w$ ) se vuelve estrecho (consúltese la figura 6). Por lo tanto, es preferible establecer el tiempo de pos-energización  $t_p$  a 200 (ms) o más, y es más preferible establecer el tiempo de pos-energización  $t_p$  a 400 (ms) o más. Aunque no se define particularmente un valor límite superior del tiempo de pos-energización  $t_p$ , el valor límite superior es preferiblemente 2000 (ms) o menos, cuando se tiene en consideración la productividad de la unión soldada por puntos.

(Tiempo de mantenimiento:  $t_H$ )

40 Tras realizar la pos-energización bajo las condiciones descritas anteriormente, las planchas de acero mutuamente superpuestas 1A y 1B son presurizadas y mantenidas por los electrodos de soldeo 2A y 2B durante un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) definido por la siguiente expresión (9), y entonces se libera la presurización.

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (9)$$

45 Obsérvese que la fuerza de presurización  $F_E$  (N) aplicada cuando las planchas de acero 1A y 1B son presurizadas y mantenidas por los electrodos de soldeo 2A y 2B durante el tiempo de mantenimiento  $t_H$  dentro del intervalo representado por la expresión (9), está dentro de un intervalo definido por la expresión anterior (2), por ejemplo.

50 El tiempo de mantenimiento  $t_H$  ejerce una influencia en la aparición de un defecto o una grieta en una estructura del botón de soldadura 3 y la zona afectada por calor 4 y dentro de botón de soldadura 3. Cuando el tiempo de mantenimiento  $t_H$  supera 300 (ms), se reduce la productividad de la unión soldada por puntos. Por lo tanto, en la presente realización, el tiempo de mantenimiento  $t_H$  se establece a 300 (ms) o menos. El tiempo de mantenimiento  $t_H$  es deseablemente corto, a fin de lograr establemente un efecto deseado al iniciar el enfriamiento por aire en una fase temprana.

55 Obsérvese que en una máquina de soldadura existente, se retrasa el funcionamiento de la pistola de soldadura, de modo que el tiempo de mantenimiento  $t_H$  real normalmente se vuelve más largo que el tiempo de mantenimiento  $t_H$  establecido. Por lo tanto, existe la necesidad de tener en consideración el hecho anterior para establecer el tiempo de mantenimiento  $t_H$ . Además, también se reduce la temperatura del botón de soldadura 3 cuando se realiza la pos-energización. Por consiguiente, incluso si se acorta el tiempo de mantenimiento  $t_H$ , es difícil que ocurra un defecto de contracción o una grieta. Por lo tanto, si es posible separar inmediatamente los electrodos de soldeo 2A y 2B de las planchas de acero 1A y 1B, el tiempo de mantenimiento  $t_H$  también se puede establecer a 0 (cero). Cuando el tiempo de mantenimiento no se establece a 0 (cero), la expresión (9) se convierte en la siguiente expresión (9a).

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (9a)$$

65

<Segundo ejemplo de método de soldadura por puntos>

A continuación se describirá un segundo ejemplo del método de soldadura por puntos. En el primer ejemplo del método de soldadura por puntos, se hizo una explicación citando un caso en el que se realiza dos veces la energización, incluida la soldadura principal y la pos-energización, como ejemplo. Por el contrario, en el segundo ejemplo del método de soldadura por puntos, se hará una explicación citando un caso en el que se realiza pre-energización, y entonces se realiza soldadura principal y pos-energización, como ejemplo. Como se ha descrito anteriormente, la presente ejemplo es diferente del primer ejemplo en el punto que se añade la pre-energización, y el punto de que se puede cambiar la expresión anterior (5) debido a la adición de la pre-energización. Por lo tanto, en la explicación de la presente ejemplo, piezas iguales a las del primer ejemplo se denotan por numerales de referencia iguales a los de la figura 1 a la figura 7, para omitir de ese modo una explicación detallada.

También en el presente ejemplo, la plancha de acero 1A y la plancha de acero 1B se superponen de modo que sus superficies de placa se orientan entre sí, como se ilustra en la figura 1. La plancha de acero 1A y la plancha de acero 1B superpuestas son emparejadas por el electrodo de soldeo 2A y el electrodo de soldeo 2B desde arriba y abajo, y la energización se realiza aplicando una fuerza de presurización requerida. También en el presente ejemplo, a fin de simplificar la explicación, se cita como ejemplo un caso en el que se sueldan por puntos dos pedazos de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia. Sin embargo, incluso en un caso en el que se sueldan por puntos tres pedazos o más de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia, es posible realizar la soldadura por puntos mediante un método igual que el método que se describe más adelante. Por ejemplo, en un estado en el que, de tres pedazos o más de planchas de acero que incluyen al menos dos pedazos de planchas de acero de alta resistencia, los al menos dos pedazos de planchas de acero de alta resistencia se superponen mutuamente, los tres pedazos o más de planchas de acero se pueden soldar por puntos.

Una plancha de acero de alta resistencia generalmente tiene una gran resistencia eléctrica, de modo que tiende a ocurrir generación calor cuando se realiza soldadura principal. Además, cuando se realiza soldadura principal, puede existir una holgura entre dos pedazos de planchas de acero mutuamente adyacentes. Si una presión interna de un metal fundido supera una presión externa que actúa en una cohesión de corona cuando se realiza soldadura principal, ocurre una expulsión. Uno de los objetos de realizar la pre-energización es suprimir la aparición de expulsión.

La figura 8 es un diagrama que ilustra un ejemplo de segunda forma de un patrón de energización cuando se realiza energización en electrodos de soldeo. Primero, se establece un valor de corriente a un valor de corriente de pre-energización  $I_f$  (kA), y durante un tiempo de pre-energización  $t_f$  (ms) se mantiene un estado en el que el valor de corriente es el valor de corriente de pre-energización  $I_f$  (kA), para de ese modo realizar pre-energización. Después de pasar el tiempo de pre-energización  $t_f$  (ms), el valor de corriente se establece a 0 (cero), y se mantiene un estado en el que el valor de corriente es 0 (cero) durante un tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  (ms). Tras pasar el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$ , se realiza la soldadura principal bajo un estado en el que el valor de corriente se establece al valor de la corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA). Cuando se finaliza la soldadura principal, el valor de corriente se establece a 0 (cero), y se mantiene un estado en el que el valor de corriente es 0 (cero) durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal (solidificación tiempo)  $t_s$  (ms). Después de pasar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_s$  (ms), el valor de corriente se establece al valor de la corriente de pos-energización  $I_p$  (kA), y se mantiene un estado en el que el valor de corriente es el valor de la corriente de pos-energización  $I_p$  (kA) durante el tiempo de pos-energización  $t_p$  (ms), realizando de ese modo la pos-energización. Después de pasar el tiempo de pos-energización  $t_p$  (ms), el valor de corriente se establece a 0 (cero). Obsérvese que el tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) indicado en la figura 8 corresponde a un tiempo para mantener la fuerza de presurización  $F_E$  (N) tras finalizar la pos-energización, como se describe en el primer ejemplo. Además, también es posible diseñar de manera que, cuando se inicia la pre-energización, el valor de corriente no se establece al valor de la corriente de pre-energización  $I_f$  (kA) inmediatamente, y es aumentado gradualmente (pendiente ascendente) desde 0 (cero) hasta cuando alcanza el valor de la corriente de pre-energización  $I_f$  (kA).

(Fuerza de presurización:  $F_E$ )

La energización con la corriente de pre-energización  $I_f$  se realiza mientras se presuriza la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero por los electrodos de soldeo 2A y 2B en la fuerza de presurización  $F_E$  que satisface la expresión anterior (2). En la pre-energización, la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero son presurizados para impedir una generación de holgura entre los dos pedazos de planchas de acero 1A y 1B adyacentes. En la presente realización, un intervalo de la fuerza de presurización  $F_E$  en la pre-energización se establece a un intervalo igual que el intervalo de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicado en la soldadura principal y la pos-energización, aumentando de ese modo el rendimiento de trabajo.

(Corriente de pre-energización:  $I_f$ , tiempo de pre-energización:  $t_f$ )

Mientras se presurizan las planchas de acero 1A y 1B a la fuerza de presurización  $F_E$  descrita anteriormente, se realiza energización con la corriente de pre-energización  $I_f$  (kA) que satisface la siguiente expresión (10) entre los electrodos de soldeo 2A y 2B durante el tiempo de pre-energización  $t_f$  (ms) que satisface la siguiente expresión (11), para realizar de ese modo la pre-energización.

$$0,40 \times I_w \leq I_f < I_w \dots (10)$$

$I_w$ : corriente de soldadura principal (kA)

5  $20 \leq t_f \dots (11)$

10 Si la corriente de pre-energización  $I_f$  se establece igual o mayor que la corriente de soldadura principal  $I_w$ , hay una posibilidad de que ocurra la expulsión cuando se realiza la pre-energización. Por otro lado, si la corriente de pre-energización  $I_f$  se establece a menos de 0,4 veces la corriente de soldadura principal  $I_w$ , se vuelve insuficiente una cantidad de calor a suministrar a las planchas de acero 1A y 1B. En consecuencia, hay una posibilidad de que las planchas de acero 1A y 1B no se puedan ablandar, y no es posible reducir suficientemente la holgura entre las planchas de acero 1A y 1B mediante la presurización descrita anteriormente, dando como resultado que la expulsión ocurre cuando se realiza la soldadura principal. A partir de la descripción anterior, en la presente realización, la corriente de pre-energización  $I_f$  se establece a 0,4 veces o más la corriente de soldadura principal  $I_w$  y menor que la corriente de soldadura principal  $I_w$ . Sin embargo, a fin de suprimir la aparición de expulsión con más seguridad, es preferible establecer la corriente de pre-energización  $I_f$  para que entre dentro de un intervalo de 0,6 veces o más la corriente de soldadura principal  $I_w$  y 0,95 veces o menos la corriente de soldadura principal  $I_w$ . Obsérvese que cuando se emplea un valor efectivo como corriente de soldadura principal  $I_w$ , es preferible que la corriente de pre-energización  $I_f$  también emplee un valor efectivo. Además, cuando se emplea un valor máximo como corriente de soldadura principal  $I_w$ , es preferible que la corriente de pre-energización  $I_f$  también emplee un valor máximo.

20 Si el tiempo de pre-energización  $t_f$  es inferior a 20 (ms), se vuelve insuficiente una cantidad de calor a suministrar a las planchas de acero 1A y 1B. En consecuencia, hay una posibilidad de que las planchas de acero 1A y 1B no se puedan ablandar, y no es posible reducir suficientemente la holgura entre las planchas de acero 1A y 1B mediante la presurización descrita anteriormente, dando como resultado que la expulsión ocurre cuando se realiza la soldadura principal. Cuando se emplea la corriente de soldadura principal  $I_w$  dentro del intervalo representado por la expresión anterior (10), incluso si el tiempo de pre-energización  $t_f$  es largo, es posible suprimir la aparición de expulsión cuando se realiza la soldadura principal. Por lo tanto, aunque no se define particularmente un valor límite superior del tiempo de pre-energización  $t_f$ , el valor límite superior es preferiblemente 300 (ms) o menos, cuando se tiene en consideración la productividad de la unión soldada por puntos.

(Tiempo de enfriamiento tras la pre-energización:  $t_c$ )

35 Cuando se realiza la energización con la corriente de pre-energización  $I_f$  durante el tiempo de pre-energización  $t_f$ , y justo tras finalizar la energización, la energización se detiene mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización (cuando se realiza la energización con la corriente de pre-energización  $I_f$ ) tal como está. Posteriormente, se mantiene ese estado durante un tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  (ms) que satisface la siguiente expresión (12).

$$0 \leq t_c < 200 + 7 \times h \dots (12)$$

40 h: grosor de plancha de la plancha de acero (mm)

45 Para el crecimiento de la cohesión de corona, el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  se puede establecer a un tiempo que supere 0 (cero). Obsérvese que si no hay aparición de expulsión cuando se realiza la pre-energización, es posible establecer el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  a 0 (cero). Además, si el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  se vuelve "200 + 7 X h" (ms) o más, las planchas de acero 1A y 1B se enfrían demasiado, dando como resultado que se puede perder la conformabilidad de las planchas de acero 1A y 1B cuando se realiza la soldadura principal. Cuanto más grande es el grosor de plancha h de la plancha de acero, más lenta se vuelve la tasa de enfriamiento de las planchas de acero 1A y 1B. Como se describe en la sección de (tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_s$ ), en el primer ejemplo, en el intervalo general de grosor de la plancha de acero empleada para la unión soldada por puntos (de 0,5 mm a 3,2 mm, por ejemplo), la relación entre el tiempo de enfriamiento de las planchas de acero 1A y 1B y el grosor de plancha h de la plancha de acero se puede aproximar linealmente. Por lo tanto, en la presente realización, un valor límite superior del tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  se representa mediante una expresión lineal usando el grosor de plancha h de la plancha de acero, como se representa con la expresión (12).

55 Se superpusieron dos pedazos de planchas de acero con diversos grosores de plancha, teniendo cada uno el equivalente de carbono  $C_{eq}$  representado por la expresión anterior (1) de 0,3 % en masa o más, en los que se proporcionó una holgura a una parte de la región o una región entera entre estos dos pedazos de planchas de acero en diversas apariencias, y se soldaron por puntos usando una máquina de soldadura tipo servopistola y se realizó pre-energización, enfriamiento, soldadura principal, enfriamiento, y pos-energización, en este orden, con diversos patrones de energización. Posteriormente, se realizó un examen en relación con si ocurre o no la expulsión cuando se realiza la soldadura principal.

65 La figura 9 es un diagrama que ilustra un ejemplo de una relación entre el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_c$  y el grosor de plancha h de la plancha de acero. En la figura 9, un trazado sobre la base del tiempo

de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  y el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero cuando no ocurrió la expulsión en el examen mencionado anteriormente, se indica mediante  $\circ$ .

5 Además, un trazado, sobre la base del tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  y el grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero cuando ocurrió la expulsión en la examen mencionado anteriormente, se indica mediante  $\blacktriangle$ . Como se ilustra en la figura 9, un eje horizontal indica  $h$  (mm), y un eje vertical indica  $t_C$  (ms). En la figura 9, se determinó una línea de frontera entre  $\circ$  y  $\blacktriangle$  como curva de regresión. A partir de un resultado de la determinación, se obtuvo una expresión lineal que define el valor límite superior en la expresión anterior (12).

10 A partir de la descripción anterior, en la presente realización, el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  se establece a no menos de 0 (cero) ni más de "200 + 7 h" (ms). Obsérvese que como grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero en la expresión (12), se emplea un valor igual que el valor del grosor de plancha  $h$  de la plancha de acero en la expresión anterior (2), por ejemplo. Además, es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización sea mantenida tal como está durante el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$ . Sin embargo, también es posible que la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  sea diferente de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización, dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2). Además, cuando se asegura el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$ , la expresión (12) se convierte en la siguiente expresión (12a).

20

$$0 < t_C < 200 + 7 \times h \dots (12a)$$

(Corriente de soldadura principal:  $I_W$ )

25 Justo después de pasar el tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$ , se realiza energización con la corriente de soldadura principal  $I_W$  entre los electrodos de soldeo 2A y 2B mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización tal como está, para realizar de ese modo la soldadura principal. Tal como se explica en el primer ejemplo, la corriente de soldadura principal  $I_W$  y el tiempo de soldadura principal (el tiempo durante el que se realiza la energización con la corriente de soldadura principal  $I_W$ ) no están limitados particularmente. Obsérvese que es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización sea mantenida tal como está durante el tiempo de soldadura principal. Sin embargo, también es posible que la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de soldadura principal sea diferente de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización, dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2).

35 (Tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal:  $t_S$ )

40 Cuando se realiza la energización con la corriente de soldadura principal  $I_W$  durante un tiempo predeterminado, y justo tras finalizar la energización, la energización se detiene mientras el mantenimiento de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal tal como está. Además, ese estado es mantenido durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  (ms) que satisface la expresión anterior (3). Un método para determinar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  es un método igual que el del primer ejemplo. Obsérvese que como se describe en el primer ejemplo, a fin de evitar la reducción en la productividad de la unión soldada por puntos, el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  se establece más preferiblemente a no menos de "7 X h + 5" (ms) ni más de 250 (ms). Además, a fin de facilitar la formación de la región solidificada 5, es preferible que no se realice energización durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ , pero, también es posible realizar energización con una corriente que sea 0,5 veces o menos la corriente de soldadura principal  $I_W$  durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  para ajustar la velocidad de formación y la temperatura de la región solidificada 5. Además, es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal sea mantenida tal como está durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ . Sin embargo, también es posible que la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  sea diferente de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal, dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2).

55 (Corriente de pos-energización:  $I_P$ , tiempo de pos-energización:  $t_P$ ) Cuando se pasa el tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$ , y justo después de formarse la región solidificada 5 con una anchura requerida, se realiza energización con la corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (13) durante el tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (14) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal, para realizar de ese modo la pos-energización.

60

$$0,66 \times I_W \leq I_P < I_W \dots (13)$$

$I_W$ : corriente de soldadura principal (kA)

65

$$48 / (\alpha^2 - 0,4) \leq t_P \dots (14)$$

$$\alpha = I_P/I_W$$

Por lo tanto, la expresión (14) se puede reescribir de la siguiente manera.

$$5 \quad 48/\{(I_P/I_W)^2 - 0,4\} \leq t_P \dots (14)$$

La expresión (13) es la misma que la expresión anterior (4). Específicamente, un método para determinar la corriente de pos-energización  $I_P$  es un método igual que el del primer ejemplo. Obsérvese que como se describe en el primer ejemplo, la corriente de pos-energización  $I_P$  se establece preferiblemente a no menos de "0,70 X  $I_W$ " (kA) ni más de "0,98 X  $I_W$ " (kA), a fin de obtener el efecto de mejorar la estructura y la segregación con más seguridad. Además, es preferible, desde el punto de vista de rendimiento de trabajo, que la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal sea mantenida tal como está durante el tiempo de pos-energización  $t_P$ . Sin embargo, también es posible que la fuerza de presurización  $F_E$  durante el tiempo de pos-energización  $t_P$  sea diferente de la fuerza de presurización  $F_E$  aplicada cuando se realiza la pre-energización y la soldadura principal, dentro de un intervalo que satisface la expresión anterior (2).

Se superpusieron dos pedazos de planchas de acero con diversos grosores de plancha, teniendo cada uno el equivalente de carbono  $C_{eq}$  representado por la expresión anterior (1) del 0,3 % en masa o más, para ser soldados por puntos usando una máquina de soldadura tipo servopistola y realizando pre-energización, enfriamiento, soldadura principal, enfriamiento y pos-energización, en este orden, con diversos patrones de energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción trasversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base del método definido en el documento JIS Z 3137. En la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante segunda soldadura no convencional, según la necesidad.

Una unión soldada por puntos que tiene un diámetro de botón de soldadura igual que el diámetro de botón de soldadura de la unión soldada obtenida mediante segunda soldadura no convencional, se obtuvo superponiendo dos pedazos de planchas de acero, teniendo cada uno el equivalente de carbono descrito anteriormente y el grosor de plancha descrito anteriormente, y realizando soldadura por puntos mediante un método igual que el método descrito anteriormente excepto por la realización del enfriamiento tras la soldadura principal y la pos-energización. Posteriormente, se midió la CTS (resistencia a la tracción trasversal) de cada unión soldada por puntos sobre la base del método definido en el documento JIS Z 3137. En la descripción que sigue, a la unión soldada por puntos se le hace referencia como unión soldada obtenida mediante segunda soldadura convencional, según la necesidad.

Se comparó CTS en la unión soldada obtenida segunda mediante soldadura no convencional y la CTS en la unión soldada obtenida segunda mediante soldadura convencional en la que no se realizó pos-energización. La figura 10 es un diagrama que ilustra un segundo ejemplo de una relación entre el tiempo de pos-energización y un cuadrado de un valor obtenido al dividir la corriente de pos-energización por la corriente de soldadura principal  $I_W$  ( $(I_P/I_W)^2$ ).

En la figura 10, un trazado sobre la base del tiempo de pos-energización  $t_P$ , la corriente de pos-energización  $I_P$ , y la corriente de soldadura principal  $I_W$ , cuando la CTS en la unión soldada obtenida mediante segunda soldadura no convencional se mejoró un 20 % o más, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante segunda soldadura convencional, se indica mediante  $\circ$ . Además, un trazado sobre la base del tiempo de pos-energización  $t_P$ , la corriente de pos-energización  $I_P$ , y la corriente de soldadura principal  $I_W$ , cuando se mejoró la CTS en la unión soldada obtenida mediante segunda soldadura no convencional pero una cantidad de mejora fue menos del 20 % o cuando no se mejoró, cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida mediante primera soldadura convencional, se indica mediante  $\blacktriangle$ . Como se ilustra en la figura 10, un eje horizontal indica  $(I_P/I_W)^2$ , y un eje vertical indica  $t_P$  (ms).

La figura 10 es un diagrama correspondiente a la figura 6. De una manera similar al primer ejemplo, en la figura 10, se determinó una línea de frontera entre  $\circ$  y  $\blacktriangle$  como curva de regresión (específicamente, se determinaron coeficientes  $A$  y  $\beta$  en la expresión (8)). A partir de un resultado de la determinación, se obtuvo la expresión anterior (14). La expresión (14) corresponde a la expresión anterior (5). En la expresión anterior (5), el coeficiente  $\beta$  es "0,44". Por el contrario, en la expresión (14), el coeficiente  $\beta$  es "0,4". Por lo tanto, un valor límite inferior del tiempo de pos-energización  $t_P$  en el segundo ejemplo se vuelve más pequeño que en el primer ejemplo. Se puede considerar que esto es porque una cantidad total de aporte de calor con respecto a la zona afectada por calor 4 se vuelve grande debido a la realización de pre-energización.

Obsérvese que como se describe en el primer ejemplo, cuando el tiempo de pos-energización  $t_P$  es inferior a 200 (ms), un intervalo de selección del  $\alpha$  mencionado anteriormente ( $= I_P/I_W$ ) se vuelve estrecho (consúltese la figura 10). Por lo tanto, es preferible establecer el tiempo de pos-energización  $t_P$  a 200 (ms) o más, y es más preferible establecer el tiempo de pos-energización  $t_P$  a 400 (ms) o más. Aunque no se define particularmente el valor límite superior del tiempo de pos-energización  $t_P$ , el valor límite superior es preferiblemente 2000 (ms) o menos, cuando se tiene en consideración la productividad de la unión soldada por puntos. Además, si la expresión (14) se emplea como en el presente ejemplo, el valor límite inferior del tiempo de pos-energización  $t_P$  se puede establecer para que sea pequeño. Sin embargo, a fin de impedir un error en el establecimiento del tiempo de pos-energización  $t_P$  unificando el tiempo de pos-energización  $t_P$  cuando se realiza la pre-energización y el tiempo de pos-energización  $t_P$

cuando no se realiza la pre-energización, es posible que el presente ejemplo también emplee la expresión anterior (5), en lugar de la expresión (14).

(Tiempo de mantenimiento:  $t_H$ )

5 Tras realizar la pos-energización bajo las condiciones descritas anteriormente, las planchas de acero mutuamente superpuestas 1A y 1B son presurizadas y mantenidas por los electrodos de soldeo 2A y 2B durante un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) definido por la expresión anterior (9), y entonces se libera la presurización.

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (9)$$

10 Un método para determinar el tiempo de mantenimiento  $t_H$  es un método igual que el del primer ejemplo. Obsérvese que como se describe en el primer ejemplo, existe la necesidad de establecer el tiempo de mantenimiento  $t_H$  considerando el hecho de que el tiempo de mantenimiento real  $t_H$  se vuelve más largo que el tiempo de mantenimiento  $t_H$ . Además, como se describe en el primer ejemplo, también es posible establecer el tiempo de mantenimiento  $t_H$  a 0 (cero).

<Unión soldada por puntos>

20 A continuación, se describirá la unión soldada por puntos de la presente realización. Obsérvese que en la siguiente descripción, cuando la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante primera soldadura convencional y la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante segunda soldadura convencional se denominan genéricamente, se le hace referencia como uniones soldadas obtenidas por soldadura convencional según la necesidad. Además, cuando la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante primera soldadura no convencional y la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante segunda soldadura no convencional se denominan genéricamente, se les hace referencia como uniones soldadas obtenidas por soldadura no convencional según la necesidad.

25 Cuando se forman uniones soldadas por puntos de una manera como en el primer ejemplo y el segundo ejemplo del método de soldadura por puntos, se confirmó una mejora de tenacidad en una zona afectada por calor (HAZ). A fin de encontrar una razón de lo mismo, los presentes inventores observaron estructuras de zonas afectadas por calor de la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura convencional y la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura no convencional, usando un microscopio electrónico. Obsérvese que en este caso, se emplearon las uniones soldadas descritas anteriormente obtenidas por soldadura no convencional, la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura no convencional que tiene la CTS que se mejora un 20 % o más, cuando se compara con la CTS en la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura convencional.

30 La figura 11A es un diagrama (fotografía) que ilustra un ejemplo de una estructura de una zona afectada por calor de la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura no convencional (la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante primera soldadura no convencional). Además, la figura 11B es un diagrama (fotografía) que ilustra un ejemplo de una estructura de una zona afectada por calor de la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura convencional (la unión soldada descrita anteriormente obtenida mediante primera soldadura convencional). Como se ilustra en la figura 11A y la figura 11B, fue posible confirmar que varios carburos con base de hierro existentes en la zona afectada por calor de la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura no convencional que tiene la CTS que se mejora un 20 % o más cuando se compara con la CTS en la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura convencional, es mayor que en la unión soldada descrita anteriormente obtenida por soldadura convencional. Fue posible confirmar esto tanto en la primera soldadura no convencional descrita anteriormente como en la segunda soldadura no convencional descrita anteriormente. El carburo con base de hierro mencionado aquí es principalmente cementita ( $Fe_3C$ ). Sin embargo, el carburo con base de hierro no se limita a cementita. Por ejemplo, hay un caso en el que en el carburo con base de hierro se contiene carburo- $\epsilon$  ( $Fe_{2,4}C$ ) o semejante. Además, hay un caso en el que en el carburo con base de hierro se contiene otro metal de Mn, Cr, o semejante.

35 Al realizar la pos-energización bajo las condiciones de la expresión anterior (4) y la expresión (5) (la expresión anterior (13) o la expresión (14)), se aumenta el aporte de calor con respecto a la zona afectada por calor 4, dando como resultado que se puede establecer como alta una temperatura máxima obtenida en la zona afectada por calor 4. Por lo tanto, un grano previo a austenita se vuelve grande, lo que aumenta una temperatura de transformación martensítica aparente. Cuando aumenta la temperatura de transformación martensítica aparente, la transformación en la zona afectada por calor 4 ocurre a una temperatura relativamente alta en un proceso de enfriamiento tras la pos-energización, dando como resultado que ocurre fácilmente templado automático (auto-templado). Por consiguiente, a menudo se observa una precipitación de carburos finos con base de hierro. Como se ha descrito anteriormente, los presentes inventores encontraron que la precipitación de carburos finos con base de hierro en la zona afectada por calor 4 contribuye a la mejora de tenacidad en la zona afectada por calor 4.

65 Por consiguiente, los presentes inventores examinaron el estado de precipitación de los carburos con base de hierro en la zona afectada por calor de cada una de una pluralidad de uniones soldadas obtenidas por soldadura no convencional que tienen la CTS que se mejora un 20 % o más cuando se compara con la CTS en la unión soldada

obtenida por soldadura convencional. Como resultado de esto, se confirmó que cualquier unión soldada obtenida por soldadura no convencional que tenía la CTS que se mejoraba un 20 % o más cuando se compara con la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura convencional, siempre satisface la condición de precipitación de los carburos con base de hierro que se describe más adelante.

La figura 12A es un diagrama que explica un ejemplo de la condición de precipitación de carburos con base de hierro. La figura 12B es un diagrama que ilustra una parte de una región A en la figura 12A de una manera agrandada. La figura 12A es un diagrama que ilustra esquemáticamente una sección transversal que pasa a través de un centro de una marca de soldadura formada sobre superficies de las planchas de acero 1A y 1B por la soldadura por puntos, y se corta a lo largo de la dirección de grosor de plancha de las planchas de acero 1A y 1B. Como centro de la marca de soldadura, por ejemplo, se puede emplear una posición objetivo (posición puntual) de (regiones más extremas de) los electrodos de soldeo 2A y 2B. Además, también es posible que un contorno de una marca de soldadura realmente formada sea aproximada por un círculo, y un centro de la círculo se establece en el centro de la marca de soldadura.

La condición de precipitación de carburos con base de hierro descritos anteriormente es que se precipitan (existen) diez o más de carburos con base de hierro en cada uno de los cuales la longitud de una parte más larga es 0,1 ( $\mu\text{m}$ ) o más en una región cuadrada 123 cuya longitud de un lado es 10  $\mu\text{m}$  en la que una dirección de grosor de plancha y una dirección de superficie de placa de las planchas de acero 1 y 2 se establecen para ser una dirección vertical y una dirección horizontal, respectivamente, que es una región dentro de la zona afectada por calor 4 de una sección transversal de este tipo. Aquí, una posición de un centro de la región cuadrada 123 es una posición 122, en la sección transversal, separada por 100  $\mu\text{m}$  de una posición 120 de una parte extrema del botón de soldadura 3 en una dirección perpendicular a una tangente 121 a una línea que indica la parte extrema del botón de soldadura 3, en esa posición 120.

Además, la posición 120 de la parte extrema del botón de soldadura 3 es una posición, de las posiciones en la línea que indican la parte extrema del botón de soldadura 3, dentro de un intervalo cuyo centro se establece a un centro en la dirección de grosor de plancha de la unión soldada por puntos y que tiene una longitud de 1/4 veces un grosor total de plancha  $t_{\text{sum}}$  es un valor total de grosores de plancha de las planchas de acero 1A y 1B antes de ser sometidos a la soldadura por puntos, a lo largo de la dirección de grosor de plancha (dentro de un intervalo indicado por  $t_{\text{sum}}/4$  en la figura 12A). Obsérvese que en la figura 12A, una longitud que incluye una parte de holgura entre las planchas de acero 1A y 1B se representa como el grosor total de plancha  $t_{\text{sum}}$  por conveniencia de representación. Sin embargo, realmente, el valor total de los grosores de plancha de las planchas de acero 1A y 1B antes de ser sometidas a la soldadura por puntos, que no incluyen la longitud de la parte de la holgura entre las planchas de acero 1A y 1B, se establece al grosor total de plancha  $t_{\text{sum}}$ , como se ha descrito anteriormente.

Como posición del centro en la dirección de grosor de plancha de la unión soldada por puntos, es posible emplear, por ejemplo, una posición de un centro de una longitud en la dirección de grosor de plancha de una parte que pasa a través del centro de la marca de soldadura en la sección transversal descrita anteriormente. Además, como longitud de la parte más larga del carburo con base de hierro, es posible emplear, por ejemplo, un valor máximo de una distancia entre dos puntos arbitrarios en una línea que indica una parte extrema del carburo con base de hierro, en la sección transversal descrita anteriormente. Además, también es posible emplear un valor máximo de una longitud de una línea recta entre dos puntos en una línea que configura la parte extrema del carburo con base de hierro, que es una longitud de una línea recta que pasa a través de una posición de un centro de gravedad del carburo con base de hierro, en la sección transversal descrita anteriormente, como longitud de la parte más larga del carburo con base de hierro.

La razón por la que la región cuadrada 123 se determina como se ha descrito anteriormente, es porque una región de este tipo 123 es una región dentro de la zona afectada por calor 4, y también es una región en la que ocurre una grieta en una fase inicial cuando ocurre una fractura de tapón en una prueba de tracción transversal.

Obsérvese que al menos una de las planchas de acero 1A y 1B es la plancha de acero de alta resistencia descrita anteriormente. Además, en el ejemplo ilustrado en la figura 12A y figura 12B, se hizo una explicación citando un caso en el que los dos pedazos de planchas de acero 1A y 1B son soldados por puntos, como ejemplo. Sin embargo, la condición de precipitación de carburos con base de hierro descritos anteriormente también se puede aplicar a un caso en el que se sueldan por puntos tres pedazos o más de planchas de acero que incluyen al menos un pedazo de plancha de acero de alta resistencia.

Se describirá un ejemplo de un método para observar los carburos con base de hierro. Primero, se pule la sección transversal descrita anteriormente. Después de eso, se fotografía una micrografía electrónica de una región que incluye la región cuadrada 123. A partir de la micrografía electrónica, se mide una longitud de la parte más larga de cada carburo con base de hierro, y se cuenta un número de carburos con base de hierro en cada uno de los cuales la longitud de la parte más larga es 0,1 ( $\mu\text{m}$ ) o más. A partir del número de carburos con base de hierro, se puede dictaminar si se satisface o no la condición de precipitación de los carburos con base de hierro descritos anteriormente. Obsérvese que en la siguiente descripción, a la región cuadrada descrita anteriormente 123 se le hace referencia como región de recuento de número de carburos con base de hierro, según la necesidad.

Cabe señalar que todas las realizaciones descritas anteriormente de la presente invención meramente ilustran ejemplos concretos de implementación de la presente invención, y el alcance técnico de la presente invención no se debe interpretar de una manera restrictiva por estas realizaciones. Esto es, la presente invención se puede implementar en diversas formas sin salir del alcance de las reivindicaciones anexas.

EJEMPLOS

A continuación, se describirán ejemplos de la presente invención. Condiciones en los ejemplos son ejemplos condicionales empleados para confirmar la aplicabilidad y efectos de la presente invención, y la presente invención no se limita a la ejemplos condicionales. La presente invención puede emplear diversas condiciones siempre que el objeto de la presente invención se logre sin salir de la esencia de la presente invención.

Se prepararon planchas de acero A, B, y C representadas en la Tabla 1. La plancha de acero A se obtiene aplicando metalización de Al a una superficie de una plancha de acero estampada en caliente que tiene un grosor de plancha de 2,0 (mm) y una resistencia a la tracción en la clase de 1470 MPa. La plancha de acero B se obtiene aplicando metalización de Al a una superficie de una plancha de acero estampada en caliente que tiene un grosor de plancha de 1,6 (mm) y una resistencia a la tracción en la clase de 1470 MPa. La plancha de acero C se obtiene aplicando metalización de Zn a una superficie de una plancha de acero estampada en caliente que tiene un grosor de plancha de 1,4 (mm) y una resistencia a la tracción en la clase de 1470 MPa. Además, se prepararon planchas de acero D y E representadas en la Tabla 1. La plancha de acero D se obtiene aplicando metalización de Zn a una superficie de una plancha de acero laminada en frío que tiene un grosor de plancha de 1,2 (mm) y una resistencia a la tracción en la clase de 1180 MPa. La plancha de acero E es una plancha de acero laminada en frío que tiene un grosor de plancha de 1,4 (mm) y una resistencia a la tracción en la clase de 980 MPa.

Obsérvese que Ceq indicado en la Tabla 1 corresponde al equivalente de carbono representado por la expresión (1). Además, la Tabla 1 representa únicamente un contenido de C, por conveniencia de representación. Las planchas de acero A a E son planchas de acero que contienen cada una la composición descrita anteriormente de los componentes dentro de los intervalos de límites superiores y límites inferiores descritos anteriormente.

[Tabla 1]

TABLA. 1

PLANCHA DE ACERO	TIPO DE ACERO	CLASE DE RESISTENCIA	GROSOR DE PLANCHA [mm]	CONTENIDO DE C [% EN MASA]	Ceq	METALIZACIÓN
A	ESTAMPADO EN CALIENTE	1470 MPa	2,0	0,17	0,34	Al
B	ESTAMPADO EN CALIENTE	1470 MPa	1,6	0,18	0,35	Al
C	ESTAMPADO EN CALIENTE	1470 MPa	1,4	0,19	0,36	Zn
D	LAMINADO EN FRÍO	1180 MPa	1,2	0,22	0,44	Zn
E	LAMINADO EN FRÍO	980 MPa	1,4	0,24	0,43	NO APLICADO

Se superpusieron dos pedazos de planchas de acero en la combinación del mismo tipo de acero y el mismo grosor de plancha, y se sometieron a soldadura por puntos usando una máquina de soldadura tipo servopistola bajo condiciones de soldadura de números 1-1 a 1-33, y 2-1 a 2-18, representados en las Tablas 2 a 6.

Además, se midió la CTS (resistencia a la tracción transversal) de cada unión soldada por puntos mediante el método definido en el documento JIS Z 3137. Los resultados medidos se representan en la sección de CTS y la sección de proporción de resistencia a unión obtenida por soldadura convencional en las Tablas 7 y 8.

En las Tablas 7 y 8, la relación de resistencia a la unión obtenida por soldadura convencional se obtiene multiplicando un valor como resultado de dividir un valor obtenido al restar, de la CTS en la unión soldada por puntos formada bajo las condiciones de soldadura representadas por la números 1-1 a 1-33, y 2-1 a 2-18 (la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura no convencional), la CTS en la unión soldada por puntos formada bajo condiciones iguales que las condiciones de soldadura excepto por la realización del enfriamiento tras la soldadura principal y la pos-energización (la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura convencional), por la CTS en la unión soldada por puntos formada bajo las condiciones de soldadura (la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura no convencional), por 100. Obsérvese que también en la figura 5, la figura 6 y la figura 10, un tipo de trazado se cambia sobre la base de si la relación de resistencia a la unión obtenida por soldadura convencional se mejora un 20 % o más. La razón por la que el criterio de si la relación de resistencia a la unión obtenida por soldadura convencional se mejora un 20 % o más, es porque si la relación de resistencia a la unión obtenida por

soldadura convencional se mejora un 20 % o más, se puede decir que hay una diferencia significativa entre la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura no convencional y la CTS en la unión soldada obtenida por soldadura convencional.

5 Además, se contó el número de carburos con base de hierro, teniendo cada uno la longitud de la parte más larga de 0,1 (µm) o más y que existen en la región de recuento de número de carburos con base de hierro descrita anteriormente de cada unión soldada por puntos formada al realizar la soldadura bajo las condiciones de soldadura representada en las Tablas 2 a 6, usando un microscopio electrónico de barrido (SEM). Un resultado del mismo se representa en la sección del número de carburos con base de hierro precipitado en las Tablas 7 y 8. A fin de obtener la región descrita anteriormente de recuento de número de carburos con base de hierro número, se estableció una posición objetivo de los electrodos como centro de una marca de soldadura. Además, los dos pedazos de planchas de acero se cortaron para que pasaran a través del centro de la marca de soldadura y para estar a lo largo de la dirección de grosor de plancha de los dos pedazos de planchas de acero, y se pulió la sección transversal. La sección transversal pulida fue observada con el microscopio electrónico de barrido, para decidir la región descrita anteriormente de recuento de número de carburos con base de hierro. Primero, se especificó una de dos posiciones separadas por una longitud de 1/8 veces un grosor total de plancha de los dos pedazos de planchas de acero antes de ser sometidos a la soldadura, en la dirección de grosor de plancha desde un centro de la unión soldada por puntos en la dirección de grosor de plancha, que es una posición en una parte extrema de un botón de soldadura de la sección transversal pulido. Se especificó una posición separada de esta posición 100 (µm) en una dirección perpendicular a una tangente a una línea que indica la parte extrema del botón de soldadura (una línea que indica un contorno del botón de soldadura) en la posición especificada, desde una región dentro de una zona afectada por calor de la sección transversal pulida. Además, se estableció una región cuadrada, que es una región en la que se establece la posición anterior como su centro, cuya longitud de un lado es de 10 µm en el que una dirección de grosor de plancha y una dirección de superficie de placa de los dos pedazos de planchas de acero se establecen en una dirección vertical y una dirección horizontal, respectivamente, a la región descrita anteriormente de recuento de número de carburos con base de hierro. Además, se estableció un valor máximo de una distancia entre dos puntos arbitrarios en una línea que indica una parte extrema de carburo con base de hierro, en una parte más larga.

30 En todos los procesos de soldadura, se usaron electrodos tipo radio en bóveda hechos cada uno de cobre y que tienen una punta con un radio de curvatura de 40 (mm). Las planchas de acero A, B y C se sometieron a soldadura con una fuerza de presurización de 5000 (N) usando electrodos, teniendo cada uno un diámetro de punta de 8 (mm). Las planchas de acero D y E se sometieron a soldadura con una fuerza de presurización de 3500 (N) usando electrodos, teniendo cada uno un diámetro de punta de 6 (mm). Obsérvese que la fuerza de presurización se estableció para que no cambiara durante la realización de presurización.

35 Además, cuando la soldadura por puntos se realizó bajo las condiciones de soldadura de los números 2-1 a 2-20 representados en las Tablas 5 y 6 (las condiciones de soldadura incluyeron la realización de pre-energización), se proporcionó una holgura entre los dos pedazos de planchas de acero, y se examinó la presencia/ausencia de aparición de expulsión durante la prestaciones de soldadura principal. Un resultado del examen se representa en la sección de "presencia/ausencia de expulsión cuando se proporciona holgura" en la Tabla 8. Se dispusieron dos pedazos de espaciadores, teniendo cada uno un grosor de 2 (mm), entre los dos pedazos de planchas de acero, para orientarse uno hacia otro estando separados entre sí, con una posición objetivo de los electrodos dispuesta entre los mismos. Un intervalo entre cada espaciador y la posición objetivo de electrodos se estableció en 20 (mm).

45

[Tabla 2]

TABLA 2

NÚMERO	PLANCHA DE ACERO	FUERZA DE PRESURIZACIÓN [N]	SOLDADURA PRINCIPAL		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRÁS LA SOLDADURA PRINCIPAL [ms]
			CORRIENTE DE SOLDADURA PRINCIPAL [kA]	TIEMPO DE SOLDADURA PRINCIPAL [ms]	
1-1	A	5000	8,3	400	80
1-2	A	5000	8,3	400	180
1-3	A	5000	8,3	400	240
1-4	A	5000	8,3	400	80
1-5	A	5000	8,3	400	80
1-6	A	5000	8,3	400	180
1-7	A	5000	8,3	400	240
1-8	A	5000	8,3	400	240
1-9	B	5000	7,3	320	80
1-10	B	5000	7,3	320	120
1-11	B	5000	7,3	320	240
1-12	B	5000	7,3	320	80
1-13	B	5000	7,3	320	80

NÚMERO	POS-ENERGIZACIÓN		TIEMPO DE MANTENIMIENTO O [ms]	$48/(\alpha^2-0,44)$	$t_p > 48/(\alpha^2-0,44)$	COMENTARIOS
	CORRIENTE DE POS-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE POS-ENERGIZACIÓN [ms]				
1-1	7,5	100	100	127,5	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-2	7,5	100	100	127,5	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-3	7,5	100	100	127,5	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-4	7,5	200	100	127,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-5	7,5	300	100	127,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-6	7,5	300	100	127,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-7	7,5	200	100	127,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-8	7,5	300	100	127,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-9	6,6	80	100	127,2	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-10	6,6	80	100	127,2	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-11	6,6	80	100	127,2	x	EJEMPLO COMPARATIVO
1-12	6,6	160	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-13	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION

[Tabla 3]

TABLA 3

NÚMERO	PLANCHA DE ACERO	FUERZA DE PRESURIZACIÓN [N]	SOLDADURA PRINCIPAL		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA SOLDADURA PRINCIPAL [ms]
			CORRIENTE DE SOLDADURA PRINCIPAL [kA]	TIEMPO DE SOLDADURA PRINCIPAL [ms]	
1-14	B	5000	7,3	320	120
1-15	B	5000	7,3	320	120
1-16	B	5000	7,3	320	180
1-17	B	5000	7,3	320	180
1-18	B	5000	7,3	320	240
1-19	C	5000	6,8	300	180
1-20	C	5000	6,8	300	40
1-21	C	5000	6,8	300	40
1-22	C	5000	6,8	300	80
1-23	C	5000	6,8	300	80
1-24	C	5000	6,8	300	120
1-25	C	5000	6,8	300	120
1-26	C	5000	6,8	300	180

NÚMERO	POS-ENERGIZACIÓN		TIEMPO DE MANTENIMIENTO [ms]	$48/(\alpha^2 - 0,44)$	$t_p > 48/(\alpha^2 - 0,44)$	COMENTARIOS
	CORRIENTE DE POS-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE POS-ENERGIZACIÓN [ms]				
1-14	6,6	160	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-15	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-16	6,6	160	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-17	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-18	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-19	6,2	80	100	127,7	X	EJEMPLO COMPARATIVO
1-20	6,2	160	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-21	6,2	400	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-22	6,2	160	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-23	6,2	400	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-24	6,2	160	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-25	6,2	400	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-26	6,2	160	100	127,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION

[Tabla 4]

TABLA 4

NÚMERO	PLANCHA DE ACERO	FUERZA DE PRESURIZACIÓN [N]	SOLDADURA PRINCIPAL		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA SOLDADURA PRINCIPAL [ms]
			CORRIENTE DE SOLDADURA PRINCIPAL [kA]	TIEMPO DE SOLDADURA PRINCIPAL [ms]	
1-27	C	5000	6,8	300	180
1-28	D	3500	6,6	280	240
1-29	D	3500	6,6	280	240
1-30	D	3500	6,6	280	—
1-31	D	3500	6,6	280	40
1-32	D	3500	6,6	280	40
1-33	D	3500	6,6	280	40
1-34	B	3000	7,3	320	120
1-35	B	7000	7,3	320	120
1-36	B	5000	7,3	320	120
1-37	B	5000	7,3	320	120
1-38	B	5000	7,3	320	10
1-39	B	5000	7,3	320	350

NÚMERO	POS-ENERGIZACIÓN		TIEMPO DE MANTENIMIENTO [ms]	$48/(\alpha^2 - 0,44)$	$t_p > 48/(\alpha^2 - 0,44)$	COMENTARIOS
	CORRIENTE DE POS-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE POS-ENERGIZACIÓN [ms]				
1-27	6,2	400	100	122,7	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-28	6,2	160	100	108,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-29	6,2	400	100	108,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-30	—	—	100	—	X	EJEMPLO COMPARATIVO
1-31	6,2	800	100	108,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-32	6,2	1000	100	108,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-33	6,2	1400	100	108,5	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-34	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO COMPARATIVO
1-35	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO COMPARATIVO
1-36	3,6	400	100	-243,9	O	EJEMPLO COMPARATIVO
1-37	7,8	400	100	68,4	O	EJEMPLO COMPARATIVO
1-38	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO COMPARATIVO
1-39	6,6	400	100	127,2	O	EJEMPLO COMPARATIVO

[Tabla 5]

TABLA 5

NÚMERO	PLANCHAS DE ACERO	FUERZA DE PRESURIZACIÓN [dN]	PRE-ENERGIZACIÓN		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA PRE-ENERGIZACIÓN [ms]	SOLDADURA PRINCIPAL		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA SOLDADURA PRINCIPAL [ms]	POS-ENERGIZACIÓN	
			CORRIENTE DE PRE-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE PRE-ENERGIZACIÓN [ms]		CORRIENTE DE SOLDADURA PRINCIPAL [kA]	TIEMPO DE SOLDADURA PRINCIPAL [ms]		CORRIENTE DE POS-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE POS-ENERGIZACIÓN [ms]
2-1	D	3000	5,3	200	15	6,6	400	80	6,1	100
2-2	D	3000	5,3	150	20	6,6	400	180	6,1	100
2-3	D	3000	5,3	150	150	6,6	400	240	6,1	100
2-4	D	3000	—	—	—	6,6	400	80	6,1	110
2-5	D	3000	5,3	50	50	6,6	400	80	6,1	110
2-6	D	3000	5,3	100	50	6,6	400	180	6,1	300
2-7	D	3000	5,3	100	50	6,6	400	240	6,1	110
2-8	D	3000	—	—	—	6,6	400	240	6,1	110
2-9	E	3500	6,3	50	40	7,1	320	80	6,6	80
2-10	E	3500	6,3	50	40	7,1	320	120	6,6	80

NUMERO	TIEMPO DE MANTENIMIENTO [ms]	$48/(\alpha^2 - 0,4)$	$48/(\alpha^2 - 0,44)$	$t_p > 48/(\alpha^2 - 0,4)$	$t_p > 48/(\alpha^2 - 0,44)$	COMENTARIOS
2-1	100	105,7	115,9	x	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-2	100	105,7	115,9	x	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-3	100	105,7	115,9	x	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-4	100	105,7	115,9	O	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-5	100	105,7	115,9	O	x	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-6	100	105,7	115,9	O	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-7	100	105,7	115,9	O	x	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-8	100	105,7	115,9	O	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-9	100	103,4	113,2	x	x	EJEMPLO COMPARATIVO
2-10	100	103,4	113,2	x	x	EJEMPLO COMPARATIVO

[Tabla 6]

TABLA 6

NÚMERO	PLANCHAS DE ACERO	FUERZA DE PRESURIZACIÓN [kA]	PRE-ENERGIZACIÓN		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA PRE-ENERGIZACIÓN [ms]	SOLDADURA PRINCIPAL		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO TRAS LA SOLDADURA PRINCIPAL [ms]	POS-ENERGIZACIÓN	
			CORRIENTE DE PRE-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE PRE-ENERGIZACIÓN [ms]		CORRIENTE DE SOLDADURA PRINCIPAL [kA]	TIEMPO DE SOLDADURA PRINCIPAL [ms]		CORRIENTE DE POS-ENERGIZACIÓN [kA]	TIEMPO DE POS-ENERGIZACIÓN [ms]
2-11	E	3500	6,3	50	20	7,1	320	240	6,6	80
2-12	E	3500	6,3	80	20	7,1	320	80	6,6	160
2-13	E	3500	6,3	80	20	7,1	320	80	6,6	400
2-14	E	3500	6,3	150	20	7,1	320	120	7,8	160
2-15	E	3500	6,3	15	20	7,1	320	120	6,6	400
2-16	E	3500	2,5	150	20	7,1	320	180	6,6	160
2-17	E	3500	6,3	150	250	7,1	320	180	6,6	400
2-18	E	3500	7,8	150	150	7,1	320	240	6,6	400
2-19	E	2000	6,3	80	20	7,1	320	80	6,6	160
2-20	E	6500	6,3	80	20	7,1	320	80	6,6	160

NÚMERO	TIEMPO DE MANTENIMIENTO [ms]	$48/(\alpha^2-0,4)$	$48/(\alpha^2-0,44)$	$t_p > 48/(\alpha^2-0,4)$	$t_p > 48/(\alpha^2-0,44)$	COMENTARIOS
2-11	100	103,4	113,2	X	X	EJEMPLO COMPARATIVO
2-12	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-13	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-14	100	59,5	62,6	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-15	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-16	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-17	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-18	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-19	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO
2-20	100	103,4	113,2	O	O	EJEMPLO COMPARATIVO

[Tabla 7]

TABLA 7

NÚMERO	CTS [kN]	RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA UNIÓN OBTENIDA POR SOLDADURA CONVENCIONAL [%]	NÚMERO DE CARBURO CON BASE DE HIERRO PRECIPITADO	COMENTARIOS
1-1	11,4	9	5	EJEMPLO COMPARATIVO
1-2	10,2	-3	5	EJEMPLO COMPARATIVO
1-3	10,9	4	6	EJEMPLO COMPARATIVO
1-4	13,2	26	15	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-5	13,2	25	30	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-6	14,6	38	40	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-7	14,6	39	35	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-8	13,5	28	20	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-9	7,7	16	7	EJEMPLO COMPARATIVO
1-10	7,8	16	7	EJEMPLO COMPARATIVO
1-11	6,2	-7	3	EJEMPLO COMPARATIVO
1-12	11,3	69	30	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-13	11,2	68	25	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-14	9,4	41	40	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-15	11,3	55	80	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-16	8,1	36	25	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-17	11,0	64	95	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-18	10,5	57	48	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-19	5,1	-6	9	EJEMPLO COMPARATIVO
1-20	7,7	43	15	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-21	8,8	64	70	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-22	8,1	50	40	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-23	8,7	61	87	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-24	8,0	49	39	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-25	8,9	65	120	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-26	7,0	31	45	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-27	8,5	58	197	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-28	6,9	28	78	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-29	9,1	68	28	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-30	4,3	0	2	EJEMPLO COMPARATIVO
1-31	5,2	20	24	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-32	5,4	25	35	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-33	6,0	39	95	EJEMPLO DE LA INVENCION
1-34	4,2	-37	5	EJEMPLO COMPARATIVO
1-35	6,2	-7	4	EJEMPLO COMPARATIVO
1-36	4,8	-28	2	EJEMPLO COMPARATIVO
1-37	5,8	-13	2	EJEMPLO COMPARATIVO
1-38	6,9	4	8	EJEMPLO COMPARATIVO
1-39	6,1	-8	9	EJEMPLO COMPARATIVO

[Tabla 8]

TABLA. 8

NÚMERO	PRESENCIA/AUSENCIA DE EXPULSIÓN CUANDO SE PROPORCIONA HOLGURA	CTS [kN]	RELACIÓN DE RESISTENCIA A LA UNIÓN OBTENIDA POR SOLDADURA CONVENCIONAL [%]	NÚMERO DE CARBURO CON BASE DE HIERRO PRECIPITADO	COMENTARIOS
2-1	AUSENCIA	4,3	8	2	EJEMPLO COMPARATIVO
2-2	AUSENCIA	4,2	5	5	EJEMPLO COMPARATIVO
2-3	AUSENCIA	4,1	2	1	EJEMPLO COMPARATIVO
2-4	PRESENCIA	4,1	2	3	EJEMPLO COMPARATIVO
2-5	AUSENCIA	5,2	30	18	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-6	AUSENCIA	5,1	28	15	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-7	AUSENCIA	5,6	40	21	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-8	PRESENCIA	4,3	8	2	EJEMPLO COMPARATIVO
2-9	AUSENCIA	5,8	-3	0	EJEMPLO COMPARATIVO
2-10	AUSENCIA	5,5	-8	5	EJEMPLO COMPARATIVO
2-11	AUSENCIA	6,4	7	9	EJEMPLO COMPARATIVO
2-12	AUSENCIA	7,2	20	25	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-13	AUSENCIA	8,1	35	14	EJEMPLO DE LA INVENCION
2-14	AUSENCIA	6,1	2	2	EJEMPLO COMPARATIVO
2-15	PRESENCIA	6,2	3	1	EJEMPLO COMPARATIVO
2-16	PRESENCIA	6,6	10	7	EJEMPLO COMPARATIVO
2-17	PRESENCIA	6,5	8	8	EJEMPLO COMPARATIVO
2-18	PRESENCIA	6,4	7	4	EJEMPLO COMPARATIVO

5 Como se representa en las Tablas 7 y 8, en ejemplos de la invención de los números 1-4 a 1-8, 1-12 a 1-18, 1-20 a 1-29, 1-31 a 1-33, 2-5 a 2-7, 2-12 y 2-13, se satisfacen los requisitos definidos de la manera descrita anteriormente (consúltese las Tablas 7 y 8). Por lo tanto, se obtienen las uniones soldadas que cada una tiene una resistencia de unión mayor que la resistencia de unión de la unión soldada obtenidas por soldadura por puntos convencional (20 % o más de la relación de resistencia a la unión obtenida por soldadura convencional).

10 Obsérvese que cuando el contenido de P en la plancha de acero supera el 0,03 % en masa %, y cuando el contenido de S en la plancha de acero supera el 0,01 % en masa, no fue posible obtener un 20 % o más de la relación de resistencia a la unión obtenida por soldadura convencional, independientemente de las condiciones de soldadura. Además, se confirmó que las propiedades (resistencia a la tracción, facilidad de trabajo, y similares) de la plancha de acero de alta resistencia se deterioran cuando el equivalente de carbono Ceq y la composición de los otros componentes no entra dentro de los intervalos mencionados anteriormente.

15 **APLICABILIDAD INDUSTRIAL**

20 La presente invención se puede utilizar en un sector que usa soldadura por puntos como técnica de fabricación, por ejemplo.

## REIVINDICACIONES

1. Una estructura unida soldada por puntos formada superponiendo una pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) y realizando soldadura por puntos sobre las planchas de acero (1A, 1B), la estructura unida soldada por puntos comprende:

la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B),  
una zona afectada por calor (4), y  
un botón de soldadura (3),  
en donde

en la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B), al menos un pedazo de plancha de acero es plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, en donde un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representado por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, la estructura unida soldada por puntos se caracteriza por que

en la zona afectada por calor (4), existen diez o más de carburos con base de hierro, en cada uno de los cuales una longitud de una parte más larga es de 0,1  $\mu\text{m}$  o más, en una región cuadrada (123) cuya longitud de un lado es de 10  $\mu\text{m}$ , en la que una dirección de grosor de plancha y una dirección de superficie de placa de las planchas de acero (1A, 1B), se establecen en una dirección vertical y una dirección horizontal, respectivamente,

en donde

la región cuadrada (123) está en una sección transversal que pasa a través de un centro de una marca de soldadura formada sobre superficies de las planchas de acero (1A, 1B) por la soldadura por puntos, y se corta a lo largo de la dirección de grosor de plancha de las planchas de acero (1A, 1B), en donde

una posición de un centro de la región cuadrada (123) es una posición, en la sección transversal, separada por 100  $\mu\text{m}$  de una posición de una parte extrema del botón de soldadura (3) en una dirección perpendicular a una tangente a una línea que indica la parte extrema del botón de soldadura (3),

en donde

la tangente es una tangente en la posición (120) de la parte extrema del botón de soldadura (3) para determinar la región cuadrada (123), y en donde

la posición (120) de la parte extrema del botón de soldadura (3) para determinar la región cuadrada (123) es una posición dentro de un intervalo cuyo centro se establece en un centro en la dirección de grosor de plancha de la unión soldada por puntos y que tiene una longitud de 1/4 veces un grosor total de plancha que es un valor total de grosores de plancha de la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) a lo largo de la dirección de grosor de plancha, en donde

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S.

2. Un método de soldadura por puntos para superponer una pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) y realizar soldadura por puntos sobre las planchas de acero (1A, 1B), en donde

al menos un pedazo de plancha de acero de la pluralidad de pedazos de planchas de acero es una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, en donde

un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representado por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, el método de soldadura por puntos se **caracteriza por**:

realizar soldadura principal para energizar electrodos de soldeo (2A, 2B) con una corriente de soldadura principal  $I_w$  (kA) en un estado en el que la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) son presurizados por los electrodos de soldeo (2A, 2B) a una fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar la soldadura principal, enfriamiento tras soldadura principal para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  (ms) que satisface la siguiente expresión (C) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la soldadura principal, pos-energización para energizar los electrodos de soldeo (2A, 2B) con una corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (D) durante un tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (E) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); y

mantener, tras finalizar la pos-energización, la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la expresión anterior (B) durante un tiempo de mantenimiento  $t_H$  (ms) que satisface la siguiente expresión (F), y entonces liberar la presurización a la fuerza de presurización  $F_E$  (N); en donde

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

$$1960 \times h \leq F_E \leq 3920 \times h \dots (B)$$

$$7 \times h + 5 \leq t_S \leq 300 \dots (C)$$

$$0,66 \times l_W \leq l_P < l_W \dots (D)$$

$$48/\{(l_P/l_W)^2 - 0,44\} \leq t_P \dots (E)$$

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (F)$$

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S, y h en la expresión anterior (B), y la expresión anterior (C) indica un grosor de plancha de la plancha de acero (mm).

3. Un método de soldadura por puntos para superponer una pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) y realizar soldadura por puntos sobre las planchas de acero (1A, 1B), en donde al menos un pedazo de plancha de acero (1A; 1B) de la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) es una plancha de acero de alta resistencia cuya resistencia a la tracción es de 750 MPa a 2500 MPa, en donde un equivalente de carbono  $C_{eq}$  de la plancha de acero de alta resistencia representado por la siguiente expresión (A) es del 0,20 % en masa al 0,55 % en masa, el método de soldadura por puntos se **caracteriza por:**

realizar pre-energización para energizar electrodos de soldeo con una corriente de pre-energización  $I_f$  (kA) que satisface la siguiente expresión (C) durante un tiempo de pre-energización  $t_f$  (ms) que satisface la siguiente expresión (D), en un estado en el que la pluralidad superpuesta de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) son presurizados por los electrodos de soldeo (2A, 2B) a una fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar la pre-energización, enfriamiento tras la pre-energización para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero (1A, 1B) durante un tiempo de enfriamiento tras la pre-energización  $t_C$  (ms) que satisface la siguiente expresión (E) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la pre-energización, soldadura principal para energizar los electrodos de soldeo (2A, 2B) con una corriente de soldadura principal  $I_W$  (kA) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar la soldadura principal, enfriamiento tras soldadura principal para enfriar la pluralidad de pedazos de planchas de acero (2A, 2B) durante un tiempo de enfriamiento tras la soldadura principal  $t_S$  (ms) que satisface la siguiente expresión (F) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B);

realizar, tras finalizar el enfriamiento tras la soldadura principal, pos-energización para energizar los electrodos de soldeo (2A, 2B) con una corriente de pos-energización  $I_P$  (kA) que satisface la siguiente expresión (G) durante un tiempo de pos-energización  $t_P$  (ms) que satisface la siguiente expresión (H) mientras se mantiene la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la siguiente expresión (B); y

mantener, tras finalizar la pos-energización, la fuerza de presurización  $F_E$  (N) que satisface la expresión anterior (B) durante un tiempo de mantenimiento  $t_E$  (ms) que satisface la siguiente expresión (I), y entonces liberar la presurización a la fuerza de presurización  $F_E$  (N); en donde

$$C_{eq} = [C] + [Si]/30 + [Mn]/20 + 2[P] + 4[S] \dots (A)$$

$$1960 \times h \leq F_E \leq 3920 \times h \dots (B)$$

$$0,40 \times l_W \leq I_f < l_W \dots (C)$$

$$20 \leq t_f \dots (D)$$

$$0 \leq t_C < 200 + 7 \times h \dots (E)$$

$$7 \times h + 5 \leq t_S \leq 300 \dots (F)$$

$$0,66 \times l_W \leq l_P < l_W \dots (G)$$

$$48/\{(l_P/l_W)^2 - 0,4\} \leq t_P \dots (H)$$

$$0 \leq t_H \leq 300 \dots (I)$$

## ES 2 663 500 T3

[C], [Si], [Mn], [P] y [S] en la expresión anterior (A) indican contenido respectivo (% en masa) de C, Si, Mn, P y S, y h en la expresión anterior (B), la expresión anterior (E), y la expresión anterior (F) indica un grosor de plancha de la plancha de acero (mm).

FIG. 1

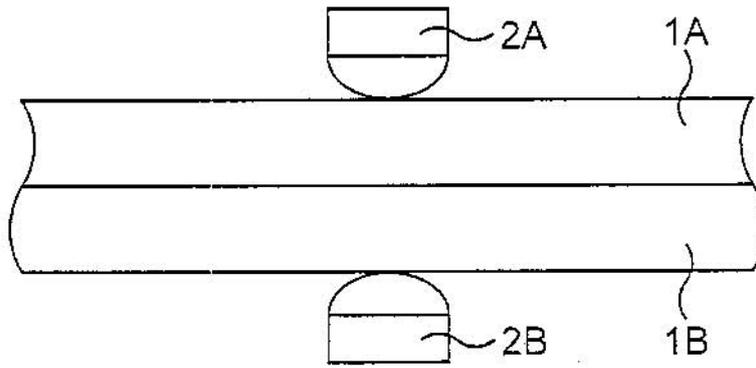


FIG. 2

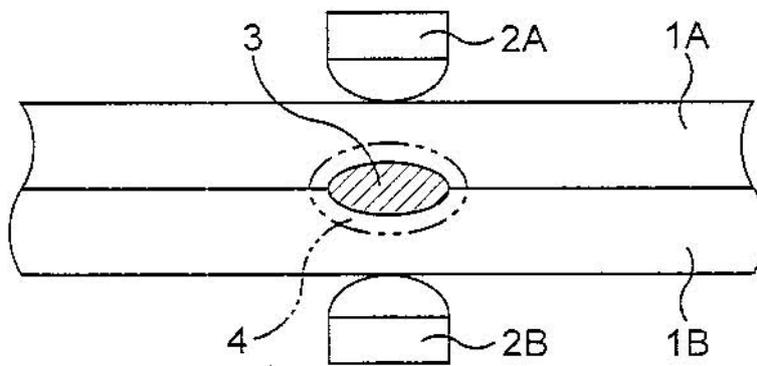


FIG. 3

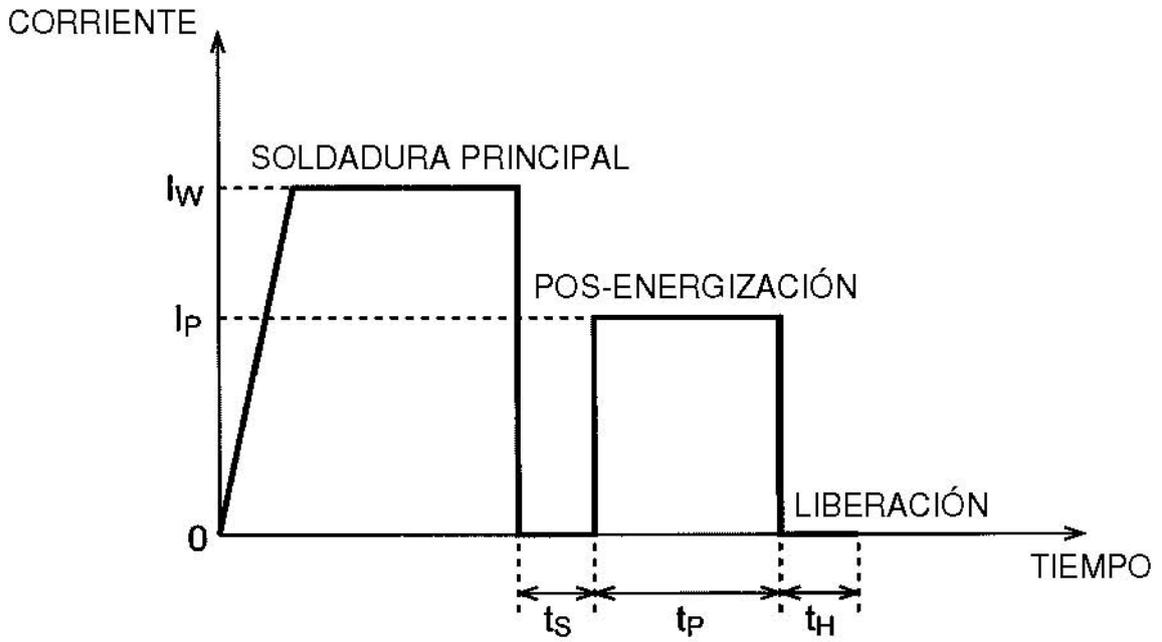


FIG. 4

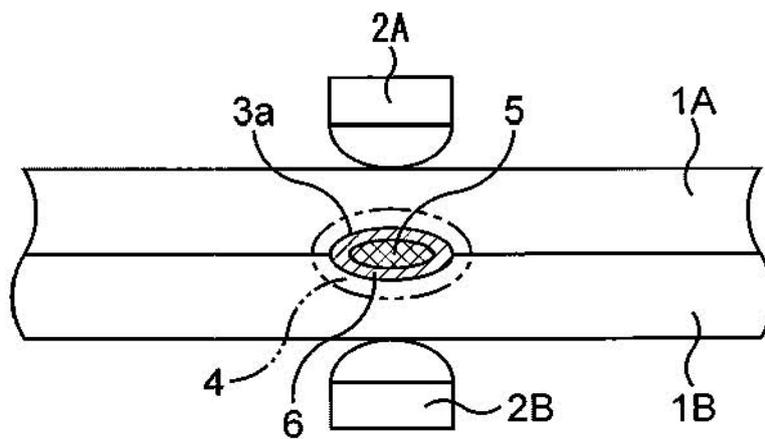


FIG. 5

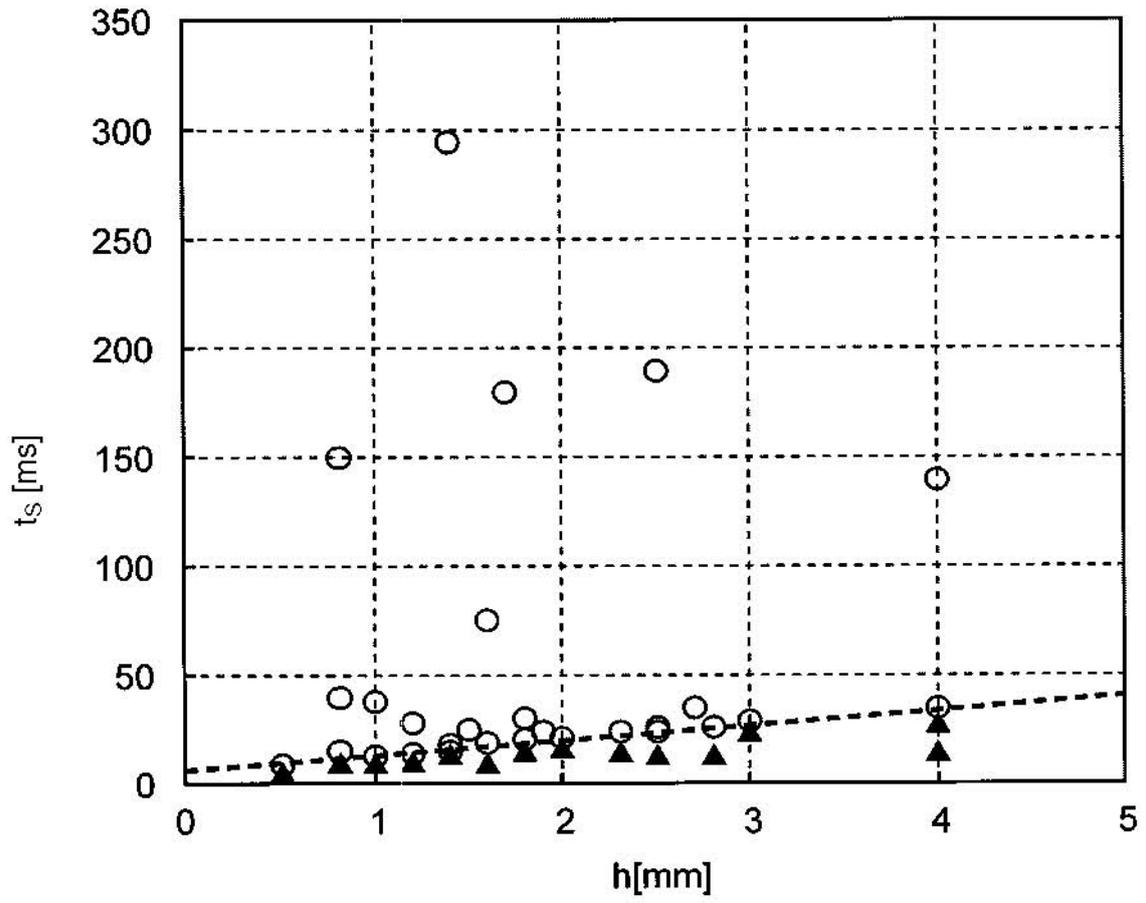


FIG. 6

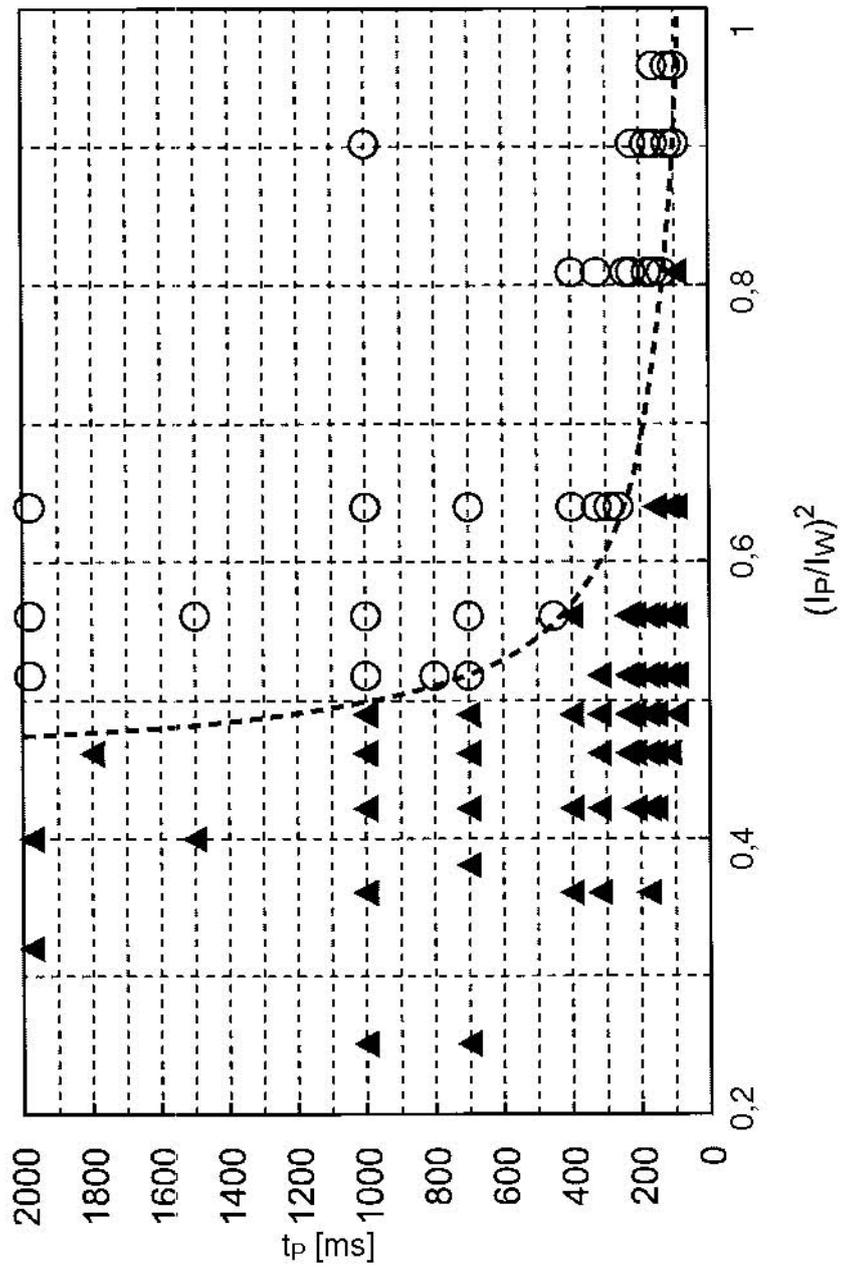


FIG. 7

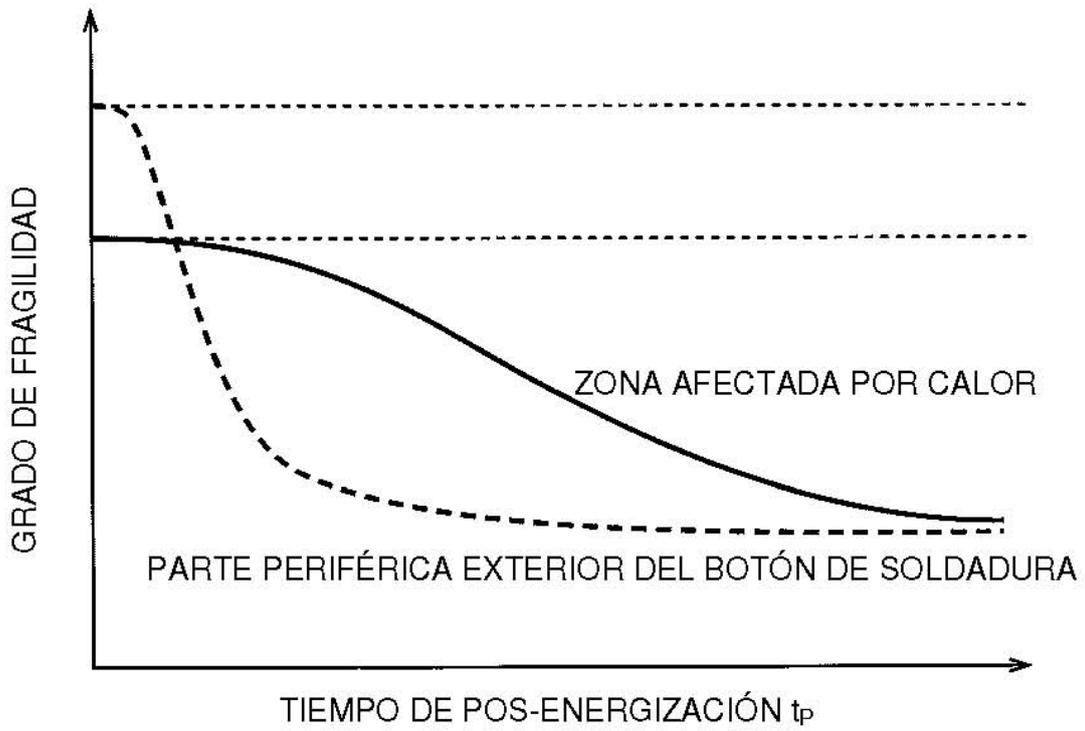


FIG. 8

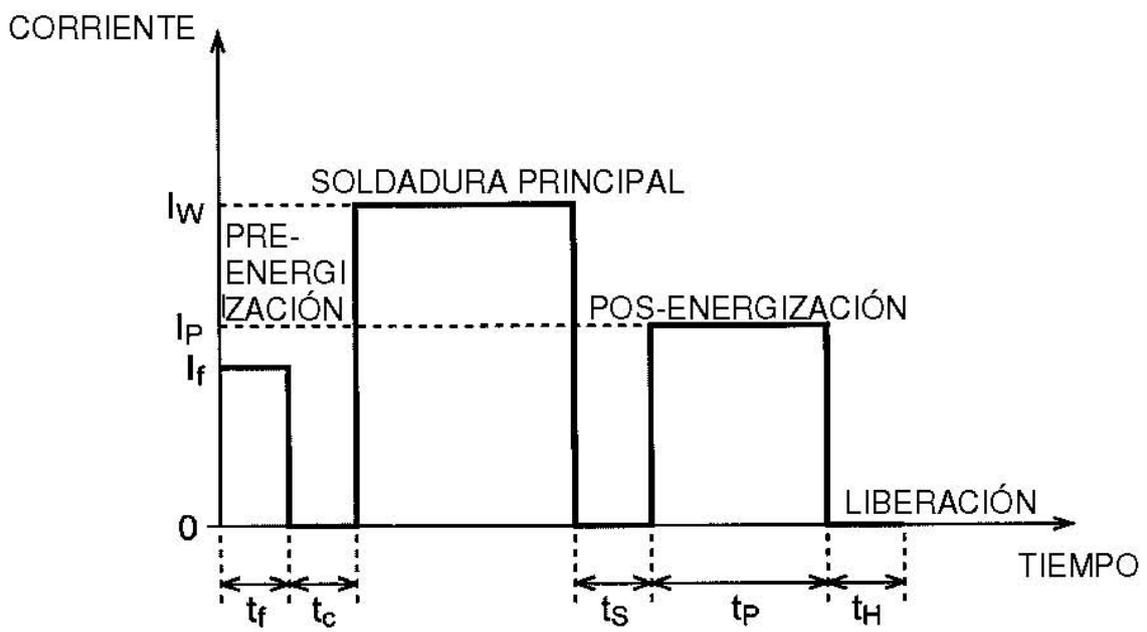


FIG. 9

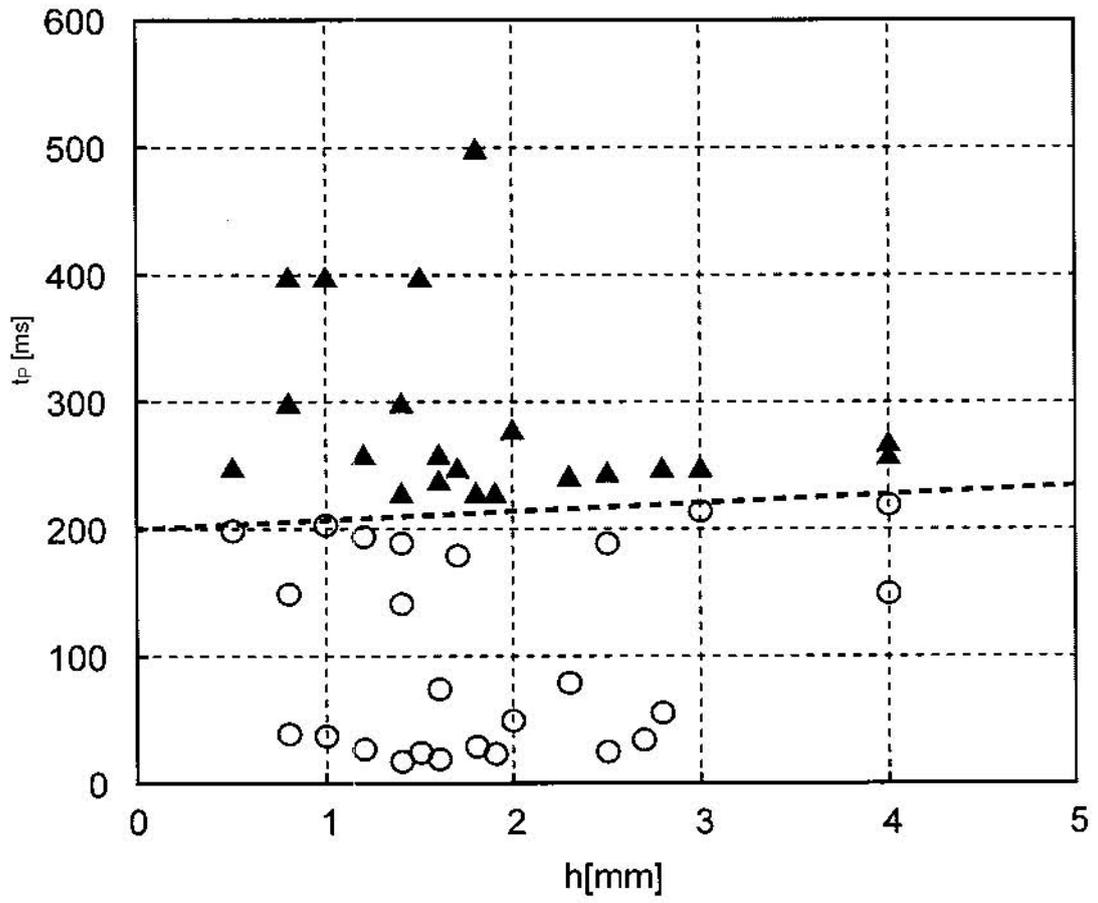


FIG. 10

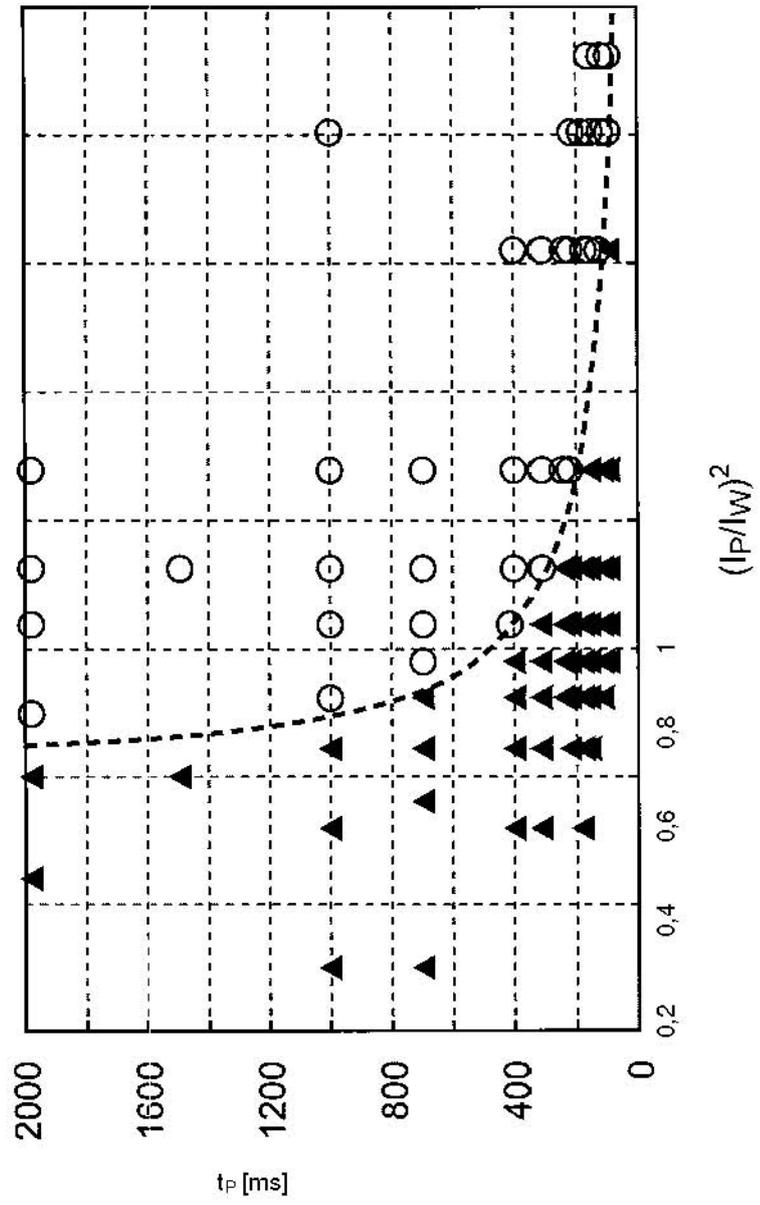


FIG. 11A

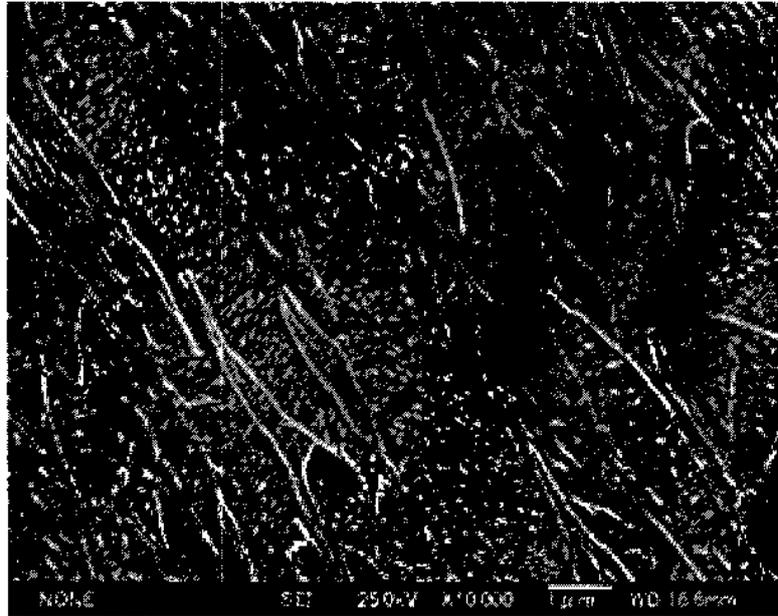


FIG. 11B

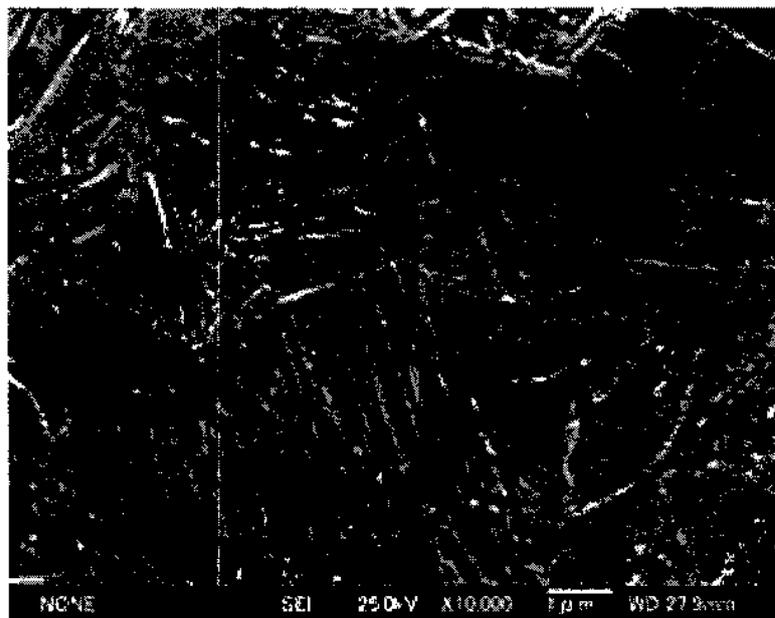


FIG. 12A

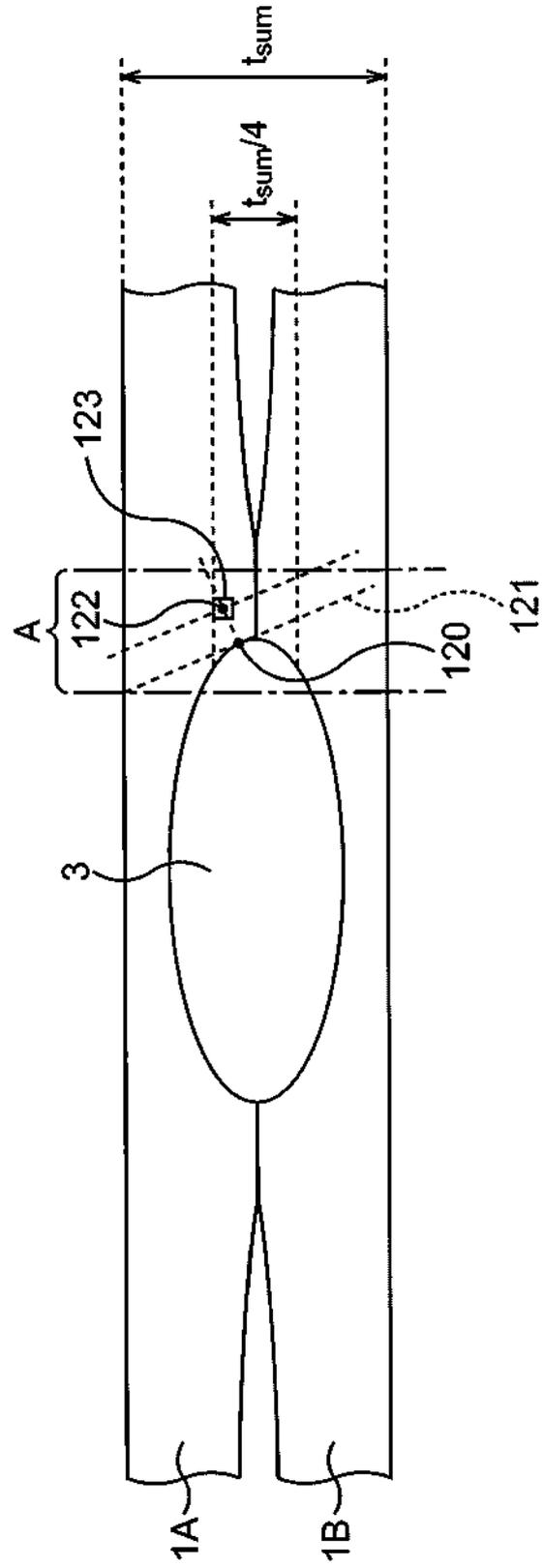


FIG. 12B

