

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 171**

51 Int. Cl.:

**C22C 38/00** (2006.01)

**C22C 38/02** (2006.01)

**C22C 38/08** (2006.01)

**C22C 38/12** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.05.2006 PCT/FR2006/001150**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2006 WO06125899**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.05.2006 E 06764647 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.07.2017 EP 1885900**

54 Título: **Acero para los cascos de los submarinos de soldabilidad reforzada**

30 Prioridad:

**26.05.2005 FR 0505333**

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

**25.10.2017**

73 Titular/es:

**INDUSTEEL (FRANCE) (100.0%)  
IMMEUBLE  
92800 PUTEAUX, FR**

72 Inventor/es:

**BEGINOT, JEAN y  
CHAUVY, CEDRIC**

74 Agente/Representante:

**SALVA FERRER, Joan**

ES 2 639 171 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**

Acero para los cascos de los submarinos de soldabilidad reforzada

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un acero para la fabricación de cascos de submarinos constituidos por piezas en acero laminado o forjados ensamblados por soldadura.

**[0002]** Con el fin de poder sumergirse en aguas profundas sin sobrecargar excesivamente la embarcación, los cascos de submarinos son constituidos en general por chapas de acero con un grosor comprendido entre 40 y 50 mm, y eventualmente de piezas forjadas de un grosor comprendido entre los 100 y 150 mm, constituidos por un acero de alta elasticidad, con una gran tenacidad incluida a baja temperatura de forma que asegure una buena seguridad incluso en caso de una fuerza dinámica intensa, y relativamente muy soldable de forma que permita realizar ensamblados de buena calidad.

15 **[0003]** Las piezas realizadas en estos aceros son ensambladas por soldadura con un precalentamiento a una temperatura de al menos 150 °C con el fin de evitar problemas de agrietamiento en frío.

**[0004]** Estas condiciones de soldadura son especialmente necesarias porque las soldaduras realizadas son abridadas fuertemente, pudiendo generar limitaciones cercanas al 80% del límite de la elasticidad, y porque las soldaduras son realizadas en los astilleros en los cuales la temperatura puede descender hasta los 0 °C.

**[0005]** La necesidad de realizar un precalentamiento a una temperatura elevada es un inconveniente que hace difícil la soldadura de las piezas de los cascos de los submarinos. Además, resulta conveniente poder disponer de un acero que permita realizar soldaduras en condiciones menos severas, es decir, sin precalentamiento o, al menos, sin tener que realizar más que un precalentamiento de las chapas metálicas sin sobrepasar los 100 °C o mejor, 50 °C a pesar de los altos embriamientos de soldadura y a pesar de las relativamente bajas temperaturas exteriores de los astilleros.

**[0006]** Principalmente, hemos propuesto en la solicitud de patente WO93/24269, mejorar las condiciones de soldadura de los cascos de los barcos realizados en acero del tipo 60 o 80 HLES, utilizando electrodos de soldadura diferentes a los electrodos definidos por las normas de construcción que se imponen en este campo, estos electrodos de soldadura conduciendo a estructuras bainíticas con bajo contenido de carbono (LCBS en inglés).

**[0007]** Los aceros utilizados habitualmente son aceros de la gama conocida como 60 o 80 HLES (límite elástico alto), cuya composición química comprende entre 0.10% de carbono, de 2 a 4 % de níquel, de 0.2 a 0.4 % de silicio, molibdeno y vanadio con contenidos tales como Mo + 3 V sean comprendidos entre el 0.3 y 0.5 %, entre 0.8 y 1.2 % de Mn, entre 0.1 y 0.5 % de Cr, siendo el resto hierro, impurezas y eventualmente, elementos desoxidantes en poca cantidad. Estos aceros son empleados para fabricar piezas tales como las chapas o las piezas forjadas, que son templadas y revenidas de forma que tengan un estructura martensítica revenida en su conjunto, es decir, que contienen más del 90 % de martensita y cuyo límite de elasticidad está comprendido entre 550 y 650 Mpa, la resistencia a la tracción está comprendida entre 600 y 750 Mpa, el alargamiento a la rotura está comprendido entre 15 y 20 %, la resiliencia de Charpy Kcv es superior a 80 J a -80 °C.

**[0008]** Sin embargo esta técnica presenta inconvenientes ya que la reducción del riesgo de agrietamiento obtenido de esta manera a nivel del metal depositado no resuelve por tanto el problema del riesgo de agrietamiento inducido por la operación de soldadura donde el metal de base es él mismo, a nivel de la Zona Afectada Térmicamente.

**[0009]** El objeto de la presente invención es el de rectificar estos inconvenientes proponiendo un acero con alto límite de elasticidad de soldadura para la fabricación de cascos de submarinos mediante ensamblaje por soldadura de piezas constituidas por chapas metálicas gruesas o de piezas forjadas, que tienen un límite de elasticidad comprendida entre los 480 y 620 Mpa, una tenacidad medida por una tenacidad Carpy V Kv superior a 50 J a -60 °C, preferentemente superior a 50 J a -85 °C, y por los cuales los riesgos de agrietamiento inducido por una operación de soldadura, en el metal de base, a nivel de la Zona Afectada Térmicamente, son reducidos.

**[0010]** Con este fin, la invención tiene como objeto la utilización de un acero para la fabricación de cascos de submarinos, caracterizados en que su composición química comprende, en % en peso:

$$0.030 \% \leq C < 0.080 \%$$

## ES 2 639 171 T3

	$0.040 \% \leq \text{Si} \leq 0.48 \%$
5	$0.1 \% \leq \text{Mn} \leq 1.4 \%$
	$2 \% \leq \text{Ni} \leq 4 \%$
	$\text{Cr} \leq 0.3 \%$
10	$0.30 \% \text{ Mo} + \text{W}/2 + 3 (\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4) \leq 0.89 \%$
	$\text{Mo} 0.15 \% \geq 0.15 \%$
15	$\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 0.004 \%$
	$\text{Nb} \leq 0.004 \%$
	$\text{Cu} \leq 0.45 \%$
20	$\text{Al} \leq 0.1 \%$
	$\text{Ti} \leq 0.04 \%$
25	$\text{N} \leq 0.0300 \%$

el resto siendo hierro e impurezas resultantes de la elaboración, siendo el boro una impureza cuyo contenido es inferior a 0.0005 % y  $\text{P} + \text{S} \leq 0.015 \%$ , cumpliendo la composición química con la condición,

$$410 \leq 540 \times \text{C}^{0.25} + 245 [\text{Mo} + \text{W}/2 + (\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4)]^{0.30} \leq 460$$

teniendo el acero una estructura esencialmente martensítica o bainítica o constituida esencialmente de una mezcla de estas dos estructuras, comprendiendo al menos un 90% de martensita o de bainita inferior o una mezcla de ambas estructuras, con un 5% máximo de austenita residual, con un 5% máximo de ferrita, con un límite de elasticidad comprendido entre 480 Mpa y 620 Mpa, y una tenacidad Charpy V, Kcv, a -60 °C, superior a 50 J.

**[0011]** Preferiblemente, la composición química es tal que una o más de las condiciones siguientes se cumpla:

40	$\text{Si} \leq 0.19 \%$
	$\text{Mn} \leq 1 \%$
	$\text{W} \geq 0.11 \%$
45	$2.5 \% \leq \text{Ni} \leq 3.5\%$
	$\text{Cr} \leq 0.2 \% \text{ y mejor } \text{Cr} \leq 0.09 \%$
50	$425 \leq 540 \times \text{C}^{0.25} + 245 [\text{Mo} + \text{W}/2 + 3 (\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4)]^{0.30} \leq 450$
	$\text{Ni} \geq 2.7 \%$
	$\text{Mo} \leq 0.75 \%$
55	$\text{C} \leq 0.55 \%$

**[0012]** La invención se refiere igualmente a una pieza de casco de submarino, de grosor comprendido entre los 15 mm y los 150 mm, en acero forjado o laminado, templado y revenido, según la invención, así como un casco de submarino que comprende las piezas según la invención, ensambladas por soldadura.

**[0013]** La invención se refiere, por último, a la utilización del acero según la invención para la fabricación de un casco de submarino que comprende las piezas de grosores comprendidos entre los 15 mm y los 150 mm, ensambladas por soldadura. La soldadura pudiendo ser realizada sobre piezas precalentadas o no precalentadas a una temperatura que no sobrepase los 25 °C además de un acero para la fabricación de cascos de submarinos según la reivindicación 16. La invención será ahora descrita de forma más precisa sin ser limitativa en relación de la única figura que representa la evolución de la temperatura mínima de no agrietamiento a la soldadura en función del contenido de elemento carburígeno fuerte, e ilustrado en dos ejemplos.

10 **[0014]** Los inventores han constatado de forma novedosa e inesperada que se pueden realizar piezas para los cascos de los submarinos con características conforme a las características generalmente requeridas para fabricar submarinos, más fáciles de soldar que las piezas para submarinos fabricadas en acero conocido. Para ello, era necesario utilizar un acero cuya composición hubiera sido modificada en relación a la de los aceros conocidos, por un lado reduciendo considerablemente la cantidad de carbono y por otro aumentando la cantidad del contenido en carburígenos fuertes. Es decir, en elementos capaces de precipitar e forma de carburos finos y dispersados endurecedores pero no debilitadores, este acero necesita tener una estructura esencialmente martensítica, esto es, con un 90% de martensita, estando el resto constituido por menos de 5% de austenita residual y por menos de 5% de ferrita. Sin embargo se ha constatado que el componente martensítico podía, sin deteriorar excesivamente la tenacidad, ser sustituido por todo o parte de la bainita de tipo inferior, esto es, la bainita en listones, de aspecto micrográfico parecido a la martensita.

**[0015]** La composición química del acero así modificado comprende en %, en peso:

- 25 - más de 0.03 % de carbono y preferentemente más de 0.035 %, pero menos de 0.080% y preferentemente menos de 0.060 % y mejor aún menos de 0.055 %, con el fin de permitir por un lado la formación de carburos endurecedores durante el revenido sin que sin embargo esto deteriore la tenacidad del metal de base y sobretodo la tenacidad en la zona afectada por el calor durante la soldadura; el contenido en carbono siendo limitado especialmente con el fin de reducir las deformaciones ligadas a la transformación martensítica en la zona afectada por la temperatura en la zona de soldura, lo cual es necesario para limitar los efectos de la abridación y reducir por
- 30 tanto la sensibilidad del metal al agrietamiento durante la soldadura.
- de 0.04 % a 0.048 % de silicio con el fin de desoxidar el baño de acero líquido. No obstante, y preferentemente, el contenido en silicio será reducido y seguirá siendo inferior a 0.29 %, mejor siendo inferior a 0.025 % y mejor aún, inferior a 0.19 % de forma que se mejore la conductividad térmica del acero, la que tendrá como efecto de reducir los gradientes térmicos durante la soldadura y reducir así las tensiones mecánicas resultantes, lo cual reduce la
- 35 sensibilidad del acero al agrietamiento durante la realización de soldaduras abridadas.
- hasta un 1.4 % de manganeso de forma que se mejore la templabilidad sin formar sin embargo franjas segregadas demasiado importantes. El acero que contiene además otros elementos al temple, el manganeso no es estrictamente indispensable y su cantidad puede ser limitada al 1.2 % y mejor aún a 1.0 %; puede igualmente estar en estado de trazas. Sin embargo, especialmente con el fin de facilitar la elaboración del acero, la cantidad en
- 40 manganeso será preferentemente al menos igual a 0.2 % hasta 0.6 %.
- al menos 2.1 % y mejor 2.5 % y mejor aún 2.7 % de níquel con el fin de mejorar la templabilidad, la cual es necesaria para asegurar la obtención del tipo de microestructura deseada, a saber, una estructura constituida esencialmente de martensita o de bainita inferior o una mezcla de estas dos estructuras. EL contenido en níquel puede alcanzar el 5% pero en la práctica y teniendo en cuenta el coste de este elemento, la cantidad será
- 45 preferentemente inferior a 4% y mejor aún inferior a 3.5 %.
- menos de 0.3 % y mejor menos del 0.15 % y mejor aún menos del 0.09 % de cromo. Este elemento carburígeno no es deseado. De hecho, es susceptible de formar carburos bastante macizos que no tienen un efecto particularmente favorable sobre las propiedades del acero según la invención. Por lo tanto, si estuviera en cantidad demasiado elevada, consumiría el carbono que ya no estaría disponible para formar los carburos endurecedores con otros
- 50 elementos carburígenos fuertes que forman los carburos endurecedores, finos y dispersos. El cromo es por lo tanto considerado un residuo resultante de la elaboración. El cumplimiento de la limitación relativa en relación con la cantidad de este elemento impone la elaboración del acero a partir de materias primas elegidas con precaución. Estas precauciones son particularmente importantes cuando las materias primas se constituyen principalmente de chatarras. Este es el caso general para este tipo de acero.
- 55 - los elementos carburígenos fuertes que forman los carburos precipitados finos y endurecedores. Estos elementos son el molibdeno y el tungsteno por un lado, y el vanadio, el niobio y el tantalio por otro. Para estos elementos, la suma ponderada  $[Mo + W/2 + 3(V + Nb/2 + Ta/4)]$  deberá ser de al menos 0.30 % y mejor de 0.35 % y mejor aún de 0.4 %. Esta suma no deberá ser demasiado elevada para limitar las consecuencias desfavorables en la tenacidad y la homogeneidad del metal, lo que resultaría de contenidos superiores a lo que es necesario para el endurecimiento

- deseado. Como consecuencia, la suma ponderada de elemento carburígeno fuerte se mantendrá inferior a 0.89 % y mejor a 0.69 % y mejor aún inferior a 0.59 %. Por otra parte, el molibdeno y el tungsteno son preferibles ya que el vanadio, el niobio y el tantalio presentan un efecto debilitador notable. Además, la suma ponderada  $V + Nb/2 + Ta/4$  seguirá siendo inferior a 0.004 %, siendo el niobio más nocivo para la tenacidad que el vanadio, su contenido será limitado a 0.004 %, y preferentemente, los elementos vanadio, niobio y tantalio estarán en el estado de trazas. En cambio, el contenido en molibdeno será como mínimo de 0.15 % y mejor de 0.30 y aún mejor de 0.45 %. El molibdeno puede preferirse al tungsteno ya que es de uso más corriente y normalmente más económico que el tungsteno. Sin embargo, el tungsteno presenta la ventaja de reducir la formación de zonas segregadas que tienen efectos desfavorables sobre la tenacidad del metal, por ello, a pesar de todo, será preferible tener un contenido en tungsteno superior a 0.11 %.
- menos de 0.45 % o mejor, menos de 0.25 % de cobre para no deteriorar la forjabilidad y de favorecer la capacidad de moldeado posterior de las chapas.
  - hasta un 0.10 % de aluminio y preferentemente menos de 0.040 %, pero preferentemente más de 0.004 % y mejor más de 0.01 %, con el fin de desoxidar el acero y de formar los nitruros de aluminio que permiten controlar el aumento del grano a la hora de realizar el tratamiento térmico.
  - preferentemente el contenido en nitrógeno estará comprendido entre 0.0010 % y 0.0150 % para facilitar la formación de nitruros de aluminio que permiten controlar el aumento del grano el contenido en nitrógeno puede sobrepasar 0.0150 %, sin embargo, es deseable que este contenido no sobrepase el 0.0300 % y mejor, que no sobrepase el 0.0200 % con el fin de no perjudicar la capacidad de moldeado en frío o en tibio de estos productos.
  - cuando proceda, hasta un 0.04 % de titanio, elemento que tiene un efecto comparable al del aluminio. Sin embargo, como el titanio tiene tendencia a formar precipitados muy debilitadores, es preferible limitar el contenido de este elemento a trazas.

**[0016]** El resto de la composición está constituida por hierro e impurezas resultantes de la elaboración. Entre estas impurezas, el boro debe permanecer en el estado de trazas, es decir, en contenido inferior a 0.0005 %. Esto es con el fin de evitar el efecto debilitador que ejerce este elemento y sus compuestos bajo la forma de nitruros o carburos. Si bien el boro es un elemento empleado de forma corriente para reforzar la templabilidad de aceros con alto límite de elasticidad, el alto nivel de resiliencia que se busca aquí lleva a evitar la utilización del boro.

**[0017]** Igualmente, entre las impurezas, el fósforo y el azufre deben limitarse a contenidos tales que la suma de P + S permanezca inferior a 0.015 % y preferentemente inferior a 0.012 % y, mejor aún, inferior o igual a 0.009 %, con el fin de no deteriorar la tenacidad del acero. Esta restricción necesita que el acero sea elaborado tomando precauciones restrictivas particulares. Hoy en día, un experto en la materia, que debe respetar estas limitaciones, sabe cómo proceder.

**[0018]** Además, con objeto de permitir la obtención de las características mecánicas suficientes y, en particular, el límite de elasticidad y resistencia, la composición química del acero debe ser tal que el tamaño esté comprendido entre 410 y 460, preferentemente, entre 425 y 450.

$$R = 540 \times C^{0.25} + 245 [\text{Mo} + \text{W}/2 + 3 (\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4)]^{0.30}$$

**[0019]** Para fabricar chapas o piezas destinadas a los submarinos, se puede proceder como se indica a continuación.

**[0020]** En primer lugar, se elabora el acero de forma continua, por ejemplo en un fuego eléctrico tomando todas las precauciones necesarias que un experto en la materia conoce para respetar las limitaciones de pureza del acero indicadas a continuación, después, se vierte el acero en forma de lingotes o desbastes según la naturaleza de las piezas que se quieren fabricar. Después se da forma por deformación plástica en caliente, es decir, por laminado o forja, se recalientan los lingotes o desbastes a tal temperatura que el inicio de la transformación en caliente se haga a una temperatura superior a 1000 °C, y mejor, superior a 1050 °C y mejor aún superior a 1100 °C, con objeto de limitar los defectos de la superficie. Pero, preferentemente, la temperatura de recalentamiento debe permanecer inferior a 1260 °C y mejor, inferior a 1220 °C con el fin de limitar el aumento excesivo del grano. Tras la operación de dar forma por deformación plástica en caliente, las piezas obtenidas son sometidas a un tratamiento térmico de calidad que comporta una operación de templado sea a partir de la caliente de moldeado o, preferentemente, después de una reaustenización a una temperatura al menos igual a AC3 y habitualmente comprendida entre 860 y 950 °C. El enfriamiento puede realizarse según todos los modelos de templado conocidos, tales como aire, aceite o agua, según el tamaño de las piezas consideradas, con objeto de obtener una microestructura esencialmente martensítica tras el templado. Un experto en la materia sabe elegir, caso por caso, el modo de templado que mejor se adapta.

**[0021]** El templeado es seguido de al menos u revenido realizado preferentemente a una temperatura comprendida entre los 550 °C y los 670 °C.

5 **[0022]** Por este procedimiento, se puede obtener chapas o piezas forjadas cuyas características mecánicas son conformes, en todo su espesor, a lo que se busca para la fabricación de submarinos, a saber, un límite de elasticidad comprendida entre 480 Mpa y 620 Mpa, y una tenacidad Charpy  $K_{cv}$  a 60 °C superior a 50 J.

10 **[0023]** El efecto de la composición química sobre la capacidad de soldadura queda ilustrado en los ejemplos cuyos análisis son expuestos en las tablas 1 y 2. Para los ejemplos de las tablas, el niobio, el tantalio y el titanio están en el estado de trazas, de forma que los valores de  $Mo + W/2 + 3$ , indicados en la tabla, son igualados a las cantidades  $Mo + 3(V + Nb/2 + Ta/4)$ , el boro está en el estado de trazas con un contenido inferior a 0.0005 %; el aluminio está comprendido entre 0.015 % y 0.025 %. En la tabla 1, la suma de P + S es expresada en  $10^{-3}$  %. En la tabla 2, la suma de P + S sigue inferior a 0.015 %.

15

**[0024]** Los ejemplos 1 y 2 son según la técnica anterior, y los ejemplos 3 a 9 y 6bis a 9bis son conformes a la invención. El ejemplo 10 es dado a título de comparación.

Tabla 1

n°	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
1	0,092	0,300	0,550	3,000	0,060	0,270
2	0,083	0,400	0,800	3,000	0,070	0,160
3	0,069	0,320	0,900	3,200	0,080	0,320
4	0,062	0,350	0,920	3,100	0,090	0,320
5	0,055	0,320	0,510	3,250	0,130	0,210
6	0,049	0,280	0,920	3,300	0,095	0,395
7	0,043	0,300	0,580	2,950	0,085	0,470
8	0,035	0,290	0,980	3,100	0,095	0,590
9	0,030	0,320	1,010	2,950	0,120	0,555
10	0,023	0,300	0,960	3,150	0,090	1,015

Tabla 1 (continuación)

n°	W	V	Cu	P+S	$\frac{(Mo+W/2)+3}{V}$	Re Mpa	Kv – 85°C (J)
1	tr	0,003	0,250	9	0,279	575	205
2	0,115	0,024	0,150	8	0,291	570	135
3	tr	0,003	0,150	11	0,329	565	210
4	tr	0,001	0,180	9	0,323	545	230
5	0,240	0,002	0,250	7	0,336	560	225
6	tr	0,003	0,160	8	0,404	570	260
7	tr	0,001	0,180	7	0,473	570	260
8	tr	0,002	0,200	9	0,596	565	275
9	0,360	0,003	0,210	6	0,744	570	280
10	tr	0,002	0,210	8	1,021	570	295

Tabla 2

n°	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	V	Cu	(Mo+W/2) +3V	Re	Kv-85°C (J)
<b>6bis</b>	0,050	0,120	0,920	3,300	0,095	0,400	tr	0,003	0,160	0,409	570	250
<b>7bis</b>	0,044	0,110	0,560	3,000	0,080	0,465	tr	0,002	0,210	0,471	580	275
<b>8bis</b>	0,036	0,120	0,980	3,250	0,095	0,600	tr	0,004	0,220	0,612	575	260
<b>9bis</b>	0,030	0,130	1,100	3,100	0,110	0,720	tr	0,003	0,200	0,729	570	280

**[0025]** Los ejemplos 1 a 9 ilustran el efecto combinado del contenido en carbono y los elementos fuertemente carburígenos para los contenidos habituales en silicio. Los ejemplos 6bis, 7bis, 8bis y 9bis muestran el efecto particular del silicio.

**[0026]** El efecto sobre la soldabilidad puede ser evaluado, principalmente, por un ensayo por el cual se determina la temperatura mínima de precalentamiento de la unión de soldadura autoabridada por la cual no se ve agrietamiento posterior a la soldadura. Este ensayo consiste en realizar cordones de soldadura con las temperaturas de precalentamiento de 150 °, 125 °, 100 °, 75°, 50 °, 25°, 5° y en observar las uniones obtenidas para detectar la presencia o ausencia de fisuras.

**[0027]** Los resultados de esta evaluación, correspondientes a las tablas 1 y 2, son representados sobre la única figura en la que vemos una primera curva 1 que representa la evolución de la temperatura mínima de no-agrietamiento en función del contenido de elementos carburígenos fuertes para un contenido en silicio del orden de 0.3 %.

**[0028]** Se constata por esta curva que, cuando el contenido en elementos carburígenos fuerte aumenta y simultáneamente el contenido en carbono disminuye, hasta un contenido de elementos carburígenos fuertes del orden de 0.6 %, la temperatura mínima de no-agrietamiento disminuye. Más allá del 0.6 % aproximadamente, la temperatura mínima de no-agrietamiento vuelve a aumentar. Mediante un examen micrográfico a la derecha de las fisuras de las coladas 9 y 10 que corresponden a los contenidos más fuertes en elementos carburígenos, podemos constatar que las fisuras aparecen en las zonas segregadas cuya dureza resulta particularmente elevada a pesar de un contenido en carbono relativamente débil. Esta elevada dureza de las zonas segregadas resulta probablemente de una segregación conjunta de carbono y de elementos carburígenos fuertes.

**[0029]** En vista de esta curva, parece que se obtiene un nivel óptimo de soldabilidad para los contenidos en elementos carburígenos fuertes comprendidos entre 0.4 % y 0.65 % aproximadamente.

**[0030]** La curva 2, que corresponde a los aceros que tienen composiciones comparables pero con un contenido en silicio mucho más débil que el caso precedente, muestra que, cuando el contenido en silicio baja, la temperatura mínima de no-agrietamiento baja de 20 °C a 25 °C.

**[0031]** Este efecto del silicio puede ser atribuido al efecto del silicio sobre la conductividad térmica. De hecho, al bajar el silicio que degrada de forma significativa la conductividad térmica del acero, se reducen los gradientes de temperatura en la zona afectada por el calor, la cual tiene como efecto la reducción de las restricciones.

**[0032]** Esto puede confirmarse por las medidas de conductividad térmica de las coladas 6bis a 9bis y 6 a 9, que son comparables. De estas medidas se puede constatar que la conductividad térmica de las coladas 6bis a 9bis es superior aproximadamente en un 10% a la de las coladas 6 a 9.

**[0033]** Con el acero según la invención, se pueden fabricar piezas de cascos de submarinos, por ejemplo, piezas cortadas de la chapa de grosor comprendido entre 40 y 60 mm, o piezas forjadas como las piezas de conexión cuyos grosores significativos pueden alcanzar de 100 a 150 mm.

**[0034]** Con estas piezas cuyas características han sido indicadas precedentemente, podemos fabricar cascos de submarinos ensamblando estas piezas por soldadura en los astilleros al aire libre donde la temperatura exterior puede alcanzar los 0 °C. Estas piezas pueden ser soldadas de manera satisfactoria sin precalentamiento, o con un precalentamiento inferior a 25 °C.

**[0035]** Cuando se emplea el procedimiento «electrodo revestido» habitualmente favorito en las operaciones de soldadura aquí consideradas, las precauciones de uso destinadas a limitar el contenido en hidrógeno introducido deben ser respetadas en la medida de lo posible, a saber, el almacenaje en seco y el secado previo de electrodos. EL tipo de electrodo utilizado puede corresponder, por ejemplo, al tipo E55 2NiMo según la norma EN 757.

5

**[0036]** El procedimiento MIG hilo sólido, que por naturaleza, no introduce prácticamente nada de hidrógeno, es preferible en la medida de lo posible usando, por ejemplo, un hilo de tipo G55 Mn4Ni2Mo según la norma EN 12534.

10 **[0037]** Estas indicaciones, relativas al procedimiento de soldadura, tienen aquí valor de consejo no limitativo.

**REIVINDICACIONES**

1. Utilización de un acero para la fabricación de cascos de submarinos, comprendiendo piezas en acero de grosor comprendido entre 15 mm y 150 mm, ensambladas por soldadura, caracterizadas en que la composición química del acero comprende, en % en peso:

$$\begin{aligned}
 &0.030 \% \leq C < 0.080 \% \\
 &0.040 \% \leq Si \leq 0.48 \% \\
 &0.1 \% \leq Mn \leq 1.4 \% \\
 &2 \% \leq Ni \leq 4 \% \\
 &Cr \leq 0.3 \% \\
 &0.30 \% \leq Mo + W/2 + 3 (V + Nb/2 + Ta/4) \leq 0.89 \% \\
 &Mo \leq 0.15 \% \\
 &V + Nb/2 + Ta/4 \leq 0.04 \% \\
 &Nb \leq 0.004 \% \\
 &Cu \leq 0.45 \% \\
 &Al \leq 0.1 \% \\
 &Ti \leq 0.04 \% \\
 &N \leq 0.0300 \%
 \end{aligned}$$

siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración, siendo el boro una impureza cuyo contenido es inferior a 0.0005% y  $P + S \leq 0.015 \%$ , cumpliendo la composición química la siguiente condición

$$410 \leq 540 \times C^{0.25} + 245 [Mo + W/2 + 3 (V + Nb/2 + Ta/4)]^{0.30} \leq 460$$

teniendo el acero una estructura esencialmente martensítica, comprendiendo al menos un 90 % de martensita, máximo 5 % de austenita residual, máximo 5 % de ferrita, teniendo el acero un límite de elasticidad comprendido entre 480 Mpa y 620 Mpa y una tenacidad Charpy V,  $K_{cv}$ , a 60 °C, superior a 50 J.

2. Utilización de un acero según la reivindicación 1, caracterizada porque:

$$Si \leq 0.19$$

3. Utilización de un acero según la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque

$$Mn \leq 1 \%$$

4. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada porque:**

$$W \geq 0.11 \%$$

5. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada porque:**

$$2.5 \% \leq Ni \leq 3.5 \%$$

6. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada porque:**

$$Cr \leq 0.15 \%$$

7. Utilización de un acero según la reivindicación 6, **caracterizada porque:**

$$Cr \leq 0.09 \%$$

8. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque:**

$$425 \leq 540 \times C^{0.25} + 245 [Mo + W/2 + 3 (V + Nb/2 + Ta/4)]^{0.30} \leq 450$$

9. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada porque:**

## ES 2 639 171 T3

$$\text{Ni} \geq 2.7 \%$$

10. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada porque:**

5 
$$\text{Mo} \leq 0.75 \%$$

11. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque:**

10 
$$\text{C} \leq 0.055 \%$$

12. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada porque:**

15 
$$0.030 \% \leq \text{C} < 0.060 \%$$

15 
$$0.040 \% \leq \text{Si} < 0.29 \%$$

20 
$$0.6 \% \leq \text{Mn} < 1.2 \%$$

20 
$$2.5 \% \text{ Ni} < 3.5 \%$$

25 
$$\text{Cr} < 0.15 \%$$

25 
$$0.40 \% \leq \text{Mo} + \text{W}/2 + 3 (\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4) < 0.59\%$$

25 
$$\text{Mo} \geq 0.15 \%$$

30 
$$\text{V} + \text{Nb}/2 + \text{Ta}/4 \leq 0.004 \%$$

30 
$$\text{Nb} \leq 0.004 \%$$

35 
$$\text{Cu} < 0.25 \%$$

35 
$$\text{Al} < 0.04 \%$$

35 Estando el titanio ausente o en estado de trazas.

13. Utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizada porque** las piezas son ensambladas por soldadura sin precalentamiento o con un precalentamiento a una temperatura inferior o igual a 25 °C, incluso cuando la soldadura es efectuada en un astillero donde la temperatura exterior es inferior a 40 °C.

14. Piezas de casco de submarino, de grosor comprendido entre 15 mm y 150 mm, en acero forjado o laminado, templado y revenido, obtenidas mediante la utilización de un acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12.

45 15. El casco de submarino comprende piezas según la reivindicación 14, ensambladas por soldadura.

16. Acero para la fabricación de cascos de submarinos, **caracterizado porque** su composición química es conforme con la del acero utilizado según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, y **porque** el contenido en silicio es inferior o igual a 0.19 %, teniendo el acero una estructura esencialmente martensítica, que comprende al menos al menos un 90 % de martensita, como máximo 5 % de austenita residual, como máximo 5 % de ferrita, y el acero con un límite de elasticidad comprendido entre 480 Mpa y 620 Mpa, y una tenacidad Charpy V,  $K_{cv}$ , a 60 °C superior a 50 J.

Temperatura (°C) mínima de no-agrietamiento

