

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 348**

51 Int. Cl.:

C22C 38/00 (2006.01)

B23K 35/30 (2006.01)

C22C 19/03 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.02.2013 PCT/FR2013/050224**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2014 WO14118442**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.02.2013 E 13706621 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.10.2019 EP 2951328**

54 Título: **Hilo de soldadura para aleación Fe-36Ni**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.05.2020

73 Titular/es:
**APERAM (100.0%)
12C rue Guillaume Kroll
1882 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**REYDET, PIERRE-LOUIS;
ROY, JEAN-LOUIS y
PANIER, ROLAND, ANDRÉ**

74 Agente/Representante:
SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 763 348 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

Hilo de soldadura para aleación Fe-36Ni

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un hilo de soldadura destinado a ser utilizado para soldar entre sí partes de piezas, dichas partes presentan la composición siguiente en % de peso:
- 35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %
 trazas \leq C \leq 0,10 %
- 10 trazas \leq Mn \leq 0,60 %
 trazas \leq P \leq 0,025 %
 trazas \leq S \leq 0,025 %
 trazas \leq Si \leq 0,35 %
 trazas \leq Cr \leq 0,50 %
- 15 trazas \leq Mo \leq 0,50 %
 trazas \leq Co \leq 0,50 %
- estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.
- 20 **[0002]** Esta composición corresponde a la definición habitual de las aleaciones denominadas Fe-36Ni.
- [0003]** Las aleaciones Fe-36Ni, como el Invar® M93 son aleaciones que presentan un bajo coeficiente de dilatación térmica, lo que los hace en concreto atractivos para transportar líquidos criogénicos.
- 25 **[0004]** En tales aplicaciones, se ensamblan entre sí elementos de aleación Fe-36Ni por soldadura.
- [0005]** Cuando los ensamblajes de elementos de aleación Fe-36Ni se utilizan en aplicaciones de recipientes a presión, como tubos de transporte de líquidos criogénicos o cubas destinadas a recibir líquidos criogénicos, es deseables que estos ensamblajes cumplan los criterios expuestos en la sección IX dedicada a las cualificaciones para las soldaduras y soldeos de la norma titulada «Código sobre las calderas y recipientes a presión» («Boiler and Pressure Vessel Code» en inglés) emitida por la ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- 30 **[0006]** Esta norma exige en concreto que las propiedades mecánicas de la junta soldada, en particular la carga a la rotura (Rm), sean superiores o iguales a las del metal de base en el que se realizan los elementos ensamblados por esta junta soldada de manera que el ensamblaje puede dimensionarse en base a las propiedades del metal de base, y no de las de la junta soldada.
- 35 **[0007]** El experto en la materia denomina a esta propiedad con el término inglés «overmatching» de las propiedades mecánicas. Se considera que se cumple esta propiedad si, en un test de tracción en una probeta tomada perpendicularmente a la junta soldada, la rotura se produce en el metal de base, y no en la junta soldada.
- 40 **[0008]** En este caso, el metal de base es una aleación Fe-36Ni. Por consiguiente, la condición de overmatching de las propiedades mecánicas se cumplirá si la junta soldada presenta propiedades mecánicas superiores o iguales a las de la aleación Fe-36Ni.
- 45 **[0009]** Por regla general, una soldadura presenta granos de tamaño superior a los del metal de base, en concreto a causa de los procedimientos de obtención respectivos. Por consiguiente, una soldadura homogénea, es decir, realizada con un hilo de soldadura de composición química idéntica a la del metal de base no cumple, en principio, la condición de overmatching.
- 50 **[0010]** Para mejorar las propiedades mecánicas de la soldadura respecto de una soldadura homogénea, se ha considerado endurecer la aleación que constituye el hilo de soldadura mediante la adición de elementos de aleación como el niobio, que generan un endurecimiento de solución sólida de la aleación.
- 55 **[0011]** A modo de ejemplo, se conocen hilos de soldadura a base de hierro que comprenden un 36 % de níquel, un 1,6 % de niobio y un 0,4 % de manganeso. En estos hilos de soldadura, se añade el niobio por su efecto endurecedor de solución sólida y el manganeso para capturar el azufre y mejorar la resistencia al agrietamiento por solidificación y recalentamiento.
- 60 **[0012]** Sin embargo, los inventores de la presente invención han constatado que tales hilos de soldadura no son totalmente satisfactorios para soldar entre sí piezas realizadas con aleación Fe-36Ni.
- [0013]** De hecho, los inventores han constatado que la adición de niobio, al tiempo que mejora efectivamente las propiedades mecánicas a temperatura ambiente de la soldadura realizada entre elementos de aleación Fe-36Ni, y en particular su resistencia a la tracción, degradaba otras propiedades de la soldadura. En particular, las soldaduras
- 65

así obtenidas son frágiles. Así, algunos experimentos realizados por los inventores han demostrado que tales soldaduras presentan una ductilidad a -196 °C, medida por choque (KCV), inferior en un 80 % a la del metal de base.

5 **[0014]** Además, los inventores también han constatado que estas juntas soldadas son más sensibles a la transformación martensítica cuando están deformados que el metal de base. Sin embargo, la presencia de islotes de martensítica en una aleación hierro-níquel acelera considerablemente la velocidad de corrosión por picadura. Además, aumenta su coeficiente de dilatación a temperatura criogénica. Una junta soldada deformada a temperatura criogénica produciría entonces propiedades degradadas respecto de la del metal de base. Esta situación, que es factible durante un incidente, no es aceptable en particular en el ámbito de los recipientes a presión, en concreto de los destinados al transporte o al almacenamiento del gas natural licuado.

15 **[0015]** FR 1 363 453 describe materiales para soldadura con vistas a la producción de soldaduras con bajas características de dilatación, y más particularmente de los materiales para soldadura que contienen níquel y hierro como elementos metálicos predominantes.

20 **[0016]** Un objeto de la invención es suministrar un hilo de soldadura adaptado para realizar ensamblajes soldados de aleación Fe-36Ni que cumplan la condición de overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura con la aleación Fe-36Ni y que presenten además una mayor seguridad en el marco de las aplicaciones de recipientes a presión.

[0017] A estos efectos, la invención tiene por objeto un hilo de soldadura como el mencionado, que se realiza en una aleación que comprende, en peso:

25 $38,6 \% \leq \text{Ni+Co} \leq 45,0 \%$
 trazas $\leq \text{Co} \leq 0,50 \%$
 $2,25 \% \leq \text{Ti+Nb} \leq 0,8667 \times (\text{Ni+Co}) - 31,20 \%$ si $38,6 \% \leq \text{Ni+Co} \leq 40,33 \%$
 $2,25 \% \leq \text{Ti+Nb} \leq 3,75 \%$ si $40,33 \% \leq \text{Ni+Co} \leq 41,4 \%$
 $0,4167 \times (\text{Ni+Co}) - 15,0 \%$ si $41,4 \% \leq \text{Ni+Co} \leq 45,0 \%$
 30 trazas $\leq \text{Nb} \leq 0,50 \%$
 $0,01 \% \leq \text{Mn} \leq 0,30 \%$.
 $0,01 \% \leq \text{Si} \leq 0,25 \%$.
 trazas $\leq \text{C} \leq 0,05 \%$
 trazas $\leq \text{Cr} \leq 0,50 \%$

35 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

[0018] Según las realizaciones particulares, el hilo de soldadura según la invención presenta una o más de las características de las reivindicaciones 2 a 7, tomadas por separado o en cualquier combinación técnicamente posible.

40 **[0019]** La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de un hilo de soldadura como el mencionado según la reivindicación 8.

45 **[0020]** Según unas realizaciones particulares, el procedimiento de fabricación del hilo de soldadura según la invención presenta una o varias de las características de las reivindicaciones 9 a 12, tomada(s) aisladamente o según cualquier combinación técnicamente posible.

[0021] La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de soldadura según las reivindicaciones 13 y 14.

50 **[0022]** La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de fabricación de un tramo de tubo según las reivindicaciones 15 y 16.

[0023] La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de fabricación de un tubo según las reivindicaciones 17 y 18,

55 **[0024]** La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de una parte de tanque según la reivindicación 19.

[0025] La invención tiene igualmente como objeto un ensamblaje soldado según la reivindicación 20.

60 **[0026]** La invención tiene igualmente como objeto una parte de tanque según la reivindicación 21. La invención tiene igualmente como objeto un tramo de tubo según la reivindicación 22. La invención tiene igualmente como objeto un tubo según la reivindicación 23.

65 **[0027]** La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que aparece a continuación, dada

únicamente a título de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos anexos, en los que:

- la figura 1 es un gráfico que representa el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura según la invención en función de su contenido en níquel + cobalto;
- 5 - la figura 2 es una vista esquemática en sección de un ensamblaje soldado según la invención;
- la figura 3 es una vista esquemática superior de una chapa utilizada durante la aplicación del procedimiento de fabricación de un tramo de tubo;
- la figura 4 es una vista esquemática en perspectiva de un tramo de tubo obtenido mediante el procedimiento de fabricación de un tramo de tubo según la invención; y
- 10 - la figura 5 es una vista esquemática en perspectiva de un tramo de tubo obtenido mediante el procedimiento de fabricación de un tubo según la invención.

[0028] El hilo de soldadura según la invención está destinado a ser utilizado como hilo de aportación para soldar entre sí partes de piezas realizadas en un metal de base que comprenda, en % en peso:

- 15 35,0 % ≤ Ni ≤ 37,0 %
- trazas ≤ C ≤ 0,10 %
- trazas ≤ Mn ≤ 0,60 %
- 20 trazas ≤ P ≤ 0,025 %
- trazas ≤ S ≤ 0,025 %
- trazas ≤ Si ≤ 0,35 %
- trazas ≤ Cr ≤ 0,50 %
- trazas ≤ Mo < 0,50 %
- trazas ≤ Co ≤ 0,50 %

25 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

[0029] Una tal aleación es una aleación Fe-36Ni. Corresponde a la aleación 11 definida en la tabla 1 de la norma ASTM A 333/A333M-99.

30 **[0030]** De forma preferida, el hilo de soldadura se utiliza para soldar entre sí partes de piezas realizadas en un metal de base que comprenda, en % en peso:

| Ni | Mn | Si | Co | C | Cr | S | P | Mo | Fe |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-------|
| 35,7 % a 36,4 % | 0,31 % a 0,42 % | 0,15 % a 0,25 % | 0,01 % a 0,25 % | 0,02 % a 0,04 % | 0,02 % a 0,15 % | 0,0002 % a 0,0015 % | 0,0001 % a 0,007 % | 0,001 % a 0,10 % | Resto |

35 **[0031]** El nombre comercial de esta aleación es Invar®M93.

[0032] La utilización de este hilo de soldadura no requiere que el experto en la materia modifique las condiciones habituales de realización de la soldadura.

40 **[0033]** También hay que entender que en todo el texto se entiende por «partes de piezas» soldadas en sí, tanto el caso en que estas partes soldadas entre sí pertenecen a dos piezas inicialmente separadas como el caso en que estas partes son dos partes de una misma pieza doblada sobre sí misma, por ejemplo los dos bordes longitudinales de una chapa que se suelda para formar un tubo.

45 **[0034]** En adelante en la descripción, se entiende por «líquido criogénico» un gas licuado conservado en estado líquido a baja temperatura, en concreto inferior a -150 °C. Un tal líquido criogénico es por ejemplo metano o gas natural licuado, butano o propano líquido. En adelante en la descripción, se califica de temperatura criogénica la temperatura de ebullición de un tal líquido criogénico.

50 **[0035]** El metal de base definido a continuación, tanto en su forma general como en su forma preferida, presenta las siguientes propiedades.

[0036] A temperatura criogénica, en particular a -196 °C (temperatura de ebullición del nitrógeno), su resiliencia es superior a 100J/cm², y en particular superior a 120J/cm².

55 **[0037]** Presenta un bajo coeficiente medio de dilatación térmica entre - 180 °C y 0 °C, que en concreto es del orden de 1x10⁻⁶/°C.

[0038] Su contenido en martensita sigue siendo inferior al 5 % cuando se somete al metal a una deformación plástica del 25 % por tracción plana interrumpida a temperatura criogénica, en concreto a -196 °C (temperatura de

ebullición del nitrógeno).

[0039] El hilo de soldadura según la invención se realiza en una aleación que comprende, en % en peso:

- 5 38,6 % \leq Ni+Co \leq 45,0 %
 trazas \leq Co \leq 0,50 %
 $2,25\% \leq$ Ti+Nb \leq $0,8667 \times$ (Ni+Co) - 31,20% si $38,6\% \leq$ Ni+Co \leq 40,33%
 $2,25\% \leq$ Ti+Nb \leq 3,75 % si $40,33\% \leq$ Ni+Co \leq 41,4 %
 $0,4167 \times$ (Ni+Co) - 15,0 % \leq Ti+Nb \leq 3,75 % si $41,4\% \leq$ Ni+Co \leq 45,0 %
- 10 trazas \leq Nb \leq 0,50 %
 0,01 % \leq Mn \leq 0,30 %
 0,01 % \leq Si \leq 0,25 %
 trazas \leq C \leq 0,05 %
 trazas \leq Cr \leq 0,50 %

15

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

[0040] Cuando el hilo de soldadura según la invención se utiliza como hilo de aportación para soldar entre sí partes de piezas realizadas en el metal de base tal como se define más arriba, tanto en su forma particular como en su forma general, las soldaduras obtenidas presentan las siguientes propiedades.

20

[0041] La resiliencia de la soldadura a temperatura criogénica, en concreto a la temperatura de ebullición del nitrógeno (-196 °C) es superior a 120J/cm². Esta propiedad se obtiene en concreto gracias al hecho de que el contenido en niobio de la aleación que constituye el hilo de soldadura es inferior o igual al 0,50 %. Esta resiliencia de la soldadura es similar a la del metal de base.

25

[0042] El coeficiente medio de dilatación térmica de la soldadura entre -180 °C y 0 °C es inferior a $7,5 \times 10^{-6}$ /°C. Por tanto es del orden del del metal de base. Esta propiedad se obtiene gracias al hecho de que el contenido en titanio + niobio de la aleación que constituye el hilo de soldadura es inferior o igual al 3,75 %.

30

[0043] Los contenidos en cobalto, manganeso, silicio y cromo de la aleación que constituye el hilo de soldadura son limitados, para no degradar el coeficiente medio de dilatación térmica en -180 °C y 0 °C por encima de $7,5 \times 10^{-6}$ /°C.

35

[0044] La soldadura presenta una estabilidad frente a la transformación martensítica superior o igual a la del metal de base a temperatura criogénica (en particular a -196 °C), es decir, que su contenido en martensita sigue siendo inferior o igual al 5 % cuando la junta soldada está sujeta a una deformación del 25 % por tracción plana interrumpida a temperatura criogénica, en concreto a -196 °C según la prueba de estabilidad que se describe a continuación. Esta buena estabilidad de la soldadura a la transformación martensítica se obtiene gracias al hecho de que el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura es inferior o igual a $0,8667 \times$ (Ni+Co) - 31,20 %, con Co \leq 0,50 %. En este contexto, los inventores han descubierto, de manera sorprendente, que la estabilidad a la transformación martensítica de la soldadura aumenta cuando el contenido en níquel + cobalto del hilo de soldadura aumente, con contenido en titanio + niobio constante y con Co \leq 0,50 %.

40

[0045] Los contenidos en manganeso y en carbono del hilo de soldadura participan asimismo en la mejora de la estabilidad de la soldadura a la transformación martensítica.

45

[0046] El contenido en carbono del hilo de soldadura está limitado para limitar la precipitación de los carbonitruros de Ti/Nb que degradan la resiliencia a temperatura criogénica.

50

[0047] Las propiedades mecánicas de la soldadura, en particular, la carga de rotura (Rm) son superiores a las del metal de base a temperatura ambiente (25 °C). Por tanto la soldadura cumple la condición de overmatching de las propiedades mecánicas a temperatura ambiente. Esta propiedad se obtiene gracias al hecho de que el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura es inferior o igual al 2,25 % con Nb \leq 0,50 %. El titanio y el niobio se utilizan por sus propiedades de endurecimiento de solución sólida.

55

[0048] Las propiedades mecánicas de la soldadura, en particular la carga en la rotura (Rm) son superiores a las del metal de base a temperatura criogénica. Por tanto la soldadura cumple la condición de overmatching de las propiedades mecánicas a temperatura criogénica. Esta propiedad se obtiene gracias al hecho de que el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura es superior o igual a $0,4167 \times$ (Ni+Co) - 15,0 %, con Co \leq 0,50 %.

60

[0049] En particular, los inventores han constatado que, para un contenido en titanio + niobio dado, el aumento del contenido en níquel + cobalto del hilo de soldadura por encima del límite superior correspondiente a la fórmula anterior invertida de manera que exprese el contenido en níquel + cobalto en función del contenido en titanio + niobio, es decir, por

$$\frac{Ti + Nb + 15,0\%}{0,4167}$$

encima de : con $Co \leq 0,50\%$ degrada las propiedades mecánicas de la aleación a temperatura criogénica. Las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura criogénica entonces son inferiores a las del metal de base, y a la condición de overmatching a temperatura criogénica ya no se cumple.

5 **[0050]** Se observará que los contenidos en elementos de aleación del hilo de soldadura según la invención tienen en cuenta la disolución inevitable del hilo de soldadura mediante la mezcla con el metal de base fundido en la soldadura. La disolución media está comprendida en principio entre el 15 % y el 50 % según la técnica de soldadura utilizada.

10 **[0051]** Los tres rangos de contenidos en titanio + niobio en función del contenido en níquel + cobalto de la aleación que constituye el hilo de soldadura según la invención definidos anteriormente en la composición general del hilo de soldadura son el resultado de la combinación de las condiciones mencionadas más arriba.

15 **[0052]** Estos rangos se han representado gráficamente en la figura 1, que es un gráfico que representa el contenido en titanio + niobio en función del contenido en níquel + cobalto de la aleación que constituye el hilo de soldadura. En esta figura:

- la ecuación de la curva denominada C1 es $Ti+Nb = 0,8667 \times (Ni+Co) - 31,20\%$;
- la ecuación de la curva denominada C2 es $Ti+Nb = 0,4167 \times (Ni+Co) - 15,0\%$;
- 20 - la ecuación de la curva denominada C3 es $Ti+Nb = 3,75\%$; y
- la ecuación de la curva denominada C4 es $Ti+Nb = 2,25\%$;

[0053] Más concretamente:

25 La curva C1 delimita el dominio de contenidos en níquel + cobalto (con $Co \leq 0,50\%$) mínimos en el que la soldadura obtenida a partir el hilo de soldadura presenta una estabilidad a la transformación martensítica a temperatura criogénica superior o igual a la del metal de base.

La curva C2 delimita el dominio de contenidos en níquel + cobalto (con $Co \leq 0,50\%$) máximos en el que se obtiene un overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura criogénica.

30 La curva C3 delimita el dominio de contenidos en titanio + niobio (con $Nb \leq 0,50\%$) máximos para el que el coeficiente de dilatación térmica de la soldadura entre -180 °C y 0 °C es inferior a $7,5 \times 10^{-6}/\text{°C}$.

La curva C4 delimita el dominio de contenidos en titanio + niobio (con $Nb \leq 0,50\%$) mínimos para el que se

obtiene un overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura ambiente.

35 **[0054]** Además, se observará que en la aleación que constituye el hilo de soldadura:

- el contenido en silicio superior o igual al 0,01 % permite garantizar la desoxidación de la aleación;
- el contenido en cromo inferior o igual al 0,50 % mejora el contenido de la aleación a la corrosión atmosférica;
- 40 - el contenido en cobalto inferior o igual al 0,50 % mejora la resiliencia de las soldaduras.

[0055] De forma preferida, el contenido en niobio del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,01 % en peso de forma que se evita o limita la formación de carburo de niobio susceptible de fragilizar la soldadura.

45 **[0056]** De forma preferida, el contenido en cobalto del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,10 % en peso de forma que la soldadura se aún menos sensible a la transformación martensítica a temperatura criogénica.

[0057] De forma preferida, el contenido en carbono del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,015% en peso para limitar la fracción volúmica de carburo de Ti/Nb susceptible de fragilizar la soldadura.

50 **[0058]** De forma preferida, el contenido en cromo del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,10 % de manera que se reduce aún más el coeficiente de dilatación térmica de la soldadura y se consigue una soldadura aún menos sensible a la transformación martensítica.

55 **[0059]** De manera aún más preferida, el hilo de soldadura se realiza en una aleación que comprende, en % en peso:

- $40,0\% \leq Ni + Co \leq 42,0\%$
- $2,60\% \leq Ti + Nb \leq 3,40\%$
- 60 trazas $\leq Nb \leq 0,01\%$
- trazas $\leq Co \leq 0,10\%$
- $0,01\% \leq Mn \leq 0,10\%$
- $0,01\% \leq Si \leq 0,10\%$

trazas \leq C \leq 0,015 %
 trazas \leq Cr \leq 0,10 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

5

[0060] Esta composición preferida se materializa con un rectángulo en la figura 1.

[0061] Es particularmente ventajoso un hilo de soldadura con esta composición. De hecho, permite obtener un muy buen compromiso entre las diversas propiedades de la junta soldada formada en partes de piezas realizadas en el metal de base, a saber, una resiliencia (KCV) a -196 °C superior o igual a 130 J/cm², un coeficiente de dilatación térmica entre -180 °C y 0 °C inferior a 5x10⁻⁶/°C, una muy baja sensibilidad a la transformación martensítica a -196 °C y el overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura con el metal de base a -163 °C y a 25 °C.

[0062] Presenta además una soldabilidad mejorada gracias a su contenido en titanio + niobio inferior al 3,40 %.

15

[0063] De manera aún más preferida, el hilo de soldadura presenta la siguiente composición, en porcentaje en peso:

20 41,0 % \leq Ni+Co \leq 42,0 %
 2,60 % \leq Ti + Nb \leq 3,40 %
 trazas \leq Nb \leq 0,01 %
 trazas \leq Co \leq 0,10 %
 0,01 % \leq Mn \leq 0,10 %
 0,01 % \leq Si \leq 0,10 %
 25 trazas \leq C \leq 0,015 %
 trazas \leq Cr \leq 0,10 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

[0064] Este hilo de soldadura es particularmente ventajoso. De hecho, además de las ventajas mencionadas más arriba, la junta soldada obtenida soldando entre sí partes de piezas realizadas en el metal de base presenta una estabilidad a la transformación martensítica aún mejor. De hecho, el contenido en martensita de la junta soldada sigue siendo inferior o igual al 3 % cuando la junta soldada está sujeta a una deformación del 25 % por tracción plana interrumpida a temperatura criogénica, en concreto a -196 °C, según la prueba de estabilidad que se describe a continuación. Así, las juntas soldadas obtenidas entre piezas realizadas en el metal de base utilizando este hilo de soldadura como hilo de aportación presentan una resistencia a la corrosión por picadura aún mejor. Además, la reducción del índice de martensita homogeneiza el coeficiente de dilatación térmica en la junta soldada y permite reducir aún más las diferencias de dilatación térmica locales relacionadas con la presencia de martensita.

[0065] La invención también tiene por objeto un procedimiento de fabricación de un hilo de soldadura como el mencionado más arriba.

[0066] Este procedimiento comprende una etapa de elaboración de la aleación que constituye el hilo de soldadura. La aleación descrita más arriba se elabora de manera clásica, por ejemplo en un horno eléctrico de arco eléctrico o en un horno al vacío por inducción.

[0067] Durante la elaboración de la aleación que constituye el hilo de soldadura, se busca reducir al máximo los contenidos en elementos como el azufre y el fósforo, en particular para evitar toda sensibilidad de la aleación al agrietamiento por solidificación y al agrietamiento por calentamiento y favorecer así la transformación en caliente y la soldabilidad del hilo de soldadura. Estos elementos residuales forman parte de las impurezas que resultan de la elaboración.

[0068] Una vez elaborada la aleación, se forman semiproductos a partir de esta aleación. A estos efectos, la aleación bien se cuela en lingotes, bien se cuela directamente en forma de palancón, en concreto mediante una colada continua. Por tanto, los semiproductos obtenidos tras esta etapa son ventajosamente lingotes o palancones.

[0069] Opcionalmente, estos semiproductos se refunden al vacío o por electroescoria. El efecto de esta etapa es disminuir el contenido en residuos no deseados, y por tanto mejora la pureza de la aleación.

[0070] Después, se transforman los semiproductos por transformación en caliente entre 1050 °C y 1250 °C para formar un hilo.

[0071] En particular, durante esta etapa de transformación en caliente, los semiproductos, es decir, en concreto los lingotes o palancones, se transforman en caliente de manera que se reduzca su sección, confiriéndoles por ejemplo una sección cuadrada, de aproximadamente 100 mm a 200 mm de lado. Se obtiene así un semiproducto de sección

reducida. La longitud de este semiproducto de sección reducida está comprendida en concreto entre 10 metros y 20 metros.

5 [0072] Ventajosamente, la reducción de la sección de los semiproductos se realiza mediante una o varias pasadas sucesivas de laminado en caliente.

10 [0073] Los semiproductos de sección reducida se vuelven a transformar en caliente para obtener el hilo. El hilo puede ser en particular un alambón. Presenta por ejemplo un diámetro comprendido entre 5 mm y 21 mm, y en particular aproximadamente igual a 5,5 mm.

[0074] Ventajosamente, durante esta etapa, el hilo se produce por laminado en caliente en un tren para hilo.

[0075] A continuación se decapa el hilo y se enrolla en forma de bobina.

15 [0076] Entonces se trefila mediante una instalación de trefilado de tipo conocido para obtener el hilo de soldadura. Este hilo de soldadura presenta un diámetro inferior al del hilo del principio. Su diámetro está comprendido en concreto entre 0,5 mm y 1,5 mm. Está comprendido ventajosamente entre 0,8 mm y 1,2 mm.

20 [0077] Otro objeto de la invención es la utilización del hilo de soldadura tal y como se ha definido anteriormente para soldar entre sí al menos dos partes de piezas realizadas en el metal de base definido anteriormente.

25 [0078] La invención también tiene por objeto un procedimiento de soldadura para soldar entre sí al menos dos partes de piezas 12 realizadas en el metal de base definido anteriormente de forma que se realice un ensamblaje soldado 10 (figura 2).

[0079] En un primer tiempo, se suministra un hilo de soldadura como el descrito anteriormente. Además se suministran partes de piezas 12 realizadas con el metal de base que se desean soldar entre sí mediante un procedimiento de soldadura.

30 [0080] A continuación se sueldan entre sí las partes de las piezas 12 utilizando el hilo de soldadura como hilo de aportación.

35 [0081] Durante esta etapa, se realiza por ejemplo una soldadura de solape bien una soldadura a tope. La elección del tipo de soldadura depende en concreto de la naturaleza y de la forma de las partes de piezas 12 que se van a soldar y de la forma deseada del ensamblaje soldado 10.

40 [0082] La etapa de soldadura puede comprender una o varias pasadas de soldadura. Clásicamente, comprende una primera pasada de soldadura denominada pasada de fondo, seguida de una o varias pasadas de soldadura adicionales, denominadas pasadas de relleno.

[0083] Cada una de las pasadas de soldadura se realiza utilizando como hilo de aportación el hilo de soldadura según la invención, tal como se ha descrito anteriormente. Se limita así la disolución de este hilo de soldadura a la disolución por el metal de base fundido resultante de la soldadura.

45 [0084] La soldadura se realiza así de manera manual o automática.

50 [0085] Ventajosamente, la soldadura se realiza mediante un procedimiento de soldadura a baja energía de manera que la zona de las partes de piezas 12 afectada térmicamente para soldar sea lo menos ancha posible. De hecho, el engrosamiento de los granos de metal en la zona afectada térmicamente genera un debilitamiento mecánico de esta zona, por lo que es importante minimizar su anchura tanto como sea posible.

55 [0086] La soldadura se realiza por ejemplo por soldadura por plasma o por soldadura TIG («Tungsten Inert Gas» en inglés) o MIG («Métal Inert Gas» en inglés) utilizando el hilo de soldadura según la invención como hilo de aportación.

[0087] De preferencia, la pasada de fondo se realiza por soldadura por plasma, y las pasadas de relleno se realizan por soldadura MIG o TIG, y ventajosamente por soldadura TIG. De hecho, los procedimientos de soldadura MIG y TIG son procedimientos de soldadura a más baja energía que la soldadura por plasma.

60 [0088] Tras este procedimiento se obtiene una unión soldada 10 que comprende las partes de piezas 12 unidas entre sí por un cordón de soldadura 13 obtenido a partir del hilo de soldadura tal como se ha descrito anteriormente. Una tal unión soldada 10 se ilustra en la figura 2.

65 [0089] Más particularmente, este procedimiento de soldadura puede utilizarse para fabricar un tramo de tubo realizado en el metal de base tal como se ha definido anteriormente.

[0090] Así, otro objeto de la invención es un procedimiento de un tal tramo de tubo.

[0091] El procedimiento comprende el suministro de una chapa 1 realizada con el metal de base. Una tal chapa 1 está representada en la figura 3. Se extiende según una dirección longitudinal L y presenta bordes longitudinales 3 sensiblemente paralelos a la dirección longitudinal L. Presenta por ejemplo un espesor comprendido entre 2 mm y 18 mm.

[0092] El procedimiento comprende además una etapa que consiste en doblar esta chapa 1 de manera que los dos bordes longitudinales 3 queden uno frente al otro, seguida de una etapa que consista en soldar entre sí los dos bordes longitudinales 3 enfrentados utilizando el procedimiento de soldadura definido anteriormente.

[0093] En ese caso, las partes de piezas 12 descritas en el marco del procedimiento de soldadura comprenden los bordes longitudinales 3 de la chapa 1.

[0094] La soldadura realizada durante esta etapa es una soldadura longitudinal.

[0095] De preferencia, se trata de una soldadura a tope.

[0096] Tras este procedimiento se obtiene un tramo de tubo 5 tal como se ilustra en la figura 4, en el que la chapa 1 está doblada en forma de tubo, y los bordes longitudinales 3 de la chapa 1 están unidos entre sí mediante un cordón de soldadura 6 obtenido a partir del hilo de soldadura tal como el definido anteriormente.

[0097] En una variante, al menos los bordes longitudinales 3 de la chapa 1 están realizados en el metal de base. El resto de la chapa 1 puede estar fabricado con cualquier material.

[0098] El procedimiento de soldadura según la invención también puede utilizarse para fabricar un tubo 7 a partir de tramos de tubo realizados en el metal de base tal como se ha definido anteriormente.

[0099] Así, otro objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de un tubo 7. Un tal tubo 7 se ilustra en la figura 5.

[0100] Durante este procedimiento se suministran al menos dos tramos de tubos 5. Estos tramos de tubo son por ejemplo tramos de tubo 5 obtenidos mediante el procedimiento de fabricación tal como se ha descrito anteriormente.

[0101] Cada tramo de tubo 5 es sensiblemente cilíndrico con eje M, y presenta dos extremos longitudinales 10 espaciados entre sí según la dirección del eje M.

[0102] Se posicionan entonces los dos tramos de tubo 5 de manera que sus extremos longitudinales 10 estén dispuestos el uno frente al otro según la dirección del eje M de estos tramos de tubo, después se sueldan entre sí los extremos longitudinales 10 frente a los dos tramos de tubo 5 mediante el procedimiento de soldadura definido anteriormente.

[0103] En ese caso, las partes de piezas 12 definidas en el marco del procedimiento de soldadura comprenden los extremos longitudinales 10 de los tramos de tubo 5.

[0104] Ventajosamente, durante esta etapa se realiza una soldadura a tope entre los extremos longitudinales 10 frente a los tramos de tubo 5.

[0105] Cuando la etapa de soldadura se realiza en taller, se realiza preferentemente una soldadura circular. Por soldadura circular se entiende, de manera clásica, una soldadura obtenida haciendo girar los tramos de tubo 5 que se van a soldar respecto de la herramienta de soldadura, en particular respecto a los sopletes de soldadura.

[0106] Cuando la etapa de soldadura se realiza fuera del taller, por ejemplo directamente en el lugar de implantación del tubo 7 se realiza de preferencia una soldadura orbital. Por soldadura orbital se entiende una soldadura realizada haciendo girar la herramienta de soldadura, a saber en particular los sopletes de soldadura, respecto de los tramos de tubo 5 que se van a soldar.

[0107] Esta etapa de soldadura se realiza un número de veces igual al número de tramos de tubo 5 que se van a soldar para formar el tubo 7 menos uno.

[0108] En una variante, este procedimiento puede realizarse con cualquier tipo de tramo de tubo cuyos extremos longitudinales estén realizados en el metal de base, sea cual sea el procedimiento de obtención del tramo de tubo.

[0109] Opcionalmente, se realiza además una línea de fusión en la otra cara de la soldadura, es decir, en el interior del tubo 7. Esta etapa adicional permite, de manera clásica, mejorar la geometría de la soldadura.

5 **[0110]** Después de esta o de estas etapas de soldadura se obtiene el tubo 7. Este tubo 7 comprende al menos dos tramos de tubos 5 sucesivos ensamblados entre sí mediante un cordón de soldadura 11 obtenido a partir del hilo de soldadura tal como se ha definido anteriormente.

10 **[0111]** Un tal tubo 7 es por ejemplo un tubo interior de un conducto de transporte de un líquido criogénico, en particular de un conducto de transporte submarino.

[0112] Algunos ejemplos de gases naturales transportados son el metano, el gas natural licuado, el butano y el propano líquido.

15 **[0113]** El procedimiento de soldadura según la invención también puede utilizarse para la fabricación de una parte de tanque realizada en el metal de base.

20 **[0114]** Así, otro objeto de la invención es un procedimiento de fabricación de al menos una parte de tanque realizado en el metal de base tal como se ha definido anteriormente mediante soldadura entre sí de piezas realizadas en el metal de base.

[0115] Por parte de tanque se entiende por ejemplo una membrana de revestimiento interior de un tanque o una parte de una tal membrana,

25 **[0116]** Las piezas utilizadas por ejemplo se han fabricado anteriormente mediante conformado de chapas. También puede tratarse de chapas a su vez cortadas a partir de bandas adaptadas. Las chapas utilizadas tienen por ejemplo un espesor comprendido entre 0,2 mm y 10 mm y ventajosamente comprendido entre 0,5 mm y 1,5 mm.

30 **[0117]** Las piezas están soldadas entre sí mediante el procedimiento de soldadura tal como se ha definido anteriormente.

[0118] Se obtiene así una parte de tanque, que comprende al menos dos piezas unidas entre sí mediante un cordón de soldadura obtenido a partir del hilo de soldadura tal como se ha definido anteriormente.

35 **[0119]** Un tal tanque es por ejemplo un tanque destinado a contener un líquido criogénico, tal como gas natural licuado.

Ejemplos

40 **[0120]** Se han fabricado hilos de soldadura según la invención utilizando el procedimiento de fabricación del hilo de soldadura descrito anteriormente.

[0121] La tabla 1 resume los experimentos que se han realizado.

45 **[0122]** En esta tabla se han marcado con un asterisco los hilos de soldadura que no son conformes a la invención. Así, en los ejemplos 1 a 4 y 12 a 14, la composición química del hilo de soldadura no es conforme a la invención. En los ejemplos 5 a 11, la composición química del hilo de soldadura es conforme a la invención.

Tabla 1

| Composición química del hilo de soldadura en porcentaje en peso | | | | | | | | | |
|---|------|--------|-----|--------|------|------|------|-------|-------|
| Ejemplo | Ni | Co | Tl | Nb | Mn | Si | Cr | C | Fe |
| 1* | 36,0 | trazas | 1,5 | trazas | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,005 | resto |
| 2* | 36,0 | trazas | 2,8 | trazas | 0,08 | 0,05 | 0,02 | 0,004 | resto |
| 3* | 38,8 | trazas | 2,8 | trazas | 0,09 | 0,05 | 0,03 | 0,004 | resto |
| 4* | 43,2 | trazas | 2,5 | trazas | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,005 | resto |
| 5 | 42,2 | trazas | 2,8 | trazas | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | resto |
| 6 | 42,2 | trazas | 2,5 | 0,3 | 0,09 | 0,05 | 0,05 | 0,004 | resto |
| 7 | 41,2 | trazas | 3,1 | trazas | 0,07 | 0,05 | 0,02 | 0,007 | resto |

ES 2 763 348 T3

(continuación)

| | | | | | | | | | |
|-----|------|--------|--------|--------|------|------|------|-------|-------|
| 8 | 41,2 | 0,5 | 3,1 | trazas | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,005 | resto |
| 9 | 39,0 | trazas | 2,5 | trazas | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,006 | resto |
| 10 | 40,4 | trazas | 3,5 | trazas | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,004 | resto |
| 11 | 43,7 | 0,3 | 3,2 | 0,3 | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,004 | resto |
| 12* | 44,0 | trazas | 4,5 | trazas | 0,07 | 0,02 | 0,02 | 0,004 | resto |
| 13* | 41,5 | trazas | 1,5 | trazas | 0,07 | 0,04 | 0,02 | 0,006 | resto |
| 14* | 41,2 | trazas | trazas | 3,1 | 0,05 | 0,04 | 0,03 | 0,004 | resto |

[0123] Las composiciones de níquel + cobalto y titanio + niobio de los hilos de soldadura según los ejemplos 1 a 13 se han reflejado en la figura 1. Se constata que los hilos de soldadura según los ejemplos 1 a 4 y 12 y 13 se encuentran fuera del dominio delimitado por las curvas C1 a C4, mientras que los hilos de soldadura según los ejemplos 5 a 11 se encuentran en este dominio.

[0124] Cada uno de los hilos de soldadura según los ejemplos 1 a 14 se han utilizado a continuación para realizar una soldadura entre dos piezas realizadas en un metal de base, cuya composición química está definida en la tabla 2 a continuación, los contenidos se expresan en % en peso.

10

Tabla 2

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|--------|------|--------|--------|------|-------|
| Ni | Mn | Si | Co | C | Cr | S | P | Mo | Fe |
| 36,0 | 0,34 | 0,20 | 0,03 | 0,0290 | 0,04 | 0,0005 | 0,0022 | 0,02 | resto |

[0125] Las condiciones de soldadura son habituales para la realización de soldadura mediante tipos de procedimientos de soldadura descritos más arriba.

15

[0126] Se han medido las propiedades de la soldadura obtenida respectivamente con un hilo de soldadura según cada uno de los ejemplos 1 a 14. Los resultados de estas mediciones se resumen en la tabla 3 siguiente.

Tabla 3

| Ejemplo | Zona de rotura a 25 °C | Zona de rotura a -163 °C | Índice de martensita (%) | Coefficiente medio de dilatación de la soldadura entre -180 °C y 0 °C (10 ⁻⁶ /°C) | Resiliencia (Kcv) a -196 °C (J/cm ²) |
|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--|--|
| 1* | Zona fundida | Zona fundida | > 20 % | 1,7 | - |
| 2* | Metal de base | Metal de base | > 30 % | 2,3 | - |
| 3* | Metal de base | Metal de base | > 10 % | 3,0 | - |
| 4* | Metal de base | Zona fundida | < 5 % | 5,4 | 160 |
| 5 | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 4,9 | 145 |
| 6 | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 5,0 | 125 |
| 7 | Metal de base | Metal de base | < 3% | 4,5 | 138 |
| 8 | Metal de base | Metal de base | < 3% | 4,6 | 130 |
| 9 | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 2,6 | 126 |

(continuación)

| | | | | | |
|-----|---------------|---------------|-------|-----|-----|
| 10 | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 3,6 | 133 |
| 11 | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 4,2 | 149 |
| 12* | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 7,9 | - |
| 13* | Zona fundida | Zona fundida | < 5 % | 4,4 | 135 |
| 14* | Metal de base | Metal de base | < 5 % | 4,4 | 80 |

En esta tabla:

- Las dos primeras columnas indican la zona de ensamblaje soldado en la que se produce la rotura durante un ensayo de rotura bajo tracción plana realizado de conformidad con la norma ASTM E8, respectivamente a una temperatura de 25 °C y a una temperatura de -163 °C.

- La tercera columna denominada «Índice de martensita» contiene la fracción volúmica de martensita de la soldadura, medida después de una deformación de la soldadura del 25 % por tracción plana interrumpida a -196 °C en un baño de nitrógeno líquido. Los resultados indicados en esta columna traducen la estabilidad de la soldadura ante la transformación martensítica.

- [0127]** Más particularmente, en el marco de este ensayo, se realiza probetas perpendicularmente a la junta soldada, y después se toman dos huellas de microdureza en el tambor de las probetas. Se mide la distancia entre estas dos huellas antes del ensayo de tracción interrumpido de manera que se obtiene una longitud L0 de probeta, y después el ensayo de tracción interrumpido de manera que se obtiene una longitud L1 de probeta. La deformación plástica generada a -196 °C por la máquina de tracción está calibrada de tal manera que el alargamiento repartido,

$$\frac{L1 - L0}{L1}$$

dado por la fórmula: ' $\frac{L1 - L0}{L1}$ esté comprendido entre el 22,5 % y el 27,5 %. Se realiza a continuación una dosificación

α

γ

estándar por difracción de rayos X. Se mide la fracción volúmica de martensita (anotada como $\tau\%$) desarrollada en

$$\frac{I(110)}{I(110) + I(111)}$$

- el tambor de la probeta deformada a -196 °C por la relación donde $I(111)$ es la intensidad integrada del pico (111) de la austenita y $I(110)$ es la intensidad integrada del pico (110) de la martensita.

- [0128]** Se observará que el índice de martensita ($\tau\%$) del metal de base utilizado definido en la tabla 3 sigue siendo inferior al 5 % después de una deformación plástica del 25 % por tracción a -196 °C tal como se define más arriba.

- La cuarta columna contiene el coeficiente medio de dilatación térmica de la soldadura entre -180 °C y 0 °C expresado en $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

- [0129]** Este coeficiente se ha determinado midiendo la variación de longitud en micrómetros entre -180 °C y 0 °C de una probeta de una longitud de 50 mm a 0 °C. El coeficiente medio de dilatación térmica se obtiene entonces por aplicación

$$\frac{1}{L_0} \times \frac{L_0 - L_1}{T_0 - T_1}$$

de la siguiente fórmula donde $L_0 - L_1$ representa la variación de longitud en micrómetros entre 0 °C y -180 °C, T_0 es igual a 0 °C y T_1 es igual a -180 °C.

- La quinta columna contiene la energía de rotura por choque de la soldadura (anotada como Kcv), medida de conformidad con la norma NF EN 10045-1. Esta energía de rotura se expresa en J/cm². Traduce la resiliencia de la soldadura.

- [0130]** La tabla 3 muestra que las soldaduras obtenidas mediante hilos de soldadura según los ejemplos 5 a 11 presentan el conjunto de las características buscadas, descritas anteriormente en referencia a la composición del hilo de soldadura.

- 5 **[0131]** De hecho, en cada uno de esos ejemplos, la rotura se hace en el metal de base y no en la zona fundida, a la vez a temperatura ambiente (25 °C) y a temperatura criogénica (-163 °C). Estos resultados muestran que las propiedades mecánicas de la zona fundida, es decir, de la soldadura, son superiores a las del metal de base (overmatching de las propiedades mecánicas) a la vez a temperatura ambiente y a temperatura criogénica. Por tanto es posible dimensionar el ensamblaje soldado teniendo en cuenta únicamente las propiedades del metal de base.
- 10 **[0132]** Al contrario, en los ejemplos 1 y 13 no conformes a la invención, en los que el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura es igual al 1,5 % y por tanto inferior al 2,25 %, la rotura se produce en la zona fundida a temperatura ambiente. Por tanto no se obtiene overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura ambiente en ese caso.
- 15 **[0133]** En el ejemplo 4 no conforme a la invención, el contenido en níquel + cobalto del hilo de soldadura está comprendido en el rango según la invención, pero el contenido en titanio + niobio es inferior al valor límite inferior obtenido por aplicación de la relación $0,4167 \times (\text{Ni} + \text{Co}) - 15,0 \%$, que vale 3,01 %. En otras palabras, para el contenido en titanio + niobio del hilo según el ejemplo 4, el contenido en níquel + cobalto es superior al valor límite superior definido por la curva C2. Sin embargo, se constata que la rotura del ensamblaje soldado se produce en la zona fundida a temperatura criogénica. Por tanto no se obtiene overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura criogénica en ese caso.
- 20 **[0134]** En el ejemplo 13 no conforme a la invención, el contenido en titanio + niobio es inferior al límite inferior definido por la relación $0,4167 \times (\text{Ni} + \text{Co}) - 15,0 \%$ que vale 2,31 %. En otras palabras, para el contenido en titanio + niobio del hilo según el ejemplo 13, el contenido en níquel + cobalto es superior al valor límite superior definido por la curva C2. Sin embargo, se constata que la rotura del ensamblaje soldado se produce en la zona fundida a temperatura criogénica. Por tanto no se obtiene el overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura criogénica.
- 25 **[0135]** Para los ejemplos 5 a 11 conformes a la invención, el índice de martensita ($\tau\%$) después de una deformación por tracción del 25 % a -196 °C es inferior al 5 %. Así, la estabilidad frente a la transformación martensítica de la soldadura según los ejemplos 5 a 11 es al menos igual a la del metal de base utilizado.
- 30 **[0136]** En los ejemplos 1 a 3, en los que el contenido en níquel + cobalto del hilo de soldadura es inferior al límite inferior según la invención, delimitado por la curva C1 para los contenidos en Ti + Nb respectivos de estos hilos, se constata así mismo que el índice de martensita después de una deformación del 25 % a -196 °C es muy superior al 5 %. Así, la estabilidad frente a la transformación martensítica de la soldadura según los ejemplos 1 a 3 es estrictamente inferior a la del metal de base utilizado.
- 35 **[0137]** Además, en cada uno de los ejemplos 5 a 11, se ha medido un coeficiente medio de dilatación térmica de la soldadura inferior a $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, es decir, cercano al del metal de base.
- 40 **[0138]** En el ejemplo 12 no conforme a la invención, el contenido en titanio + niobio del hilo de soldadura es superior al 3,75 %. Se constata que el coeficiente medio de dilatación térmica de la soldadura obtenida con el hilo de soldadura según el ejemplo 12 es superior a $7,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.
- 45 **[0139]** Se constata que, en los ejemplos 5 a 11, la energía de rotura por choque de la probeta a -196 °C (temperatura del nitrógeno líquido) es superior a 120 J/cm². Así, la soldadura realizada mediante el hilo de soldadura según los ejemplos 5 a 11 presenta una ductilidad elevada, conforme a la ductilidad buscada, lo que limita los riesgos de rotura frágil de la soldadura.
- 50 **[0140]** Por último, el hilo de soldadura según el ejemplo 14 no conforme a la invención presenta un contenido en niobio superior al 0,50 %. Se constata que la soldadura obtenida mediante este hilo presenta una baja ductilidad a temperatura criogénica, porque su resiliencia es igual a 80J/cm² a -196 °C. Por tanto, la soldadura así formada es frágil.
- 55 **[0141]** Los ensamblajes de piezas de aleación Fe-36Ni soldadas entre sí mediante hilo de soldadura según la invención son particularmente ventajosos.
- 60 **[0142]** De hecho, gracias al overmatching de las propiedades mecánicas de la soldadura a temperatura ambiente y criogénica, el dimensionamiento del ensamblaje puede realizarse basándose en las propiedades del metal de base, sin tener en cuenta las propiedades de la junta soldada.
- 65 **[0143]** Además, la mejora de las características mecánicas de las juntas soldadas, debida a la utilización del hilo de soldadura según la invención, mejora muy significativamente la resistencia a la fatiga de las soldaduras a temperatura criogénica. Ciertos ensayos de fatiga realizados en tracción plana alterna en probetas prismáticas mecanizadas perpendicularmente a las soldaduras, con una relación de tracción $R = 0,1$ (relación entre la fuerza máxima y la fuerza mínima), muestran un aumento de la duración de vida de un factor 10 y un aumento de más del

30 % de la fuerza máxima de rotura hasta 500 000 ciclos de las juntas soldadas obtenidas con el hilo de soldadura según la invención respecto de las juntas soldadas obtenidas con hilos de soldadura conocidos con aleación Fe-36Ni.

- [0144]** Además, la junta soldada presenta un coeficiente medio bajo de dilatación térmica, cercado del del metal de base, lo que es ventajoso cuando el ensamblaje está destinado a contener un líquido criogénico. La adaptación de los coeficientes de dilatación térmica entre el metal de base y la soldadura atenúa las limitaciones residuales en las soldaduras y por consiguiente aumenta la resistencia a la fatiga de estas, en concreto cuando hay variaciones de temperatura generadas en la fase de carga o de descarga del líquido criogénico.
- 10 **[0145]** Además, gracias a la ductilidad mejorada de la junta soldada, el riesgo de rotura frágil del ensamblaje en la junta soldada en caso de incidente, y en concreto en caso de choque, es limitado. Esta ductilidad permite por tanto reparar en concreto posibles fugas resultantes de fisuras que aparecen en la junta soldada antes de la propagación de estas fisuras. Así, la junta soldada obtenida mediante el hilo de soldadura según la invención es conforme a la especificación conocida de «fuga antes de la rotura», generalmente denominada por el término inglés
- 15 «leak-before-break».
- [0146]** Por último, los contenidos más elevados en níquel y titanio y la estabilidad ante la transformación martensítica de la junta soldada permiten reducir la velocidad de corrosión atmosférica de las juntas soldadas obtenidas mediante hilo de soldadura según la invención respecto a las juntas soldadas realizadas con hilos de
- 20 soldadura conocidos de aleación Fe-36Ni.

REIVINDICACIONES

1. Hilo de soldadura destinado a ser utilizado para soldar entre sí partes de piezas, dichas partes presentan la composición siguiente, en % de peso:

- 5
 35,0 % ≤ Ni ≤ 37,0 %
 trazas ≤ C ≤ 0,10 %
 trazas ≤ Mn ≤ 0,60 %
 trazas ≤ P ≤ 0,025 %
 10 trazas ≤ S ≤ 0,025 %
 trazas ≤ Si ≤ 0,35 %
 trazas ≤ Cr ≤ 0,50 %
 trazas ≤ Mo < 0,50 %
 trazas ≤ Co ≤ 0,50 %

15 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración, el hilo de soldadura está **caracterizado porque** se realiza en una aleación que comprende, en % en peso:

- 20 38,6 % ≤ Ni+Co ≤ 45,0 %
 trazas ≤ Co ≤ 0,50 %
 2,25% ≤ Ti+Nb ≤ 0,8667 x (Ni+Co) - 31,20% si 38,6% ≤ Ni+Co ≤ 40,33%
 2,25 % ≤ Ti+Nb ≤ 3,75 % si 40,33 % ≤ Ni+Co ≤ 41,4 %
 0,4167 x (Ni+Co) - 15,0% ≤ Ti+Nb ≤ 3,75 % si 41,4 % ≤ Ni+Co ≤ 45,0 %
 trazas ≤ Nb ≤ 0,50 %
 25 0,01 % ≤ Mn ≤ 0,30 %
 0,01 % ≤ Si ≤ 0,25%
 trazas ≤ C ≤ 0,05 %
 trazas ≤ Cr ≤ 0,50 %

30 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

2. Hilo de soldadura según la reivindicación 1, en el que el contenido en niobio del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,01 % en peso.

35 3. Hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el contenido en cobalto del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,10% en peso.

4. Hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el contenido en carbono del hilo de soldadura es inferior o igual al 0,015 % en peso.

40 5. Hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se realiza en una aleación que comprende, en % en peso:

- 45 40,0 % ≤ Ni+Co ≤ 42,0 %
 2,60 % ≤ Ti + Nb ≤ 3,40 %
 trazas ≤ Nb ≤ 0,01 %
 trazas ≤ Co ≤ 0,10 %
 0,01 % ≤ Mn ≤ 0,10 %
 0,01 % ≤ Si ≤ 0,10 %
 50 trazas ≤ C ≤ 0,015 %
 trazas ≤ Cr ≤ 0,10 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación.

55 6. Hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que se realiza en una aleación que comprende, en % en peso:

- 60 41,0 % ≤ Ni+Co ≤ 42,0 %
 2,60 % ≤ Ti + Nb ≤ 3,40 %
 trazas ≤ Nb ≤ 0,01 %
 trazas ≤ Co ≤ 0,10 %
 0,01 % ≤ Mn ≤ 0,10 %
 0,01 % ≤ Si ≤ 0,10 %
 trazas ≤ C ≤ 0,015 %
 65 trazas ≤ Cr ≤ 0,10 %

ES 2 763 348 T3

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración.

7. Hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuyo diámetro está comprendido entre 0,5 mm y 1,5 mm y de preferencia comprendido entre 0,8 mm y 1,2 mm.

8. Procedimiento de fabricación de un hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, el procedimiento comprende las etapas siguientes:

- 10 - suministro de un semiproducto realizado en una aleación con la composición del hilo de soldadura según una de las reivindicaciones 1 a 7;
- transformación en caliente de este semiproducto para formar un hilo; y
- transformación del hilo en hilo de soldadura, de diámetro inferior al del hilo, en la que dicha transformación comprende una etapa de trefilado.

15 9. Procedimiento de fabricación según la reivindicación 8, en el que la transformación del hilo en hilo de soldadura comprende el decapado del hilo, y el enrollado del hilo decapado en una bobina, en el que la etapa de trefilado consiste en trefilar el hilo decapado enrollado en una bobina.

20 10. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 8 y 9, en el que el semiproducto es un palancón o un lingote.

11. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que el hilo tiene un diámetro comprendido entre 5 mm y 21 mm, y en particular aproximadamente igual a 5,5 mm.

25 12. Procedimiento de fabricación según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que la transformación en caliente del semiproducto para formar el hilo comprende el laminado en caliente del semiproducto para reducir su sección y el laminado en caliente del semiproducto de sección reducida para formar el hilo.

30 13. Procedimiento de soldadura entre sí de al menos dos partes de piezas (12) que presentan la siguiente composición, en % en peso:

35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %

trazas \leq C \leq 0,10 %

35 trazas \leq Mn \leq 0,60 %

trazas \leq P \leq 0,025 %

trazas \leq S \leq 0,025 %

trazas \leq Si \leq 0,35 %

trazas \leq Cr \leq 0,50 %

40 trazas \leq Mo $<$ 0,50 %

trazas \leq Co \leq 0,50 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables resultantes de la fabricación, el procedimiento comprende sucesivamente las etapas siguientes:

- 45 - suministro de un hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, y
- soldadura entre sí de las dos partes de las piezas (12) utilizando el hilo de soldadura como hilo de aportación.

14. Procedimiento de soldadura según la reivindicación 13, en el que todas las pasadas de soldadura se realizan utilizando el hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 como hilo de aportación.

15. Procedimiento de fabricación de un tramo de tubo (5), que comprende las siguientes etapas sucesivas:

- 55 - suministros de una chapa (1) que presenta dos bordes longitudinales (3) y está realizada en un metal de base que comprende, en % en peso:

35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %

trazas \leq C \leq 0,10 %

trazas \leq Mn \leq 0,60 %

60 trazas \leq P \leq 0,025 %

trazas \leq S \leq 0,025 %

trazas \leq Si \leq 0,35 %

trazas \leq Cr \leq 0,50 %

trazas \leq Mo $<$ 0,50 %

65 trazas \leq Co \leq 0,50 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la elaboración, y
 - soldadura entre sí de los bordes longitudinales (3) de la chapa (1) utilizando el procedimiento de soldadura según una de las reivindicaciones 13 y 14 para formar el tramo de tubo (5).

5

16. Procedimiento de fabricación de un tramo de tubo según la reivindicación 15, en el que la soldadura realizada entre los bordes longitudinales (3) de la chapa (1) para formar el tramo de tubo (5) es una soldadura longitudinal a tope.

10 17. Procedimiento de fabricación de un tubo (7) que comprende las siguientes etapas sucesivas:

- suministro de un primer tramo de tubo (5) y de un segundo tramo de tubo (5) que se extienden cada uno siguiendo un eje longitudinal (M) y realizados en un metal de base que comprende, en % en peso:

- 15 35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %
 trazas \leq C \leq 0,10 %
 trazas \leq Mn \leq 0,60 %
 trazas \leq P \leq 0,025 %
 trazas \leq S \leq 0,025 %
 20 trazas \leq Si \leq 0,35 %
 trazas \leq Cr \leq 0,50 %
 trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
 trazas \leq Co \leq 0,50 %

25 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación;
 - posicionamiento del primer y segundo tramo de tubo (5) de manera que un extremo longitudinal (10) del primer tramo de tubo (5) esté dispuesto enfrente de un extremo longitudinal (10) del segundo tramo de tubo (5) según el eje longitudinal (M) del primer y segundo tramo de tubo (5); y
 - soldadura entre sí de las dos extremidades longitudinales (10) enfrente del primer y segundo tramo de tubo (5)
 30 utilizando el procedimiento de soldadura según una de las reivindicaciones 13 y 14 para formar el tubo (7).

18. Procedimiento de fabricación de un tubo (7) según la reivindicación 17, en el que la soldadura de los extremos longitudinales (10) enfrente del primer y segundo tramo de tubo (5) es una soldadura a tope circular o una soldadura a tope orbital.

35

19. Procedimiento de fabricación de una parte de tanque, destinado a contener un líquido criogénico, que comprende las etapas de:

- suministro de piezas, eventualmente conformadas, realizadas cada una en un metal de base que comprende, en % en peso:

- 40 35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %
 trazas \leq C \leq 0,10 %
 trazas \leq Mn \leq 0,60 %
 45 trazas \leq P \leq 0,025 %
 trazas \leq S \leq 0,025 %
 trazas \leq Si \leq 0,35 %
 trazas \leq Cr \leq 0,50 %
 trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
 50 trazas \leq Co \leq 0,50 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación, y
 - soldadura entre sí de estas partes de piezas (12) utilizando el procedimiento de soldadura según una de las reivindicaciones 13 y 14 para formar el parte de tanque.

55

20. Ensamblaje soldado (10) que comprende una primera parte de pieza (12) y una segunda parte de pieza (12) realizadas cada una en un metal de base que comprende, en % en peso:

- 60 35,0 % \leq Ni \leq 37,0 %
 trazas \leq C \leq 0,10 %
 trazas \leq Mn \leq 0,60 %
 trazas \leq P \leq 0,025 %
 trazas \leq S \leq 0,025 %
 trazas \leq Si \leq 0,35 %
 65 trazas \leq Cr \leq 0,50 %

ES 2 763 348 T3

trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
trazas \leq Co \leq 0,50 %

5 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación, la primera y la segunda parte de piezas (12) estando unidas entre sí mediante un cordón de soldadura (13) obtenido a partir del hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

21. Parte de tanque que comprende piezas realizadas en un metal de base que comprende, en % en peso:

10 $35,0 \% \leq$ Ni \leq 37,0 %
trazas \leq C \leq 0,10 %
trazas \leq Mn \leq 0,60 %
trazas \leq P \leq 0,025 %
trazas \leq S \leq 0,025 %
15 trazas \leq Si \leq 0,35 %
trazas \leq Cr \leq 0,50 %
trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
trazas \leq Co \leq 0,50 %

20 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación, unidas entre sí mediante un cordón de soldadura obtenido a partir del hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

22. Tramo de tubo (5) que comprende una chapa (1) doblada en forma de tubo y realizada en un metal de base que comprende, en % en peso:

30 $35,0 \% \leq$ Ni \leq 37,0 %
trazas \leq C \leq 0,10 %
trazas \leq Mn \leq 0,60 %
trazas \leq P \leq 0,025 %
trazas \leq S \leq 0,025 %
trazas \leq Si \leq 0,35 %
trazas \leq Cr \leq 0,50 %
trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
35 trazas \leq Co \leq 0,50 %

estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación, y presentando bordes longitudinales (3) unidos entre sí mediante un cordón de soldadura (6) obtenido a partir del hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

40 23. Tubo (7) que comprende al menos dos tramos de tubo (5) realizados cada uno en un metal de base que comprende, en % en peso:

45 $35,0 \% \leq$ Ni \leq 37,0 %
trazas \leq C \leq 0,10 %
trazas \leq Mn \leq 0,60 %
trazas \leq P \leq 0,025 %
trazas \leq S \leq 0,025 %
trazas \leq Si \leq 0,35 %
50 trazas \leq Cr \leq 0,50 %
trazas \leq Mo $<$ 0,50 %
trazas \leq Co \leq 0,50 %

55 estando el resto constituido por hierro e impurezas inevitables que proceden de la fabricación, dos tramos de tubo (5) sucesivos unidos entre sí mediante un cordón de soldadura (11) obtenido a partir del hilo de soldadura según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

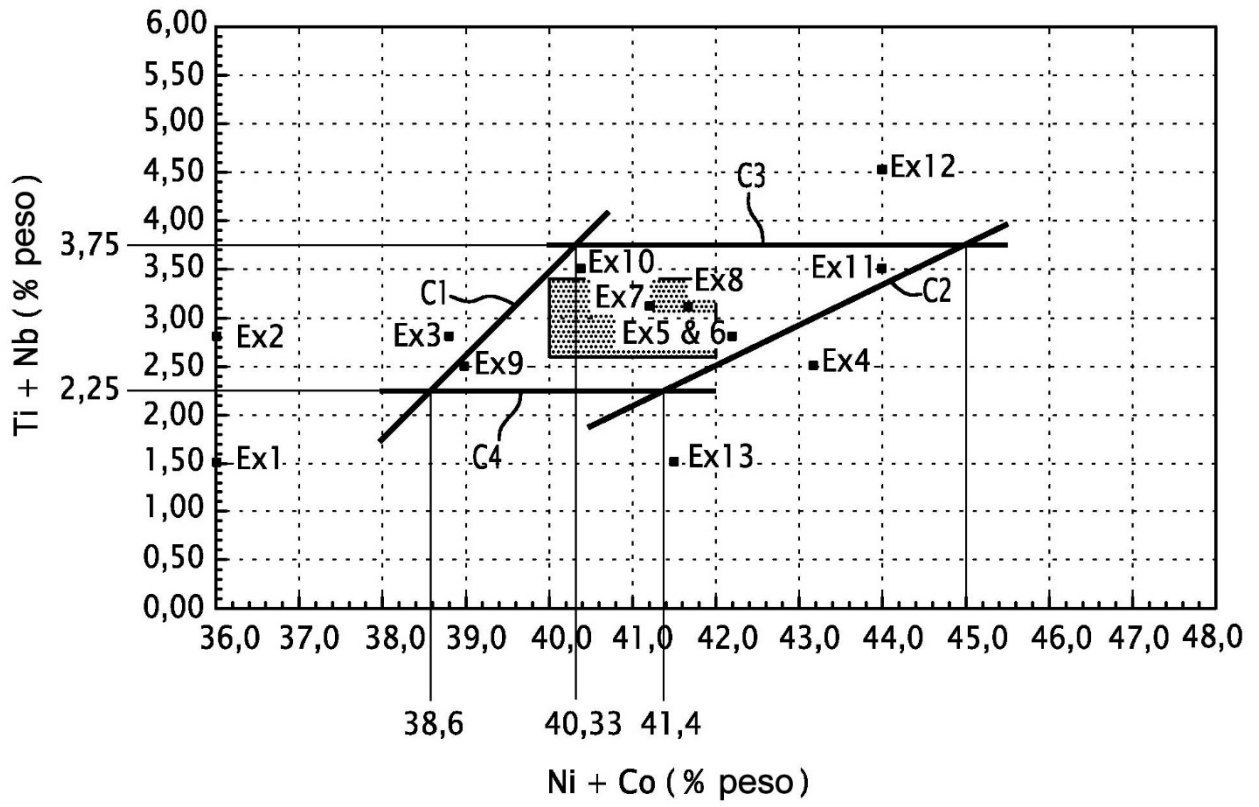


FIG.1

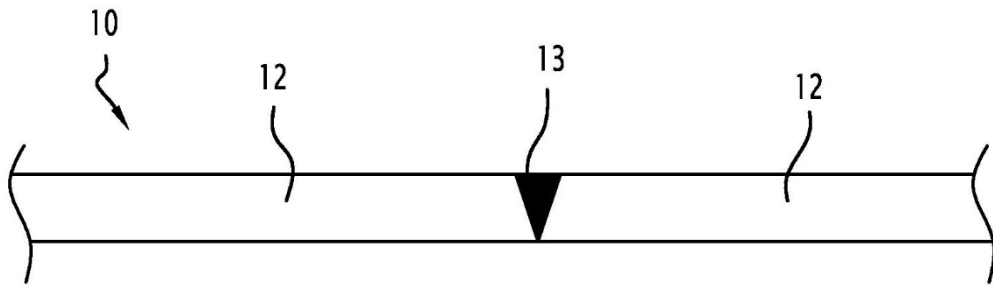


FIG.2

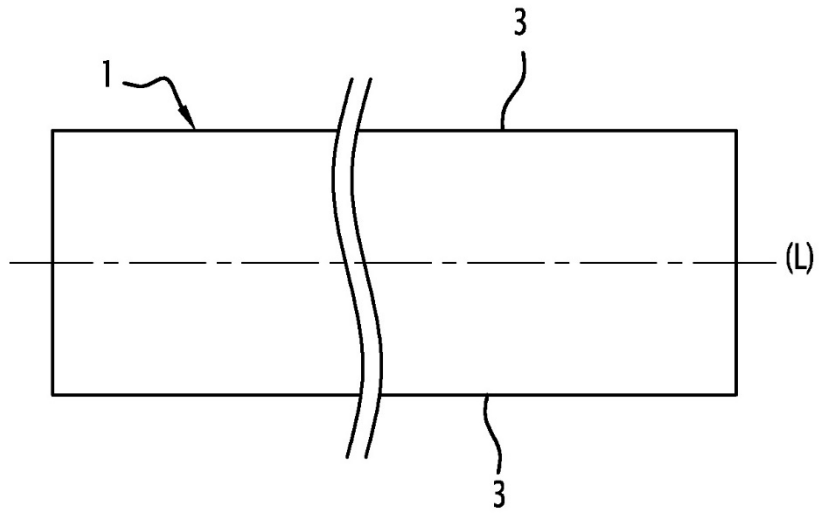


FIG.3

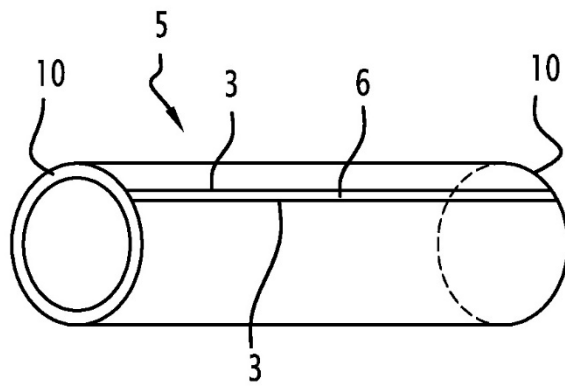


FIG.4

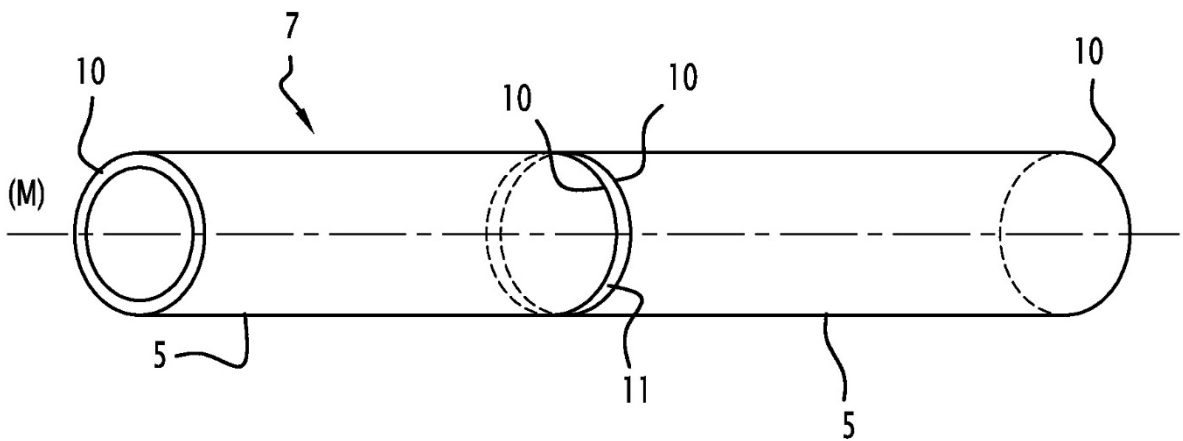


FIG.5