

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 437**

51 Int. Cl.:

B23K 35/02 (2006.01) **B23K 26/32** (2014.01)
B23K 35/30 (2006.01)
B23K 35/38 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)
B62D 29/00 (2006.01)
C21D 1/673 (2006.01)
C21D 9/48 (2006.01)
C21D 9/50 (2006.01)
B32B 15/01 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2012 E 12756555 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.09.2015 EP 2736672**

54 Título: **Pieza de acero soldada formada en caliente con una resistencia mecánica muy alta y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:

26.07.2011 WO PCT/IB2011/001725

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.12.2015

73 Titular/es:

**ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO SL (100.0%)
C/ Chavarri, 6
48910 Sestao, Bizkaia, ES**

72 Inventor/es:

**CRETTEUR, LAURENT;
YIN, QINGDONG;
SCHMIT, FRANCIS y
EHLING, WOLFRAM**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 553 437 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

Pieza de acero soldada formada en caliente con una resistencia mecánica muy alta y procedimiento de fabricación.

5 **[0001]** Esta invención se refiere principalmente a una pieza de acero soldada formada en caliente de resistencia mecánica muy alta.

[0002] La invención se refiere además al procedimiento de fabricación de dicha pieza de acero soldada, así como al uso de esa pieza de acero soldada para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad para
10 vehículos automotrices.

[0003] El estado de la técnica describe los procedimientos para la fabricación de piezas de acero soldadas a partir de preformas de acero de diferentes composiciones y/o espesores soldadas unas a otras. En el primer modo de fabricación conocido, estas preformas soldadas se deforman en frío. En el segundo modo de fabricación
15 conocido, estas preformas soldadas se calientan a una temperatura que permita la austenización del acero y entonces se deforman en caliente y se enfrían rápidamente en la matriz de formación. La presente invención se refiere a este segundo modo de fabricación.

[0004] La composición del acero se puede seleccionar para posibilitar las subsecuentes operaciones de calentamiento y deformación, así como para proporcionar a la pieza de acero soldada una resistencia mecánica elevada, una gran resistencia al impacto y una buena resistencia a la corrosión.
20

[0005] Las piezas de acero de este tipo se usan, en particular, en la industria automotriz y, concretamente, en la fabricación de piezas anti-intrusión, piezas estructurales o piezas que contribuyan a la seguridad de los vehículos
25 automotrices.

[0006] Entre los materiales deformables en caliente que tienen las características requeridas para las aplicaciones anteriormente mencionadas, la lámina de acero recubierta descrita en la publicación EP971044 tiene, en particular, un contenido de carbono de entre 0,10 % y 0,5 % en peso e incluye un prerrevestimiento metálico de
30 aluminio. La lámina es recubierta, por ejemplo, mediante su inmersión continua en un baño que, además de aluminio, contiene silicio e hierro en concentraciones controladas. El subsecuente tratamiento térmico aplicado durante un procedimiento de formación en caliente o después de la formación y el enfriamiento posterior a dicho tratamiento térmico permite obtener una microestructura martensítica que proporciona a la pieza de acero una elevada resistencia mecánica que puede superar 1500 MPa.
35

[0007] Un procedimiento conocido de fabricación de piezas de acero soldadas consiste en procurarse al menos dos láminas de acero como las descritas en el documento EP 971044, soldarlas entre sí para obtener una preforma soldada, cortar opcionalmente esta preforma soldada, calentarla y entonces proceder a su deformación en caliente, por ejemplo mediante su prensado en caliente, para dar a la pieza de acero la forma requerida para su
40 aplicación.

[0008] Una técnica de soldadura conocida es la soldadura por rayos láser. Esta técnica tiene ventajas en términos de flexibilidad, calidad y productividad en comparación con otras técnicas de soldadura como la soldadura por costura o la soldadura con arco.
45

[0010] Durante la operación de soldadura, sin embargo, el prerrevestimiento de aluminio compuesto por una capa de aleación intermetálica en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica, se diluye con el sustrato de acero en la zona fundida, que es la parte que pasa a estado líquido durante la operación de soldadura y que se solidifica después de dicha operación de soldadura, dando lugar a la unión de las dos láminas.
50

[0011] En el primer fenómeno, si la concentración de aluminio en la zona fundida es localmente elevada, se forman compuestos intermetálicos como resultado de la disolución de una parte del prerrevestimiento en la zona fundida y de la aleación que se produce durante el posterior calentamiento de la unión soldada antes de la etapa de deformación en caliente. Estos compuestos intermetálicos son puntos en los que es más probable que surja una
55 fractura.

[0012] En el segundo fenómeno, si la concentración de aluminio en la zona fundida no es tan elevada, el aluminio, que es un elemento alfégeno en solución sólida en la matriz, impide la transformación en austenita que se produce durante la etapa de calentamiento que precede al prensado. Por lo tanto, ya no es posible obtener martensita o bainita durante el enfriamiento posterior a la deformación en caliente y la unión soldada contiene ferrita. La zona fundida presenta entonces una dureza y una resistencia mecánica menores que las de las dos láminas adyacentes.
60

[0013] Para evitar el primer fenómeno anteriormente descrito, en la publicación EP2007545 se describe una solución que consiste en eliminar, en la periferia de las láminas destinadas a la operación de soldadura, la capa superficial de aleación metálica, dejando la capa de aleación intermetálica. Se puede eliminar por cepillado o mediante rayos láser. La capa de aleación intermetálica se preserva para garantizar la resistencia a la corrosión y
65

evitar los fenómenos de decarburación y oxidación durante el tratamiento térmico que precede a la operación de deformación.

5 [0014] No obstante, esta técnica no siempre permite evitar el segundo fenómeno anteriormente descrito: aunque la disolución de la fina capa de aleación intermetálica solo dé lugar a un pequeño incremento del contenido de aluminio en la zona fundida (menos del 0,1 %), la combinación de las segregaciones locales de aluminio y de la potencial mezcla de boro en forma de nitruro en la zona fundida da lugar a una disminución de la templabilidad en esta zona. En consecuencia, la velocidad crítica de temple aumenta en la zona fundida comparada con la de las dos láminas adyacentes.

10 [0015] La figura 1 ilustra la dureza observada en la zona fundida (perfil 2) y en el metal base (perfil 1), es decir, la lámina de acero contigua, tras el calentamiento a 900° C seguido por el prensado en caliente y el enfriamiento a velocidad variable. La dureza del metal base es la obtenida en el caso de una lámina como la descrita en la publicación EP971044, que contiene en particular 0,22 % de C, 1,12 % de Mn y 0,003 % de B. La dureza de la zona
15 fundida es la observada cuando la soldadura se realiza tal y como se describe en la publicación EP2007545.

[0016] El perfil 1 indica que la velocidad crítica de temple martensítico del metal base es de 27° C/segundo debido a que cualquier velocidad de enfriamiento superior a 27° C/segundo produce una dureza de la lámina del orden de 480 HV y una microestructura totalmente martensítica.

20 [0017] En cambio, el perfil 2 muestra que la velocidad crítica de temple martensítico de la zona fundida es de 35° C/s. Por lo tanto, una velocidad de enfriamiento tras el prensado en caliente de entre 27° C/segundo y 35° C/segundo no dará lugar a una dureza suficiente ni a una estructura plenamente martensítica en esta zona.

25 [0018] Además, a este aumento de la velocidad crítica de temple en la zona fundida se añaden las condiciones de enfriamiento desfavorables en esta zona fundida durante la deformación en caliente.

[0019] De hecho, es posible que la zona fundida pueda perder completamente el contacto con la matriz fría durante el enfriamiento por los siguientes motivos independientes o combinados:

30 - si las dos láminas son de diferentes espesores, a causa del «desnivel» diseñado en la matriz para posibilitar el desplazamiento de la materia durante la deformación

- debido a un posible defecto de alineación entre la matriz y la preforma soldada.

35 [0020] Por lo tanto, de lo anterior se desprende que, con una velocidad de enfriamiento de la preforma soldada inferior a 35° C/s, la zona fundida presenta una heterogeneidad microestructural y una disminución de las características mecánicas de ensamblado que pueden hacer que la pieza de acero soldado sea incompatible con las aplicaciones previstas, en particular de la industria automotriz.

40 [0021] Otro procedimiento de soldadura conocido aplicado a las láminas descritas en la publicación EP971044 se describe en la publicación EP1878531.

[0022] Este procedimiento consiste en crear una zona fundida que presente las características de resistencia
45 mecánica requeridas para la soldadura de dos láminas cortadas previamente con cizalla que, a causa de este tipo de corte, presenten depósitos de prerrevestimiento de aluminio en los cantos.

[0023] El procedimiento de soldadura consiste o bien en una soldadura híbrida láser-TIG, es decir, un haz de láser combinado con un arco voltaico generado por un soplete de soldadura de TIG («Tungsten Inert Gas») equipado con
50 un electrodo no fusible, o bien en una soldadura híbrida láser-MIG («Metal Inert Gas») para la cual el soplete de soldadura está equipado con un electrodo de alambre fusible.

[0024] Sin embargo, las piezas de acero prensadas en caliente después de la operación de soldadura mediante este procedimiento también presentan una fragilidad mecánica en la zona fundida.

55 [0025] De hecho, independientemente de la proporción de metal de relleno en el caso de la soldadura híbrida de láser-MIG, la mezcla en la zona fundida no es suficiente para evitar la formación de zonas con una alta concentración de aluminio, que dan lugar a la ausencia de formación de martensita en la zona fundida durante el enfriamiento y en consecuencia a una resistencia mecánica insuficiente.

60 [0026] Para obtener el nivel deseado de disolución, es necesario agregar grandes cantidades de metal de relleno, que crean, por un lado, problemas para fundir el metal agregado por la soldadura con el metal que se ha de soldar y, por otro, un gran exceso de grosor en la zona fundida que entorpece el procedimiento de deformación y hace que la pieza resultante que se ha soldar no se adecue a las normas de calidad vigentes en el sector automotriz.

65 [0027] En este contexto, el objetivo de esta invención es una pieza de acero soldada con una resistencia mecánica

muy elevada, es decir, superior a 1230 MPa, obtenida mediante calentamiento en el ámbito austenítico seguido por la deformación de al menos una preforma soldada obtenida mediante la soldadura alineada de al menos dos láminas constituidas, al menos en parte, por un sustrato de acero y un prerrevestimiento formado por una capa de aleación intermetálica en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica que es una aleación de aluminio o a base de aluminio.

[0028] Un objetivo especial de la invención es obtener dicha pieza de acero soldada cuya previa deformación consista en una deformación en caliente y para la cual la resistencia mecánica de la zona fundida sea superior a la de las dos láminas soldadas o al menos a la de una de las dos láminas soldadas.

10

[0029] Con este fin, la pieza de acero soldada de características de resistencia mecánica muy altas se obtiene gracias a la invención se logra mediante un calentamiento en el ámbito austenítico seguido por la deformación en caliente, el enfriamiento de al menos una preforma soldada obtenida mediante soldadura alineada de al menos una primera y una segunda láminas formadas al menos en parte por un sustrato de acero y un prerrevestimiento constituido por una capa de aleación intermetálica en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica compuesta por una aleación de aluminio o a base de aluminio, y se caracteriza fundamentalmente porque el entorno inmediatamente contiguo a la zona fundida resultante de la operación de soldadura y que constituye la unión entre la primera y la segunda láminas carece de la capa de aleación intermetálica al tiempo que cuenta con la capa de aleación intermetálica y porque, al menos en una porción de la zona fundida, la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del sustrato de la primera o de la segunda lámina, la que tenga el contenido de carbono $C_{\text{máx}}$ más alto, es de entre 1,27 y 1,59.

15

20

[0030] Las mencionadas características de la pieza de acero soldada reivindicada por la invención se traducen en una fractura que se produce en el metal base y no en la zona fundida cuando se somete a la unión soldada a una tracción perpendicular uniaxial.

25

[0031] La pieza de acero soldada reivindicada por la invención puede tener también las siguientes características opcionales, consideradas individualmente o en todas las combinaciones técnicas posibles:

30 - la relación entre la dureza de la zona fundida y la dureza del sustrato de la primera o de la segunda lámina que tenga el contenido de carbono $C_{\text{máx}}$ más alto es superior a $1029 + (0,36 C_{\text{máx}})$, donde $C_{\text{máx}}$ se expresa en porcentaje en peso.

- la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:

35

$$0,10 \% \leq C \leq 0,5 \%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

40

$$0,1\% \leq Si \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$45 \quad Ti \leq 0,2\% \quad Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\% \quad P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,010\%$$

50

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

- la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:

55

$$0,15\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,8 \% \leq Mn \leq 2,3 \%$$

$$60 \quad 0,1 \% \leq Si \leq 0,35 \%$$

$$0,01 \% \leq Cr \leq 1 \%$$

$$Ti \leq 0,1 \%$$

65

$$Al \leq 0,1 \%$$

S ≤ 0,03 %

P ≤ 0,05 %

5

0,0005 % ≤ B ≤ 0,010 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

10 - la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:

0,15% ≤ C ≤ 0,25%

15 0,8 % ≤ Mn ≤ 1,8%

0,1 % ≤ Si ≤ 0,35 %

0,01 % ≤ Cr ≤ 0,5%

20

Ti ≤ 0,1% Al ≤ 0,1%

S ≤ 0,05% P ≤ 0,1%

25 0,0002% ≤ B ≤ 0,005%

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

- el contenido de carbono de la zona fundida es inferior o igual a 0,35 % en peso.

30

- la capa de aleación metálica del prerrevestimiento contiene, en contenido expresado en peso, entre 8 y 11 % de silicio, entre 2 y 4 % de hierro y el resto está formado por aluminio e impurezas inevitables.

- la microestructura de la zona fundida no contiene ferrita.

35

- la microestructura de la zona fundida es martensítica.

- la mencionada deformación en caliente de la preforma soldada se realiza mediante una operación de prensado en caliente.

40

- los respectivos cantos de los bordes periféricos de la primera y de la segunda láminas destinadas a la operación de soldadura no contienen aluminio ni aleación de aluminio, cuya presencia puede derivarse de una operación previa de corte de cada una de las dos láminas.

45 **[0032]** La invención también se refiere a un procedimiento de fabricación de la pieza de acero soldada anteriormente descrita.

[0033] Con este fin, de acuerdo con el procedimiento reivindicado por la invención, se necesitan al menos una primera y una segunda láminas de acero formadas por un sustrato de acero y un prerrevestimiento formado por una

50 capa de aleación intermetálica en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica hecha de una aleación de aluminio o a base de aluminio, y en las cuales al menos una cara de una parte de un borde periférico de cada una de la primera y de la segunda láminas de acero destinadas a la operación de soldadura está desprovista de dicha capa de aleación metálica pero conserva la capa de aleación intermetálica y en las cuales los respectivos cantos de los bordes periféricos de estas primera y segunda láminas destinadas a sufrir la operación

55 de soldadura están desprovistas de aluminio o aleación de aluminio cuya presencia puede ser resultado de una operación previa de corte de cada una de las primera y segunda láminas. Se sueldan entonces la primera y la segunda láminas de acero por los respectivos bordes periféricos de estas primera y segunda láminas de acero desprovistas de la capa de aleación metálica por medio de una fuente láser y, utilizando un alambre de metal de relleno al menos en una parte de la longitud de la zona soldada, se obtiene una preforma soldada en la cual el

60 contenido de carbono de la zona fundida resultante de la operación de soldadura y que constituye la unión entre la primera y la segunda láminas está entre 1,27 y 1,59 veces el contenido de carbono del sustrato de la lámina que tiene el contenido de carbono más elevado. A continuación, se calienta dicha preforma soldada para proporcionar una estructura totalmente austenítica en la zona fundida y entonces se da forma en caliente a dicha preforma soldada y se calienta el resultado para obtener una pieza de acero. Seguidamente, se procede al enfriamiento de
65 dicha pieza de acero a velocidad controlada para obtener las características de resistencia mecánica deseadas.

[0034] El procedimiento de fabricación de la pieza de acero soldada reivindicada por la invención también puede incluir las siguientes características opcionales, consideradas individualmente o en todas las combinaciones técnicas posibles:

- 5
 - se elimina la capa de aleación metálica de las caras opuestas de los respectivos bordes periféricos de la primera y de la segunda lámina de acero, conservando la capa de aleación intermetálica.
- la anchura de la zona desprovista de la capa de aleación metálica en el borde periférico de la primera y de la
 10 segunda láminas destinadas a la operación de soldadura es de entre 0,2 y 2,2 mm.
- la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:
- 15 $0,10 \% \leq C \leq 0,5 \%$
 $0,5 \% \leq Mn \leq 3 \%$
 $0,1 \% \leq Si \leq 1 \%$
- 20 $0,01 \% \leq Cr \leq 1 \%$
 $Ti \leq 0,2 \%$
- 25 $Al \leq 0,1 \%$
 $S \leq 0,05 \%$
 $P \leq 0,1 \%$
- 30 $0,0002 \% \leq B \leq 0,010 \%$
 siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.
- 35 - la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:
- $0,15 \% \leq C \leq 0,4 \%$
- 40 $0,8 \% \leq Mn \leq 2,3 \%$
 $0,1 \% \leq Si \leq 0,35 \%$
 $0,01 \% \leq Cr \leq 1 \%$
- 45 $Ti \leq 0,1 \%$
 $Al \leq 0,1 \%$
- 50 $S \leq 0,03 \%$
 $P \leq 0,05 \%$
 $0,0005 \% \leq B \leq 0,010 \%$
- 55 siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.
- la composición del sustrato de al menos la primera o la segunda lámina comprende los contenidos expresados en peso:
- 60 $0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$
 $0,8 \% \leq Mn \leq 1,8 \%$
- 65 $0,1 \% \leq Si \leq 0,35 \%$

ES 2 553 437 T3

$0,01 \% \leq \text{Cr} \leq 0,5 \%$

$\text{Ti} \leq 0,1 \%$

5 $\text{Al} \leq 0,1 \%$

$\text{S} \leq 0,05 \%$

$\text{P} \leq 0,1 \%$

10

$0,0002 \% \leq \text{B} \leq 0,005 \%$

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

15 - durante la etapa de soldadura, los bordes periféricos de la primera y de la segunda lámina de acero que se han de soldar se colocan a una distancia máxima de 0,1 mm entre sí.

- la energía de soldadura lineal de la mencionada fuente de láser durante la operación de soldadura es superior a 0,3 kJ/cm.

20

- la fuente de láser es o bien de tipo láser de gas CO₂, que suministra una energía de soldadura lineal superior a 1,4 kJ/cm, o bien de tipo láser de estado sólido, que suministra una energía de soldadura lineal superior a 0,3 kJ/cm.

- la velocidad de soldadura es de entre 3 metros/minuto y 8 metros/minuto y la energía del láser de gas CO₂ es superior o igual a 7 kW y la energía del láser de estado sólido es superior o igual a 4 kW.

25

- la etapa de soldadura se realiza con una protección gaseosa de helio y/o argón.

- el caudal de helio y/o argón durante la etapa de soldadura es superior o igual a 15 litros por minuto.

30

- el alambre de relleno contiene los siguientes elementos, expresados en peso:

$0,6 \% \leq \text{C} \leq 1,5 \%$

35 $1 \% \leq \text{Mn} \leq 4 \%$

$0,1 \% \leq \text{Si} \leq 0,6 \%$

$\text{Cr} \leq 2 \%$

40

$\text{Ti} \leq 0,2 \%$

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

45 - el alambre de relleno contiene los siguientes elementos, expresados en peso:

$0,65 \% \leq \text{C} \leq 0,75 \%$

$1,95 \% \leq \text{Mn} \leq 2,05 \%$

50

$0,35 \% \leq \text{Si} \leq 0,45 \%$

$0,95 \% \leq \text{Cr} \leq 1,05 \%$

55 $0,15 \% \leq \text{Ti} \leq 0,25 \%$

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

- la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida es de entre 12 % y 26 % y la velocidad de soldadura es de entre 3 y 7 metros por minuto.

60

- el par compuesto por dicha proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida y a la velocidad de soldadura se sitúa dentro del intervalo ilustrado en la figura 8.

65 - el par compuesto por dicha proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida y a la velocidad de soldadura cumple los siguientes requisitos combinados:

- la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida (35) es de entre 12 % y 26 % y

- la velocidad de soldadura es de entre 3 y 7 metros por minuto, y

5

- cuando la velocidad de soldadura es superior a 3,5 metros por minuto, el par compuesto por la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida (35) y la velocidad de soldadura es tal que $Y \leq -3,86X + 39,5$, donde Y indica la proporción de metal de relleno expresada en porcentaje de volumen y X indica la velocidad de soldadura en metros por minuto.

10

la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida (35) es de entre 14 y 16 %, el caudal de helio y/o argón es de entre 13 y 17 litros por minuto, el diámetro en el punto de impacto en la lámina del haz de láser (30) es de entre 500 y 700 micrómetros, y el extremo (32a) del alambre de relleno (32) está a una distancia del punto de impacto del haz de láser en la lámina de entre 2 y 3 mm.

15

- la velocidad de enfriamiento de la zona fundida (35) durante la etapa de formación en caliente es superior o igual a la velocidad crítica de temple martensítico de la citada zona fundida (35).

[0035] Por último, la invención se refiere a la utilización de las piezas de acero anteriormente descritas para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad para vehículos, en especial automotrices.

[0036] Otras características y ventajas de la invención se desprenderán claramente de la descripción detallada a continuación con carácter indicativo y en absoluto restrictivo, referente a figuras anexas como:

25 - la figura 1, anteriormente presentada, representa el perfil comparado de la dureza del metal base y de la zona fundida en función de la velocidad de enfriamiento durante el prensado en caliente, para una pieza de acero soldada del estado de la técnica anterior,

- la figura 2 es una representación esquemática de la lámina utilizada para poner en práctica el procedimiento reivindicado por la invención,

- la figura 3 es una representación esquemática del comienzo de la operación de soldadura del procedimiento reivindicado por la invención,

35 - la figura 4 es una representación esquemática del final de la operación de soldadura del procedimiento reivindicado por la invención,

- la figura 5 representa el perfil de la resistencia mecánica a la rotura por tracción de la zona fundida, al ejercerse la presión perpendicularmente respecto a la unión soldada, en función del porcentaje de metal de relleno en la zona fundida durante el procedimiento reivindicado por la invención, y para dos velocidades de enfriamiento distintas durante el prensado en caliente,

- la figura 6 representa la localización de la fractura, en el metal base o en la zona fundida, en función de la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del metal base,

45

- la figura 7 es una gráfica que ilustra un ejemplo de un perfil de microdureza (dureza bajo una carga de 200 g) de una pieza de acero soldada fabricada a partir de dos láminas de diferente grosor y prensada de acuerdo con la invención y de la zona contigua a la zona fundida, y

50 - la figura 8 es una gráfica que ilustra las condiciones límite de funcionamiento óptimo del procedimiento reivindicado por la invención en términos de porcentaje de metal relleno y de velocidad de soldadura.

- la figura 9 presenta la variación de la tenacidad en la zona fundida en función de la temperatura con diferentes contenidos de carbono.

55

[0037] Según el procedimiento reivindicado por la invención, se necesitan dos láminas revestidas mediante inmersión en un baño de aluminio fundido de acuerdo con un procedimiento llamado «inmersión» continua conforme a la publicación EP971044. Se entiende el término lámina en sentido amplio como cualquier tira u objeto obtenido mediante el corte de una tira, una bobina o una hoja.

60

[0038] El baño de aluminio en el que se realiza la inmersión puede contener además de 9 a 10 % de silicio y de 2 a 3,5 % de hierro.

[0039] El acero que constituye el sustrato de acero de las láminas presenta la siguiente composición, expresada en porcentaje en peso:

ES 2 553 437 T3

0,10 % ≤ C ≤ 0,5 %

0,5 % ≤ Mn ≤ 3 %

5 0,1 % ≤ Si ≤ 1%

0,01 % ≤ Cr ≤ 1 %

Ti ≤ 0,2 %

10 Al ≤ 0,1 %

S ≤ 0,05 %

15 P ≤ 0,1 %

0,0002 % ≤ B ≤ 0,010 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

20

[0040] Preferentemente, la composición del acero será la siguiente:

0,15 % ≤ C ≤ 0,4 %

25 0,8 % ≤ Mn ≤ 2,3 %

0,1 % ≤ Si ≤ 0,35 %

0,01 % ≤ Cr ≤ 1 %

30

Ti ≤ 0,1 %

Al ≤ 0,1 %

35 S ≤ 0,03 %

P ≤ 0,05 %

0,0005 % ≤ B ≤ 0,010 %

40

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

[0041] Aún más preferentemente y de acuerdo con la siguiente descripción, la composición del acero será la siguiente:

45

0,15 % ≤ C ≤ 0,25 %

0,8 % ≤ Mn ≤ 1,8 %

50 0,1 % ≤ Si ≤ 0,35 %

0,01 % ≤ Cr ≤ 0,5 %

Ti ≤ 0,1 %

55

Al ≤ 0,1 %

S ≤ 0,05 %

60 P ≤ 0,1 %

0,0002 % ≤ B ≤ 0,005 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

65

[0042] Las láminas que se soldarán entre sí pueden ser de composiciones idénticas o diferentes.

[0043] El revestimiento, que se llamará «prerrevestimiento» en esta etapa de la siguiente descripción, presenta las siguientes características como resultado de la inmersión de la lámina en el baño de aluminio: en referencia a la figura 2, el prerrevestimiento (3) de la lámina (4) presenta dos capas (5,7) de distinta naturaleza.

5

[0044] En primer lugar, una capa de aleación intermetálica (5) de tipo AISiFe está en contacto con la superficie del sustrato de acero (6) de la lámina (4). Esta capa de aleación intermetálica (5) resulta de la reacción entre el sustrato de acero (6) y el baño de aluminio.

10 **[0045]** Además, esta capa de aleación intermetálica (5) está cubierta por una capa de aleación metálica (7) que forma una capa superficial del prerrevestimiento (3).

[0046] El prerrevestimiento (3) está presente en las dos caras opuestas (8a, 8b) de la lámina (4).

15 **[0047]** Según el procedimiento reivindicado por la invención, la capa de aleación metálica (7) se elimina en la periferia (9) de la lámina (4) que está destinada a la subsiguiente operación de soldadura.

[0048] En la figura 2, solo se elimina en la cara superior (8a) pero la capa de aleación metálica (7) será ventajosamente retirada en la periferia de las dos caras opuestas (8a, 8b) de la lámina (4).

20

[0049] La capa de aleación intermetálica (5) permanece por tanto en la periferia (9) de la lámina (4) que será objeto de la operación de soldadura.

25 **[0050]** La ablación de la capa metálica (7) puede realizarse mediante una operación de cepillado puesto que la capa metálica (7) eliminada tiene una dureza inferior a la dureza de la capa de aleación intermetálica (5) que subsiste.

[0051] Los expertos en la técnica sabrán cómo adaptar la configuración del cepillado para eliminar la capa metálica (7) en la periferia (9) de la lámina (4).

30

[0052] También es posible eliminar la capa de aleación metálica utilizando un haz de láser dirigido hacia la periferia (9) de la lámina (4).

35 **[0053]** La interacción entre el haz de láser y el prerrevestimiento (3) genera una vaporización y la expulsión de la capa de aleación metálica (7).

[0054] La anchura de la capa de aleación metálica (7) eliminada en la periferia (9) de la lámina (4) está comprendida entre 0,2 y 2,2 mm.

40 **[0055]** Además, la capa de aleación intermetálica (5) que permanece en la periferia (9) de la lámina (4) tiene un grosor del orden de 5 micrómetros.

[0056] Estos dos modos de ablación (cepillado y láser) de la capa de aleación metálica son objeto de la publicación EP2007545.

45

[0057] Las operaciones de corte de la lámina (4) previas, así como la operación de eliminación de la capa de aleación metálica (7) anteriormente descrita pueden arrastrar una porción del prerrevestimiento (3) del canto (10) de la periferia (9) de la lámina (4) destinada a la operación de soldadura. Por ello puede haber rastros de aluminio o aleación de aluminio en ese canto (10).

50

[0058] De acuerdo con el procedimiento reivindicado por la invención, estos rastros de aluminio o de aleación de aluminio en el canto (10) de la lámina (4) también son eliminados mediante cepillado antes de la operación de soldadura.

55 **[0059]** Respecto a la figura 3, la primera lámina (11) y la segunda lámina (12), cada una con su respectivo sustrato (25, 26) y que cuentan en sus respectivas caras opuestas (13a, 13b; 14a, 14b) con un prerrevestimiento (15, 16) formado por una capa de aleación intermetálica (17, 18) cubierta por una capa de aleación metálica (19, 20), se colocan una junto a otra de acuerdo con las técnicas de soldadura por láser convencionales por contacto entre sus respectivas periferias (21, 22), en las cuales, por un lado, se ha eliminado la capa de aleación metálica (19, 20) de sus caras opuestas (13a, 13b; 14a, 14b) y de sus cantos (23, 24), de los cuales también se ha eliminado el prerrevestimiento (15, 16) arrastrado durante la operación de corte.

60

[0060] La distancia máxima entre los respectivos bordes (23, 24) de las dos láminas (11, 12) es de 0,1 mm, de modo que la separación entre los bordes (23, 24) de las dos láminas (11, 12) sea idónea para el depósito del metal de relleno durante la operación de soldadura.

65

[0061] Como se ilustra en la figura 3, la operación de soldadura de acuerdo con el procedimiento reivindicado por la invención consiste en un haz de láser (30) dirigido a la unión entre las dos láminas (11, 12) y combinado con un alambre de relleno (32) fundido en el punto de impacto (31) del haz de láser. Se trata por tanto de un procedimiento de soldadura láser con metal de relleno.

5

[0062] La fuente de láser utilizada debe ser de alta potencia y puede seleccionarse entre una fuente de láser de tipo láser de gas CO₂ con una longitud de onda de 10 micrómetros o una fuente de láser de estado sólido con una longitud de onda de 1 micrómetro.

10 **[0063]** A causa del grosor de las dos láminas (11, 12) que es inferior a 3 mm, la potencia del láser de gas CO₂ será superior o igual a 7 kW mientras que la potencia del láser de estado sólido será superior o igual a 4 kW.

[0064] Además, el diámetro de haz de láser en su punto de impacto en las láminas será de aproximadamente 600 micrómetros en ambos tipos de fuente de láser.

15

[0065] Por último, el extremo (32a) del alambre de relleno (32) se situará a unos 3 mm del punto de impacto (P) del haz de láser (30) en la unión entre las láminas (11 y 12) en el caso de la fuente de láser de estado sólido y a unos 2 mm del haz de láser (30) en caso de que la fuente de láser sea de gas de CO₂.

20 **[0066]** Estas condiciones hacen posible obtener una fusión completa del alambre de relleno (32) así como una mezcla satisfactoria con el sustrato de acero en la soldadura.

[0067] Además, estas potencias harán posible emplear una velocidad de soldadura suficiente para evitar la precipitación de nitruros de boro y otros posibles problemas de segregación.

25

[0068] El alambre de relleno debe cumplir dos requisitos:

- en primer lugar, la cantidad de metal agregado por el alambre de relleno (32) debe ser tal que la fuente de láser pueda derretirlo en su totalidad y producir una mezcla relativamente homogénea en la soldadura. Además, la cantidad de metal agregado no debe dar lugar a un grosor excesivo de la soldadura de más del 10 % respecto al grosor más pequeño de las dos láminas si estas últimas no son del mismo grosor, de acuerdo con las normas de calidad vigentes en la industria automotriz.

30

- por otro lado, la composición del alambre de relleno debe posibilitar, en combinación con los demás parámetros del procedimiento de soldadura, la obtención de una soldadura cuyas características de resistencia mecánica sean comparables, después de la deformación en caliente y del enfriamiento, a las características de resistencia mecánica de la primera (11) y de la segunda (12) láminas soldadas.

35

[0069] Por último, durante la etapa de soldadura, debe garantizarse la protección gaseosa para evitar la oxidación y decarburación de la zona soldada para evitar la formación de nitruro de boro en la zona fundida y los posibles fenómenos de agrietamiento en frío causados por la absorción de hidrógeno.

40

[0070] Esta protección gaseosa se realiza utilizando helio y/o argón.

45 **[0071]** Respecto a la figura 4, la operación de soldadura genera la formación de una zona fundida (35) en la unión entre las dos láminas (11, 12) que posteriormente se solidifica formando la soldadura. Se mantiene la denominación «zona fundida» para identificar esta soldadura incluso tras la solidificación de esa zona fundida (35).

[0072] Para las partes que experimenten un enfriamiento local más lento durante el prensado en caliente, se puede incluir un alambre de relleno únicamente en determinadas partes de la longitud de la zona fundida y no agregar el alambre de relleno en las restantes juntas.

50

[0073] La preforma soldada (37) que resulta de la operación de soldadura tiene por tanto una zona fundida (35) desprovista de aleación intermetálica debido a la previa eliminación de la capa de aleación metálica (19, 20) como se explicó anteriormente.

55

[0074] Además, como muestra la figura 4, el entorno (36) más próximo a la zona fundida (35) está libre de la capa de aleación metálica (19, 20) a causa del hecho de que la anchura de la zona fundida (35) es inferior a la anchura de la zona de soldadura que no contiene una capa de aleación metálica (19, 20).

60

[0075] Aunque la figura 4 ilustra el caso simple de una preforma soldada fabricada a partir de una primera lámina (11) y de una segunda lámina (12), es posible aplicar el procedimiento reivindicado por la invención con un mayor número de láminas soldadas entre sí.

65 **[0076]** La preforma soldada (37) obtenida de tal modo se somete entonces a un calentamiento para obtener una transformación austenítica en todas las partes de esta preforma. Se deforma en caliente esta preforma,

preferentemente mediante prensado en caliente. Esta etapa es seguida por un enfriamiento efectuado por contacto en la matriz de prensado a una velocidad de enfriamiento que se especifica más adelante y da lugar a una pieza de acero soldada.

5 **[0077]** En la siguiente descripción, la referencia a una pieza de acero soldada corresponde a la pieza terminada resultante del prensado en caliente de la preforma soldada, cuya fabricación se ha descrito.

[0078] Para un acero de tipo 22MnB5 (C=0,20-0,25 %, Mn=1,1-1,35 %, Si=0,15-0,35 %, Al=0,020-0,060 %, Ti =0,020-0,050 %, Cr=0,15-0,30 %, B=0,002-0,004 %, con los contenidos expresados en peso y el resto consistente en hierro e impurezas resultantes de la elaboración), la tabla 1 presenta a continuación las condiciones del procedimiento de soldadura utilizadas para fabricar una pieza de acero soldada para la cual la dureza de la zona fundida y prensada en caliente es al menos igual a la dureza de una de las dos láminas (11, 12).

15 **[0079]** Estas condiciones se indican en términos de velocidad de soldadura, porcentaje de volumen del metal de relleno respecto a la zona fundida y composición química del alambre de relleno expresada en porcentaje de masa. Las pruebas que condujeron a estas condiciones límite se realizaron con una fuente de láser de gas CO₂ con una potencia superior a 7 kilovatios y una fuente de láser de estado sólido con una potencia superior a 4 kilovatios con protección gaseosa de helio y/o argón de caudal superior a 15 litros/minuto.

20

Tabla 1

	Velocidad de soldadura (m/mn)	Proporción de metal de relleno (%)	Composición del alambre de relleno - %				
			C	Mn	Si	Cr	Ti
Mínimo	3	10	0,6	1	0,1	0	0
Máximo	8	26	1,5	4	0,6	2	0,2

25 **[0080]** En el marco de otro ejemplo, se realizaron pruebas con un alambre de relleno cuya composición incluía los siguientes porcentajes en peso: C=0,7 %, Si =0,4 %, Mn=2 %, Cr=1 % y Ti = 0,2 %, siendo el resto hierro e impurezas resultantes de la elaboración.

30 **[0081]** Las pruebas se realizaron con una fuente de láser de gas CO₂ con una potencia superior a 7 kilovatios y una fuente de láser de estado sólido con una potencia superior a 4 kilovatios con protección gaseosa de helio y/o argón de caudal superior a 15 litros/minuto. Todos los resultados obtenidos y presentados a continuación son similares, independientemente de la fuente de láser utilizada.

[0082] Respecto a la figura 8, el aspecto de la zona fundida y la calidad de la mezcla del alambre de relleno y del metal fundido se examinan para diferentes porcentajes de metal de relleno y velocidades de soldadura distintas.

35 **[0083]** En los puntos experimentales identificados como 40 y 41, los resultados en términos de disolución y de aspecto de la superficie de la zona fundida son satisfactorios, mientras que en los puntos experimentales identificados como 42, los resultados no son satisfactorios.

40 **[0084]** La figura 5 ilustra la resistencia a la rotura por tracción de la pieza de acero soldada prensada en caliente en función del porcentaje de metal de relleno en la zona fundida con dos velocidades de enfriamiento de 30 y de 50° C por segundo.

45 **[0085]** Los puntos experimentales identificados como 43 corresponden a una velocidad de enfriamiento de 30° C por segundo y los puntos experimentales identificados como 44 corresponden a una velocidad de enfriamiento de 50° C por segundo. Estas dos velocidades corresponden respectivamente a una extracción eficaz del calor gracias al estrecho contacto entre la pieza y la matriz de prensado (50° C por segundo) y a un contacto menos estrecho debido a una menor presión y/o a una diferencia de grosor entre las láminas que se soldarán (30° C por segundo).

50 **[0086]** Cuando las preformas soldadas prensadas en caliente se enfrían a una velocidad de 50° C por segundo, la resistencia mecánica a la rotura es de entre 1470 y 1545 MPa y la fractura se produce en el metal base.

[0087] Cuando las preformas soldadas prensadas en caliente se enfrían a una velocidad de 30° C por segundo y la proporción del volumen de metal de relleno está entre 4,3 y 11,5 %, la fractura se produce en la zona fundida y la resistencia mecánica a la rotura es de entre 1230 y 1270 MPa.

55

[0088] En cambio, cuando las preformas soldadas prensadas en caliente se enfrían a una velocidad de 30° C por segundo y la proporción del volumen de metal de relleno es del 14,7 %, la fractura se produce en el metal base con una resistencia mecánica de 1410 MPa.

[0089] Por lo tanto, una proporción de metal de relleno superior al 12 % permite obtener sistemáticamente una fractura fuera de la unión soldada, tanto en las zonas eficazmente enfriadas de la pieza prensada como en las zonas enfriadas de forma menos eficaz.

5

[0090] La figura 6 ilustra la localización de la fractura, o bien en el metal base según la etapa 45 o bien en la zona fundida según la etapa 46, cuando las uniones soldadas se someten a una tracción uniaxial perpendicular a la junta, en función de la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del metal base, a partir de los puntos experimentales (43, 44) presentados con referencia a la figura 5 e identificados respectivamente como 43a y 44b en la figura 6.

10

[0091] Se demuestra que, cuando esta relación es superior a 1,27 (línea D1), la fractura se produce sistemáticamente en el metal base a pesar de las modificaciones de templabilidad debidas a la presencia de aluminio en la zona fundida y de la velocidad de enfriamiento más lenta que resulta del contacto incompleto entre la pieza y la matriz. La figura 6 también muestra que, más allá de una relación de 1,59 (línea D2), surge una especial fragilidad.

15

[0092] Esta relación máxima de 1,59 entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del metal base también se obtiene determinando las condiciones críticas que llevan a la fractura brusca de una soldadura de estructura martensítica que tenga un defecto superficial, al ejercer la presión perpendicularmente al sentido de la soldadura.

20

[0093] Con ese fin, se considera el caso de dos láminas (11, 12), cuyo grosor w es de 3 mm, y de un defecto de tipo ranura en la zona fundida, cuya profundidad es del 10 % del grosor de las láminas (11, 22), es decir, una profundidad de 0,3 mm.

25

[0094] La expresión del factor de intensidad de tensión K_I expresado en $\text{MPa}\sqrt{m}$ es la siguiente:

$$K_I = k\sigma\sqrt{\pi a}$$

30 donde

- k es el factor de forma, determinado en particular partiendo de la relación a/w

- σ es la tensión aplicada a la soldadura, expresada en MPa, y

35

- a es la profundidad del defecto en cuestión, expresada en metros.

[0095] Para evaluar el factor de intensidad de tensión, se considera un caso de presión severa, en el que la tensión aplicada σ es igual al límite de elasticidad Re .

40

[0096] La tabla 2 que sigue refleja el límite de elasticidad Re y el factor de intensidad de tensión K_I de cuatro niveles de carbono en la zona fundida que varían entre 0,2 % y 0,4 % para una microestructura martensítica.

Tabla 2

45

	0,2 % C	0,3 % C	0,35 % C	0,4 % C
Re (MPa)	1200	1350	1425	1500
K_I ($\text{MPa}\sqrt{m}$)	41,3	46,4	49,0	51,6

[0097] La figura 9 muestra la variación del factor de intensidad de tensión crítica K_{IC} en función de la temperatura para contenidos de carbono que varíen entre 0,2 y 0,4 % y microestructuras martensíticas. La curva 60 refleja un contenido de carbono de 0,2 % C, la curva 61 un contenido de carbono de 0,3 % C, la curva 62 un contenido de carbono de 0,35 % C y la curva 63 un contenido de carbono de 0,4 % C.

50

[0098] Esta figura 9 presenta los valores del factor de intensidad de tensión K_I expresados en la tabla 2 para cada uno de los niveles de contenido de carbono, identificados respectivamente como 64 para un contenido de carbono de 0,2 % C, 65 para un contenido de carbono de 0,3 %, 66 para un contenido de carbono de 0,35 % y 67 para un contenido de carbono de 0,4 %.

55

[0099] Se evita por tanto el riesgo de fractura brusca de la soldadura a -50°C cuando la tenacidad K_{IC} a esta

temperatura es mayor que el factor de intensidad de tensión KI.

[0100] La figura 9 muestra que se cumple esta condición siempre que el contenido de carbono no supere el 0,35 %.

[0101] El resultado es un contenido de carbono máximo en la zona fundida de 0,35 %. Teniendo en cuenta una unión soldada realizada a partir de dos láminas de tipo acero 22MnB5, es decir, que contiene 0,22 % de carbono, el valor límite de la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono de la lámina de acero más allá de la cual hay riesgo de fractura brusca en la zona fundida es por tanto 1,59.

[0102] Además, el hecho de que la fractura se produzca siempre en el metal base más allá de este valor de 1,27 es inesperado, porque la tenacidad del metal fundido disminuye al aumentar el contenido de carbono. Combinado con el efecto de concentración de la tensión inevitable en la unión soldada, la fractura debería haberse producido en el metal fundido por falta de tenacidad con contenidos de carbono más elevados.

[0103] Con ese fin, se comparó el riesgo de fractura brusca en una soldadura a -50° C, como se determina en las condiciones anteriormente especificadas, con el riesgo de fractura brusca a esa misma temperatura en el metal base, teniendo éste un defecto en el grosor de su revestimiento metálico.

[0104] Se considera una microdefecto de 30 micrómetros de profundidad correspondiente al grosor del revestimiento de aleación metálica. Para un acero tipo 22MnB5 con un contenido de carbono de 0,22 %, el límite de elasticidad Re es de 1250 MPa. Si se ejerce una tensión sobre ese acero con un nivel de tensión igual a su límite de elasticidad, el factor de intensidad de tensión KI es de $13,6 \text{ MPa} \sqrt{m}$.

[0105] Al reflejar este último valor en la figura 9 con la referencia 68, se comprueba que, teóricamente, la rotura brusca debería producirse en la zona fundida y no en el metal base. Sin embargo, al contrario de lo esperado, los inventores comprobaron que, cuando la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del metal base está entre 1,27 y 1,59, la fractura se produce sistemáticamente en el metal base y no en la zona fundida. En resumen, los inventores concluyeron que el aumento del contenido de carbono en este intervalo específico permite aumentar las características de resistencia de la zona fundida de la pieza prensada en caliente sin degradación del riesgo de fractura brusca en la zona, un efecto inesperado.

[0106] Además, los inventores intentaron definir un método sencillo para definir la zona de la invención basándose en las características de dureza de la zona fundida y del metal base colindante en la parte prensada en caliente. La importante dureza de la zona fundida viene dada por su microestructura martensítica, que no contiene ferrita. Es sabido que la dureza de un acero de estructura martensítica depende principalmente de su contenido de carbono. Por consiguiente, es posible definir, a partir de los resultados anteriores, la relación Z entre la dureza de la zona fundida y la dureza del metal base colindante que debe respetarse.

[0107] En caso de soldar láminas de diferentes composiciones, C_{máx} corresponde al contenido de carbono de la lámina que tiene el contenido de carbono más elevado. En caso de soldar láminas idénticas, C_{máx} corresponde a su contenido de carbono. Se produce la fractura en el metal base al aplicar tensión en un unión soldada cuando la relación Z es mayor que el valor crítico dependiente de C_{máx}, es decir, $1,029 + (0,36 C_{máx})$.

[0108] Para la soldadura de láminas idénticas que contengan 0,22 % de carbono, se observa por tanto una fractura en el metal base cuando la relación Z es mayor de 1,108, es decir, cuando la dureza de la zona fundida supera en aproximadamente el 11 % a la dureza del metal base.

[0109] Respecto a la figura 7, las curvas 47 y 48 representan la evolución de la microdureza en la zona soldada y en las zonas colindantes a la zona soldada representada en las micrografías respectivas M1 y M2, con un porcentaje de volumen del metal de relleno del 15 % y con diferentes grosores de láminas soldadas.

[0110] Respecto a la curva 47, relativa a una velocidad de enfriamiento de 30° C por segundo, las mediciones de microdureza se efectuaron en el borde lateral de la zona fundida a mitad del grosor de la lámina más fina, como muestra en la micrografía M1 la línea de puntos X1.

[0111] En cuanto a la 48, relativa a una velocidad de enfriamiento de 50° C por segundo, las mediciones de microdureza se efectuaron en la parte inferior de la zona fundida a mitad del grosor de la lámina más fina, como muestra en la micrografía M2 la línea de puntos X2.

[0112] Respecto a la figura 8, las condiciones límite preferidas en cuanto al porcentaje del metal de relleno y de velocidad de soldadura para la composición específica del alambre de relleno anteriormente definida y que contiene 0,7 % de carbono son las englobadas por la zona rayada (50).

[0113] Esta zona (50) está delimitada por cuatro fronteras (51, 52, 53, 54).

- 5 **[0114]** La primera frontera (51) define el límite inferior del porcentaje de metal de relleno. El porcentaje de metal de relleno debe por lo tanto superar el 12 % para evitar que la zona soldada tenga unas características de resistencia mecánica demasiado débiles.
- 10 **[0115]** La segunda frontera (52) define el límite superior del porcentaje del metal de relleno. El porcentaje de metal de relleno debe por tanto ser inferior al 26 % puesto que, superado ese límite, la zona soldada presenta una fragilidad incompatible con las características requeridas.
- 15 **[0116]** La tercera frontera (53) define el límite inferior de la velocidad de soldadura. La velocidad de soldadura debe por tanto ser mayor de 3 metros por minuto para obtener una geometría satisfactoria del gránulo de soldadura y evitar fenómenos de oxidación.
- 20 **[0117]** Por último, la cuarta frontera (54) define el límite superior de la velocidad de soldadura y tiene forma de curva.
- 25 **[0118]** Esta cuarta frontera (54) se define a partir de los puntos experimentales (40, 41, 42) ya mencionados, en los que los puntos experimentales 42 corresponden a muestras en las que la mezcla de metal de relleno y metal base es insuficiente y/o la soldadura no penetra a una profundidad suficiente.
- 30 **[0119]** Además, la forma curvada de esta cuarta frontera (54) se estima en función de las exigencias de la operación de soldadura.
- 35 **[0120]** En efecto, la capacidad de la fuente de láser para fundir el alambre de relleno y dar lugar a una mezcla relativamente homogénea influye en el porcentaje máximo de metal de relleno y en la velocidad de soldadura.
- 40 **[0121]** En ese sentido, para una velocidad de soldadura de 4 metros por minuto, por ejemplo, el porcentaje de metal de relleno no debe superar el 25 %.
- 45 **[0122]** Para una velocidad de soldadura mayor, se limitará la proporción de metal de relleno.
- [0123]** En esta cuarta frontera (54), se estima la ecuación de la línea recta (55) que pasa por un primer punto (56) situado en la unión entre la parte superior de la cuarta frontera (54) y la segunda frontera (52), y por un segundo punto (57) localizado en la unión entre la parte inferior de la cuarta frontera (54) y la primera frontera (51).
- [0124]** La ecuación de esta línea recta (55) es $Y=3,86X+39,5$ donde Y es el porcentaje de metal de relleno y X es la velocidad de soldadura en metros por minuto.
- [0125]** Puede por tanto considerarse de forma aproximada que la cuarta frontera que definía el límite máximo de la velocidad de soldadura está definida por la línea recta (55) para una velocidad de soldadura mayor de 3,5 metros por minuto.
- [0126]** Por lo tanto, la invención hace posible fabricar económicamente piezas de estructura y de seguridad para el sector automotriz.

REIVINDICACIONES

1. Pieza de acero soldada, de características de resistencia mecánica muy altas, obtenida mediante un calentamiento en el ámbito austenítico seguido por la deformación en caliente, el enfriamiento de al menos una preforma soldada obtenida mediante soldadura alineada de al menos una primera y una segunda láminas formadas al menos en parte por un sustrato de acero y un prerrevestimiento constituido por una capa de aleación intermetálica en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica compuesta por una aleación de aluminio o a base de aluminio, **caracterizada porque** el entorno (36) inmediatamente contiguo a la zona fundida (35) resultante de la operación de soldadura y que constituye la unión entre la primera y la segunda láminas (11, 12) carece de la capa de aleación metálica (19, 20) al tiempo que cuenta con la capa de aleación intermetálica (17,18), **porque**, al menos en una porción de la zona fundida (35), la relación entre el contenido de carbono de la zona fundida y el contenido de carbono del sustrato (25,26) de la primera o de la segunda lámina (11,12), la que tenga el contenido de carbono $C_{m\acute{a}x}$ más alto, es de entre 1,27 y 1,59 **y porque** la composición del sustrato (25,26) de al menos la primera o la segunda lámina (11,12) consta de los siguientes contenidos expresados en peso:

15 $0,10 \% \leq C \leq 0,5 \%$

$0,5 \% \leq Mn \leq 3 \%$

20 $0,1 \% \leq Si \leq 1 \%$

$0,01 \% \leq Cr \leq 1 \%$

$Ti \leq 0,2 \%$

25 $Al \leq 0,1 \%$

$S \leq 0,05 \%$

30 $P \leq 0,1 \%$

$0,0002 \leq B \leq 0,010 \%$

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

35 2. Pieza de acero según la reivindicación 1, **caracterizada porque** la relación (Z) entre la dureza de la zona fundida (35) y la dureza del sustrato (25,26) de la primera o la segunda lámina (11,12), la que tenga el contenido de carbono ($C_{m\acute{a}x}$) más alto, es superior a $1,029 + (0,36 C_{m\acute{a}x})$, estando $C_{m\acute{a}x}$ expresado en porcentaje de peso.

40 3. Pieza de acero según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** la composición del sustrato (25,26) de al menos la primera o la segunda lámina (11,12) incluye, en peso:

45 $0,15 \% \leq C \leq 0,4 \%$

$0,8 \% \leq Mn \leq 2,3 \%$

$0,1 \% \leq Si \leq 0,35 \%$

50 $0,01\% \leq Cr \leq 1\%$

$Ti \leq 0,1 \%$

$Ti \leq 0,1 \%$

55 $Al \leq 0,1 \%$

$S \leq 0,03 \%$

60 $P \leq 0,05 \%$

$0,0005 \% \leq B \leq 0,010 \%$

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

65 4. Pieza de acero según la reivindicación 1 o 2, **caracterizada porque** la composición del sustrato

(25,26) de al menos la primera o la segunda lámina (11,12) incluye, en peso:

$0,15 \% \leq C \leq 0,25 \%$

5 0,8 % \leq Mn \leq 1,8 %

$0,1 \% \leq Si \leq 0,35 \%$

$0,01 \% \leq Cr \leq 0,5 \%$

10

Ti $\leq 0,1 \%$

Al $\leq 0,1 \%$

15 S $\leq 0,05 \%$

P $\leq 0,1 \%$

$0,0002 \% \leq B \leq 0,005 \%$

20

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

5. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizada porque** el contenido de carbono de la zona fundida (35) es inferior o igual al 0,35 % en peso.

25

6. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores **caracterizada porque** la capa de aleación metálica (17,18) del prerrevestimiento (15,16) contiene, en contenido expresado en peso, entre 8 y 11 % de silicio, entre 2 y 4 % de hierro y el resto está formado por aluminio e impurezas inevitables.

30 7. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la microestructura de la zona fundida (35) no contiene ferrita.

8. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la microestructura de la zona fundida (35) es martensítica.

35

9. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** la mencionada deformación en caliente de la preforma soldada se realiza mediante una operación de prensado en caliente.

40 10. Pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada porque** los respectivos bordes (23,24) de las periferias (21,22) de la primera (11) y de la segunda (12) lámina destinadas a ser soldadas carecen de aluminio o aleación de aluminio.

11. Procedimiento de fabricación de una pieza de acero soldada según cualquiera de las reivindicaciones

45 1 a 10, **caracterizado porque** incluye sucesivas etapas por las que:

- se necesitan al menos una primera (11) y una segunda (12) láminas de acero formadas por un sustrato de acero (25,26) y un prerrevestimiento (15,16) formado por una capa de aleación intermetálica (17,18) en contacto con el sustrato de acero, cubierta por una capa de aleación metálica (19,20) hecha de una aleación de aluminio o a base de aluminio, y en las cuales al menos una cara (13a,13b ;14a,14b) de una parte de un borde periférico (21,22) de cada una de la primera (11) y de la segunda (12) láminas de acero destinadas a la operación de soldadura está desprovista de dicha capa de aleación metálica (19,20) pero conserva la capa de aleación intermetálica (17,18) y en las cuales los respectivos cantos (23,24) de los bordes periféricos (21,22) de estas primera (11) y segunda (12) láminas destinadas a sufrir la operación de soldadura están desprovistas de aluminio o aleación de aluminio cuya presencia puede ser resultado de una operación previa de corte de cada una de las primera (11) y segunda (12) láminas.

50

- se sueldan entonces la primera (11) y la segunda (12) láminas de acero por los respectivos bordes periféricos (21, 22) de estas primera (11) y segunda (12) láminas de acero desprovistas de la capa de aleación metálica (19, 20) por medio de una fuente láser (30) y, utilizando un alambre de metal de relleno (32) al menos en una parte de la longitud de la zona soldada, al tener el alambre de relleno (32) un contenido de carbono superior al del sustrato (25, 26) de al menos una de las dos láminas (11,12).

60

- se obtiene una preforma soldada (37) en la cual el contenido de carbono de la zona fundida (35) resultante de la operación de soldadura y que constituye la unión entre la primera (11) y la segunda (12) láminas está entre 1,27 y 1,59 veces el contenido de carbono del sustrato (25, 26) de la lámina (11, 12) que tiene el contenido de carbono más elevado.

65

- se calienta dicha preforma soldada (37) para proporcionar una estructura totalmente austenítica en la zona fundida

(35) y

- entonces se da forma en caliente a dicha preforma soldada (37) y se calienta el resultado para obtener una pieza de acero

- esta pieza de acero se enfría a una velocidad controlada para obtener las características de resistencia mecánica especificada,

y **porque** la composición del sustrato (25,26) de al menos la primera o la segunda lámina (11,12) incluye, en peso:

0,10 % ≤ C ≤ 0,5 %

10

0,5 % ≤ Mn ≤ 3 %

0,1 % ≤ Si ≤ 1 %

15 0,01 % ≤ Cr ≤ 1 %

Ti ≤ 0,2 %

Al ≤ 0,1 %

20

S ≤ 0,05 %

P ≤ 0,1 %

25 0,0002 % ≤ B ≤ 0,010 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

12. Procedimiento según la reivindicación 11, **caracterizada porque** las caras opuestas (13a, 13b, 14a, 14b) de los respectivos bordes periféricos (21,22) de la primera (11) y segunda (12) láminas de acero están desprovistas de la capa de aleación metálica (19,20) pero conservan la capa de aleación intermetálica (17,18).

13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 y 12, **caracterizado porque** la anchura de la zona desprovista de la capa de aleación metálica (19,20) en el borde periférico (21,22) de la primera (11) y de la segunda (12) láminas destinado a la operación de soldadura está entre 0,2 y 2,2 milímetros.

14. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado 12 a 14, **caracterizado porque** la composición del sustrato (25,26) al menos de la primera o de la segunda láminas (11,12) contiene, en peso:

40

0,15 % ≤ C ≤ 0,4 %

0,8 % ≤ Mn ≤ 2,3 %

45 0,1 % ≤ Si ≤ 0,35 %

0,01 % ≤ Cr ≤ 1 %

Ti ≤ 0,1 %

50

Al ≤ 0,1 %

S ≤ 0,03 %

55 P ≤ 0,05 %

0,0005 % ≤ B ≤ 0,010 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

60

15. Procedimiento según la reivindicación 13, **caracterizado porque** la composición del sustrato (25,26) al menos de la primera o de la segunda láminas (11,12) contiene en peso:

65 0,15 % ≤ C ≤ 0,25 %

0,8 % ≤ Mn ≤ 1,8 %

0,1 % ≤ Si ≤ 0,35 %

0,01 % ≤ Cr ≤ 0,5 %

5

Ti ≤ 0,1 %

Al ≤ 0,1 %

10 S ≤ 0,05 %

P ≤ 0,1 %

0,0002 % ≤ B ≤ 0,005 %

15

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

16. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, **caracterizado porque**, en la etapa de soldadura, los bordes periféricos (21, 22) que se soldarán de la primera (11) y de la segunda (12) láminas de acero se colocan a una distancia máxima de 0,1 mm una de otra:

17. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16, **caracterizado porque** la energía lineal de soldadura de la citada fuente de láser durante la operación de soldadura es superior a 0,3 kJ/cm.

25 18. Procedimiento según la reivindicación 17, **caracterizado porque** la fuente de láser es o bien de tipo láser de gas CO₂, que suministra una energía de soldadura lineal superior a 1,4 kJ/cm, o bien de tipo láser de estado sólido, que suministra una energía de soldadura lineal superior a 0,3 kJ/cm.

19. Procedimiento según cualquiera de reivindicaciones 17 y 18, **caracterizado porque** la velocidad de soldadura es de entre 3 metros/minuto y 8 metros/minuto y la energía del láser de gas CO₂ es superior o igual a 7 kW y la energía del láser de estado sólido es superior o igual a 4 kW.

20. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 19, **caracterizado porque** la etapa de soldadura se realiza con una protección gaseosa de helio y/o argón.

35

21. Procedimiento según la reivindicación 20, **caracterizado porque** el caudal de helio y/o argón durante la etapa de soldadura es superior o igual a 15 litros por minuto.

22. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 21, **caracterizado porque** el alambre de relleno tiene unos contenidos en peso de:

40

0,6 % ≤ C ≤ 1,5 %

1 % ≤ Mn ≤ 4 %

45

0,1 % ≤ Si ≤ 0,6 %

Cr ≤ 2 %

50 Tri ≤ 0,2 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

23. Procedimiento según la reivindicación 22, **caracterizado porque** el alambre de relleno contiene en peso:

55

0,65 % ≤ Cl 0,75 %

1,95 % ≤ Mn ≤ 2,05 %

60

0,35 % ≤ Si ≤ 0,45 %

0,95 % ≤ Cr ≤ 1,05 %

65 0,15 % ≤ Ti ≤ 0,25 %

siendo el resto hierro e impurezas inherentes a la elaboración.

24. Procedimiento según la reivindicación 23, **caracterizado porque** la proporción de metal de relleno en relación con el volumen de la zona fundida (35) está entre el 12 % y el 26 % y la velocidad de soldadura está comprendida entre 3 y 7 metros por minuto.
25. Procedimiento según la reivindicación 24, **caracterizado porque** el par compuesto por dicha proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida y a la velocidad de soldadura se sitúa dentro del intervalo ilustrado en la figura 8.
- 10 26. Procedimiento según la reivindicación 25, **caracterizado porque** el par compuesto por dicha proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida y a la velocidad de soldadura cumple los siguientes requisitos combinados:
- 15 - la proporción de metal de relleno con relación al volumen de la zona fundida (35) es de entre 12 % y 26 % y
- la velocidad de soldadura es de entre 3 y 7 metros por minuto, y
- cuando la velocidad de soldadura es superior a 3,5 metros por minuto, el par compuesto por la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida (35) y la velocidad de soldadura es tal que $Y \leq -3,86X + 39,5$, donde Y indica la proporción de metal de relleno expresada en porcentaje de volumen y X indica la velocidad de soldadura en metros por minuto.
- 20 27. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 24 a 26, **caracterizado porque** la proporción de metal de relleno respecto al volumen de la zona fundida (35) es de entre 14 y 16 %, el caudal de helio y/o argón es de entre 13 y 17 litros por minuto, el diámetro en el punto de impacto en la lámina del haz de láser (30) es de entre 500 y 700 micrómetros, y el extremo (32a) del alambre de relleno (32) está a una distancia del punto de impacto del haz de láser en la lámina de entre 2 y 3 mm.
- 30 28. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 27, **caracterizado porque** la velocidad de enfriamiento de la zona fundida (35) durante la etapa de formación en caliente es superior o igual a la velocidad crítica de temple martensítico de la citada zona fundida (35).
- 35 29. Utilización de la pieza de acero según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad para vehículos, en especial automotrices.

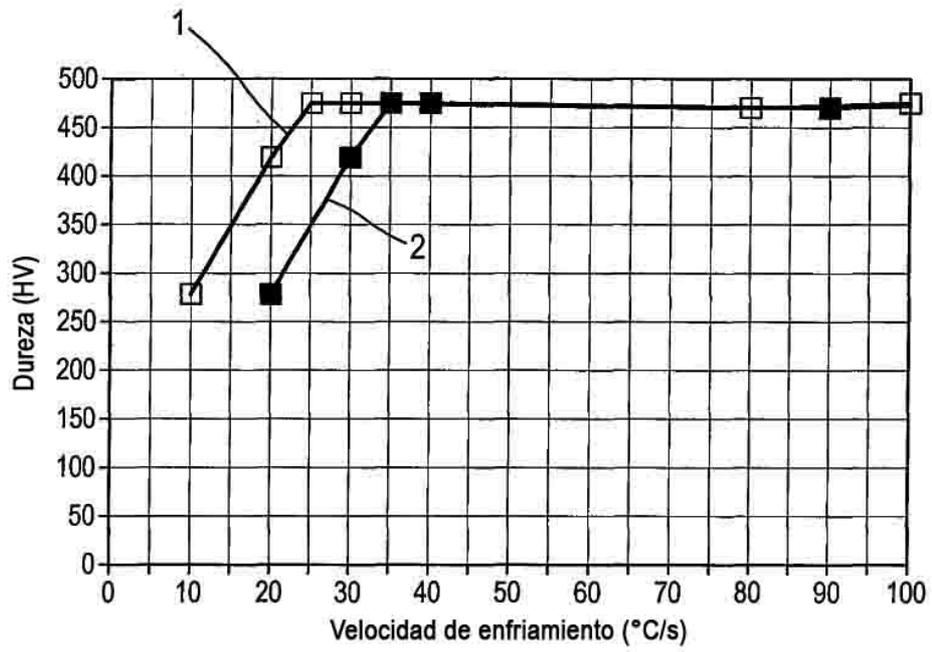


FIG. 1

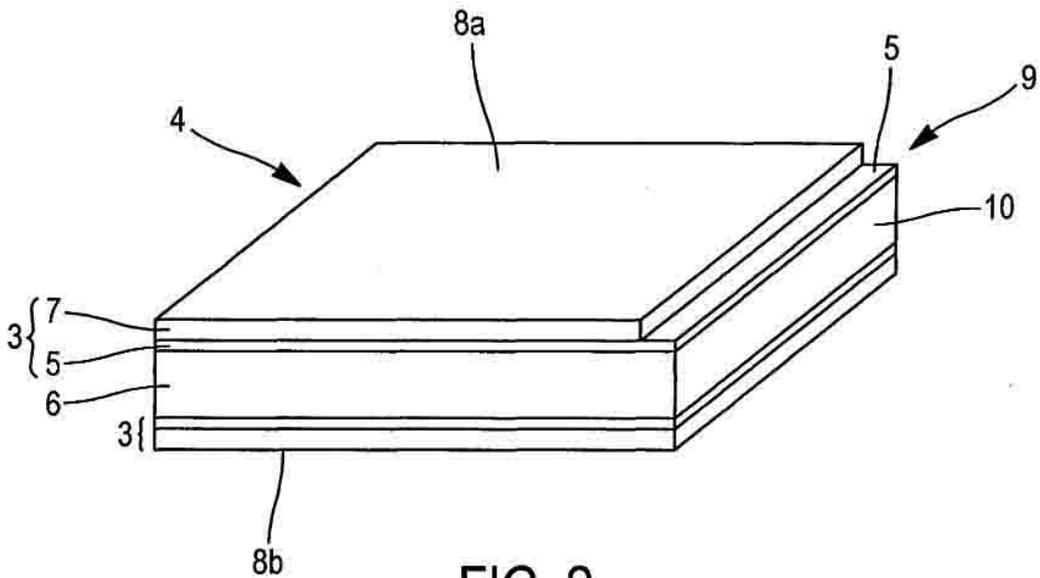


FIG. 2

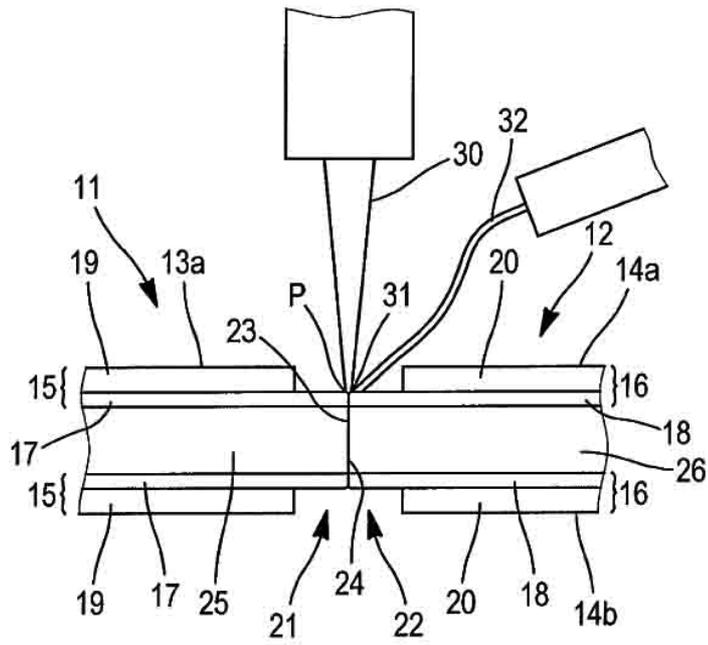


FIG. 3

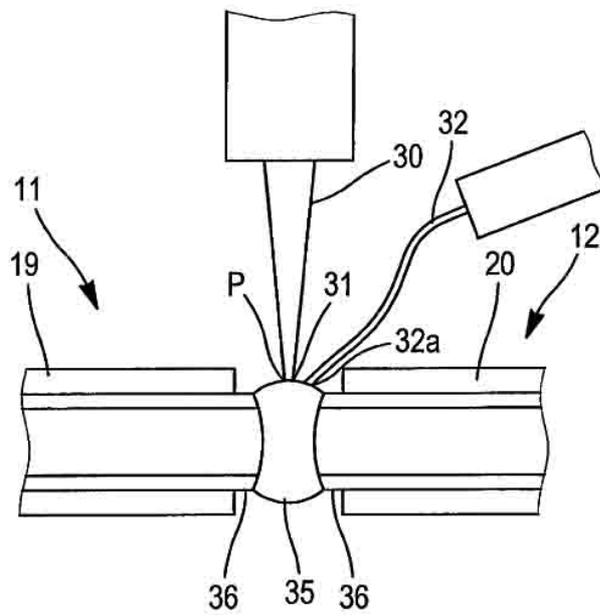


FIG. 4

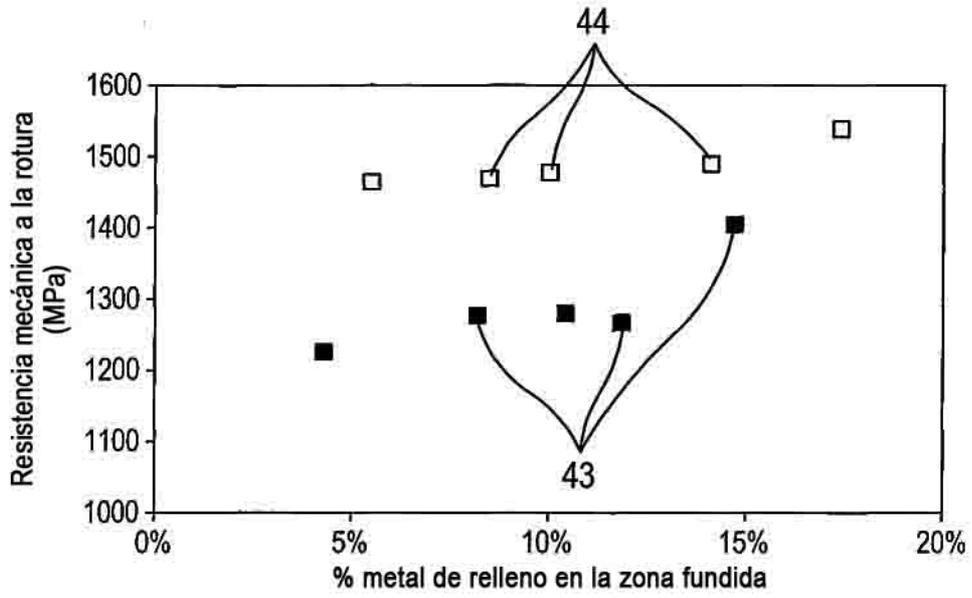


FIG. 5

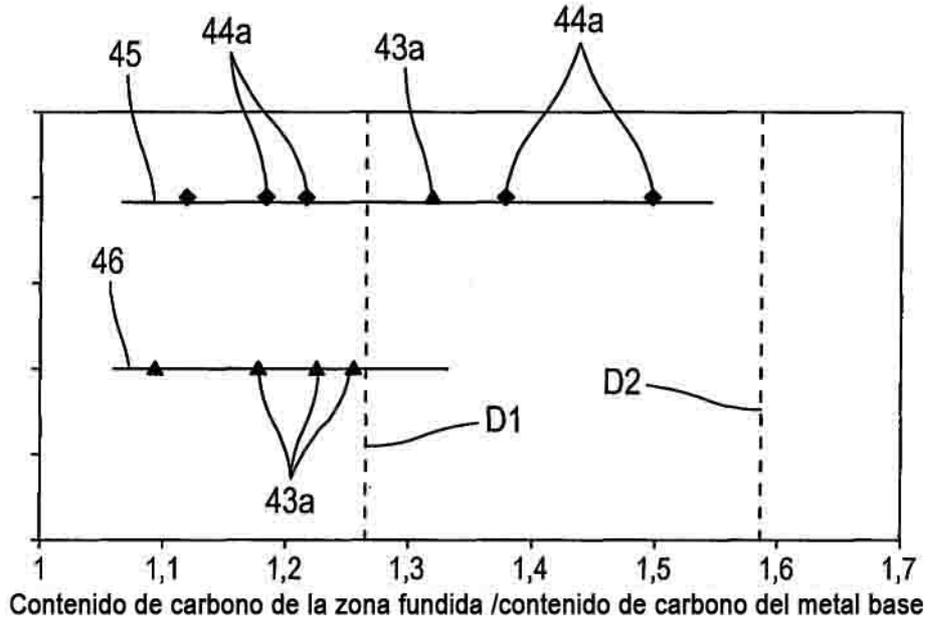


FIG. 6

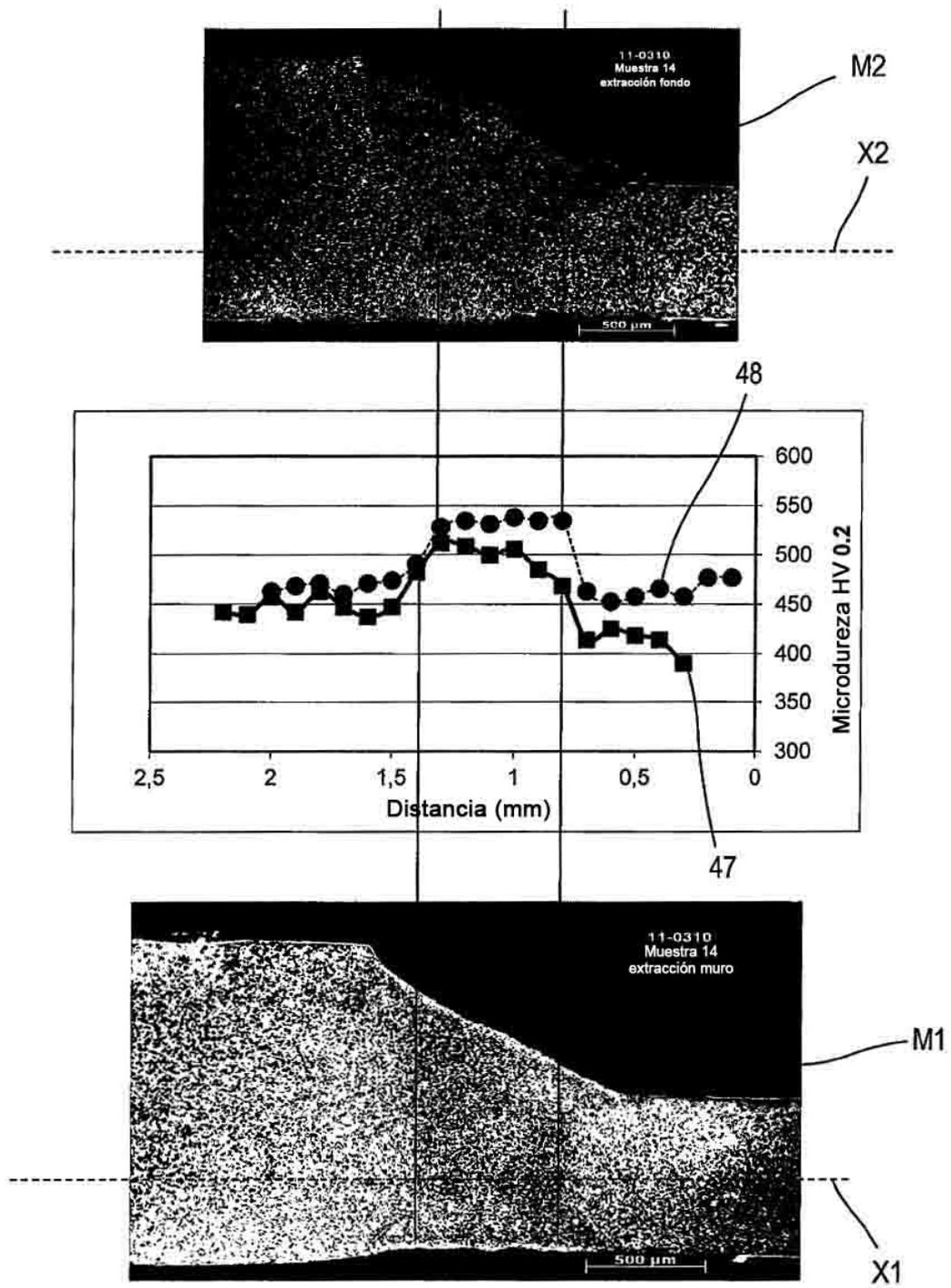


FIG. 7

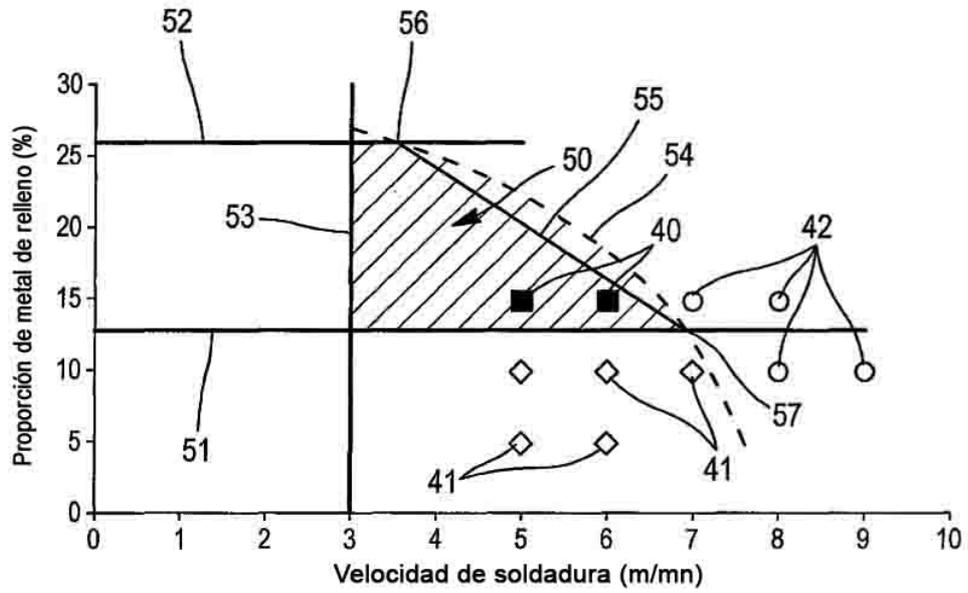


FIG. 8

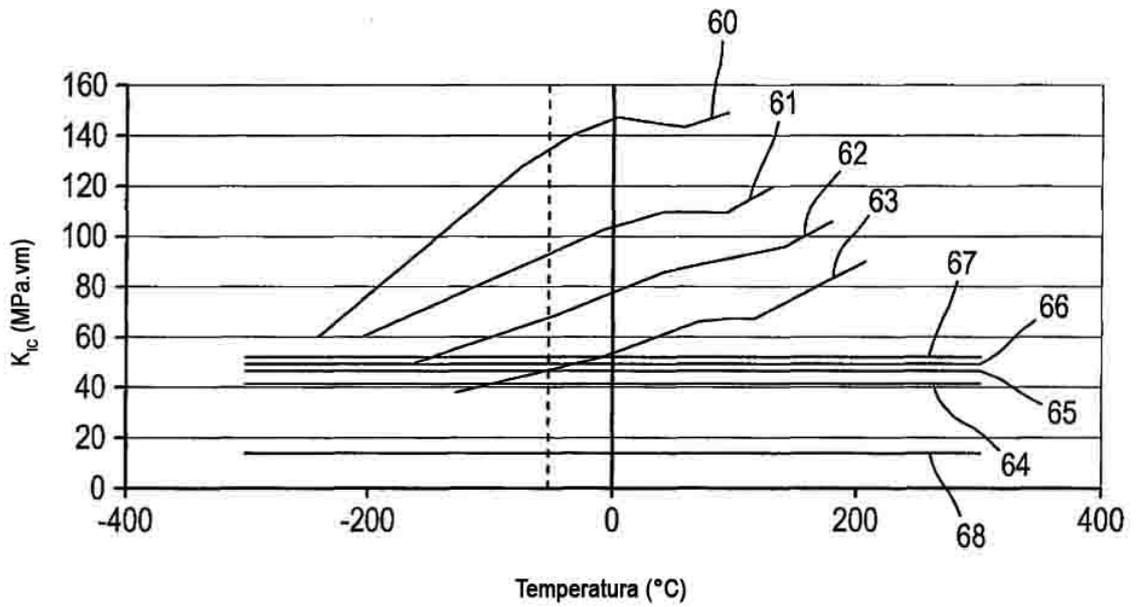


FIG. 9