

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 645 731**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2014 PCT/IB2014/001366**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.01.2015 WO15011547**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2014 E 14772433 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.09.2017 EP 3052672**

54 Título: **Unión soldada por puntos con alta resistencia y alta capacidad de conformación y procedimiento para su producción**

30 Prioridad:
25.07.2013 WO PCT/IB2013/001609

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.12.2017

73 Titular/es:
**ARCELORMITTAL (100.0%)
24-26 Boulevard d'Avranches
1160 Luxembourg, LU**

72 Inventor/es:
**PERLADE, ASTRID;
VIGNIER, SAMUEL;
KEGEL, FRÉDÉRIC y
ARLAZAROV, ARTEM**

74 Agente/Representante:
SALVA FERRER, Joan

ES 2 645 731 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

Unión soldada por puntos con alta resistencia y alta capacidad de conformación y procedimiento para su producción.

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a una unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero en la que al menos una de las chapas presenta un límite elástico superior o igual a 600 MPa, una resistencia a la rotura por tracción superior o igual a 1000 MPa y un alargamiento uniforme superior o igual al 15%.
- 10 **[0002]** En la industria automovilística, en particular, hay una constante necesidad de aligerar los vehículos y aumentar la seguridad utilizando y uniendo aceros ligeros o aceros que presentan una alta resistencia a la tracción para compensar su menor espesor. Por tanto, se han propuesto varias familias de aceros como los mencionados más adelante que ofrecen diversos grados de resistencia.
- 15 **[0003]** En primer lugar, se han propuesto aceros que poseen elementos de microaleación cuyo temple se lleva a cabo de manera simultánea por precipitación y mediante el refinamiento del tamaño de grano. La obtención de dichos aceros ha venido seguida por otros con mayor resistencia, denominados aceros de alta resistencia avanzados, que mantienen buenos grados de resistencia junto con una buena conformabilidad en frío.
- 20 **[0004]** Para obtener grados aún más altos de resistencia a la tracción, se han creado aceros que presentar un comportamiento TRIP (plasticidad inducida por transformación) con combinaciones de propiedades muy ventajosas (deformabilidad/resistencia a la tracción). Estas propiedades están relacionadas con la estructura de dichos aceros, que consiste en una matriz ferrítica que contiene bainita y austenita residual. La austenita residual se estabiliza mediante una adición de silicio o aluminio, los cuales retardan la precipitación de carburos en la austenita y en la bainita. La presencia de austenita residual mejora el comportamiento dúctil. Bajo el efecto de una posterior
25 deformación, por ejemplo cuando se somete a una tensión uniaxial, la austenita residual de una parte formada por acero TRIP se transforma progresivamente en martensita, lo cual da lugar a un considerable temple y al retardo en la aparición de estricciones.
- 30 **[0005]** Para lograr una resistencia a la tracción aún más alta, es decir, de un grado superior a los 800-1000 MPa, se han creado aceros multifásicos con una estructura predominantemente bainítica. Dichos aceros se utilizan ventajosamente en la industria automovilística o en la industria en general, para fabricar piezas estructurales como traviesas de parachoques, columnas, diversos refuerzos y piezas de desgaste resistentes a la abrasión. No obstante, la conformabilidad de estas piezas requiere, simultáneamente, un alargamiento suficiente, mayor del 10%, y una relación de límite elástico/resistencia a la tracción no demasiado elevada, con el fin de disponer de una
35 reserva suficiente de plasticidad.
- 40 **[0006]** Todas estas chapas de acero presentan unos equilibrios entre resistencia y ductilidad relativamente buenos, pero surgen nuevos desafíos a la hora de ensamblar estas chapas mediante, por ejemplo, técnicas convencionales de soldadura por puntos. A partir de aquí, se necesitan nuevos conceptos que presenten una alta resistencia y una alta conformabilidad, y que al mismo tiempo se puedan soldar mediante técnicas de soldadura existentes.
- 45 **[0007]** Con el fin de reducir el peso de la carrocería desnuda, la solicitud europea EP1987904 tiene como objetivo proporcionar un producto de unión de un producto de acero y un material de aluminio, y un procedimiento de soldadura por puntos para el producto de unión, que garantice que se pueda llevar a cabo la soldadura por puntos con una elevada fuerza de ligazón. En una realización, se unen entre sí un producto de acero con un grosor de chapa t_1 de 0,3 a 3,0 mm y un material de aluminio con un grosor de chapa t_2 de 0,5 a 4,0 mm mediante una soldadura por puntos para formar un producto de unión de un producto de acero y un producto de aluminio. En este producto de unión, el área de la lenteja en la parte de unión va desde $20 \times t_2^{0.5}$ a $100 \times t_2^{0.5}$ mm², el área de la parte
50 en la que el grosor de la capa de reacción de la superficie de contacto va desde 0,5 a 3 μ m es de $10 \times t_2^{0.5}$ mm² o más, y la diferencia entre el grosor de la capa de reacción de la superficie de contacto en el centro de la parte de unión y el grosor de la capa de reacción de la superficie de contacto en un punto alejado del centro de la parte de unión una distancia de un cuarto del diámetro de la unión D_c es de 5 μ m o menos. De acuerdo con esta construcción, se proporciona un producto de unión de materiales distintos con una excelente fuerza de ligazón, que
55 se puede formar mediante un aparato de soldadura por puntos existente a un bajo coste y sin utilizar otros materiales, como por ejemplo un material revestido. Esto se realiza sin añadir una etapa distinta y un procedimiento de soldadura por puntos para el producto de unión de materiales diferentes. Dicho procedimiento conlleva la soldadura de una chapa de acero y otra de aluminio, y la resistencia de los materiales de la unión presentará una zona blanda en el lado del aluminio en comparación con el de acero.

[0008] La solicitud de patente de EE. UU. US2012141829 propone unión soldada por puntos que incluye al menos una plancha delgada de acero con una resistencia a la tracción de 750 MPa a 1850 MPa y un equivalente de carbono C_{eq} igual o superior a entre 0,22% de la masa y 0,55% de la masa y en el que se forma una lenteja en una superficie de contacto de las planchas delgadas de acero. En la zona de la capa externa de la lenteja, una microestructura consiste en una estructura dendrítica en la que un valor medio de intervalos de los brazos es igual o inferior a 12 μm , un diámetro medio de grano de los carburos contenidos en la microestructura es de 5 nm a 100 nm y una densidad numérica de carburos es igual o superior a $2 \times 10^6/\text{mm}^2$. Dicha aplicación no va dirigida a aceros de tercera generación, sino únicamente a los de tipo convencional. Además, en el documento EP 2703512 A1, se describe una plancha de acero multifase ligero de alta resistencia con alto contenido de Mn y Al, que presenta unas propiedades particulares, y su fabricación. Ninguna de las técnicas anteriores mencionadas se enfrentaban ni ofrecían una solución al desafío que supone la soldadura de aceros con cantidades no convencionales de elementos de aleación en los aceros, que continúa sin ser resuelto.

15 **[0009]** La presente invención se refiere a una unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero, en las que al menos una de las chapas de acero es una chapa de acero aleado con aluminio que presenta:

- Un límite elástico superior o igual a 600 MPa.
 - Una resistencia a la tracción superior o igual a 1000 MPa.
- 20 - Un alargamiento uniforme superior o igual al 15%.

Estando la unión caracterizada por:

- Una zona fundida que contiene al menos un 05% en peso de Al y una fracción superficial de áreas segregadas gruesas inferior al 1%. Las áreas segregadas gruesas se definen como zonas con un tamaño superior a $20\mu\text{m}^2$ que contienen al menos el contenido nominal de fósforo del metal base.
- De forma opcional, una microestructura de la zona fundida que contiene una densidad de carburos de hierro mayores de 50nm igual o superior a 2×10^6 por mm^2 .
- De forma opcional, una microestructura en el límite entre la zona fundida y el acero de acuerdo con la invención no posee martensita 18R en el interior de los granos ferríticos.

Otro objetivo de la invención consiste en proporcionar un procedimiento para realizar dicha unión soldada con un acero que se puede laminar en frío fácilmente hasta obtener su grosor final, que a la vez resulta compatible con las habituales líneas de recocido continuo y que posee una baja sensibilidad a los parámetros del procedimiento.

35 **[0010]** La invención tiene, como primer objeto, una unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero, siendo al menos una de ellas un acero aleado con aluminio, que comprende, en porcentaje en peso:

- 40 $0,05 \leq C \leq 0,21\%$
- $4,0 \leq \text{Mn} \leq 7,0\%$
- $0,5 \leq \text{Al} \leq 3,5\%$
- 45 $\text{Si} \leq 2,0\%$
- $\text{Ti} \leq 0,2\%$
- 50 $\text{V} \leq 0,2\%$
- $\text{Nb} \leq 0,2\%$
- $\text{P} \leq 0,025\%$
- 55 $\text{B} \leq 0,0035\%$
- $\text{S} \leq 0,004\%$

El resto de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, dicho acero

presenta un límite elástico superior o igual a 600 MPa, una resistencia a la rotura por tracción superior o igual a 1000 MPa y una elongación uniforme superior o igual al 15%, la microestructura de dicho acero contiene del 20% al 50% de austenita, del 40% al 80% de ferrita recocida, menos del 25% de martensita y la unión soldada por puntos está caracterizada por una microestructura de la zona fundida que contiene más del 0,5% de Al y que contiene una fracción superficial de áreas segregadas gruesas inferior al 1%. Las áreas segregadas gruesas se definen como zonas mayores de 20 μm^2 que contienen fósforo en una cantidad superior al contenido de fósforo del acero.

5 **[0011]** En otra realización preferida, la composición química de dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de aluminio tal que $1,0 \leq \text{Al} \leq 3,0\%$, o incluso $1,0 \leq \text{Al} \leq 2,5\%$.

10 **[0012]** Preferentemente, la composición química de dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de silicio tal que $\text{Si} \leq 1,5\%$ o incluso $\text{Si} \leq 1,0\%$.

15 **[0013]** En una realización preferida, la microestructura de dicho acero aleado con aluminio contiene entre el 50% y el 70% de ferrita recocida.

[0014] En una realización preferida, dicho acero aleado con aluminio presenta menos de un 20% de martensita.

20 **[0015]** Preferentemente, la densidad de carburos de hierro mayores de 50 nm es igual o superior a 2×10^6 por mm^2 en la zona fundida de la unión soldada por puntos.

25 **[0016]** Preferentemente, la microestructura en el límite entre la zona fundida y el acero de acuerdo con la invención no posee martensita 18R con fase ortorrómbica acicular en el interior de los granos ferríticos.

[0017] La invención también tiene como objeto un conjunto de dos chapas de acero que incluye una unión soldada por puntos de acuerdo con la invención.

30 **[0018]** La invención tiene como segundo objeto un procedimiento para producir la unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero, siendo al menos una de ellas una chapa de acero aleado con aluminio, producida mediante:

- la colada de acero aleado con aluminio con una composición de acuerdo con la presente invención con el fin de obtener una plancha,

35 - recalentamiento de la plancha a una temperatura $T_{\text{recalentamiento}}$ entre 1150 °C y 1300 °C,

40 - laminado en caliente de la plancha recalentada con una temperatura entre 800 °C y 1250 °C para obtener un acero laminado en caliente, produciéndose la última pasada del laminado en caliente a una temperatura T_{up} superior o igual a 800 °C,

- enfriamiento del acero laminado en caliente entre 1 y 150 °C/s hasta una temperatura T_{bobinado} inferior o igual a 650 °C,

45 - a continuación, bobinado del acero laminado en caliente enfriado a T_{bobinado} .

- De forma opcional, el acero laminado en caliente se somete a un recocido por lotes a entre 400 °C y 600 °C durante entre 1 y 24 horas, o a un recocido continuo a entre 650 °C y 750 °C durante entre 20 y 180 s.

50 - La invención también tiene como objeto un procedimiento para obtener el acero directamente mediante una máquina de colada en la que el producto se lamina tras la colada. Este procedimiento se denomina "colada de planchas delgadas".

A continuación:

55 - decapado de la chapa de acero laminado en caliente,

- laminado en frío de la chapa de acero con una relación de laminado en frío de entre el 30% y el 70%, con el fin de obtener una chapa de acero laminada en frío,

- calentamiento de la chapa de acero a una velocidad de calentamiento $C_{velocidad}$ al menos igual a 1 °C/s hasta la temperatura de recocido $T_{recocido}$,

5 - recocido del acero a una temperatura $T_{recocido}$ entre $T_{mín}$ y $T_{máx}$ definidas por

$$T_{mín} = 721 - 36 \cdot C - 20 \cdot Mn + 37 \cdot Al + 2 \cdot Si \text{ (en } ^\circ\text{C)}$$

$$T_{máx} = 690 + 145 \cdot C - 6,7 \cdot Mn + 46 \cdot Al + 9 \cdot Si \text{ (en } ^\circ\text{C)},$$

10

durante un periodo de entre 30 y 700 segundos,

- enfriamiento de la chapa de acero a una velocidad de enfriamiento preferentemente entre 5 °C/s y 70 °C/s, y corte del acero laminado en frío para obtener una chapa de acero laminado en frío,

15

- soldadura de al menos una de las chapas de acero laminadas en frío con otro metal con una intensidad eficaz de entre 3 kA y 15 kA y una fuerza aplicada en los electrodos de entre 150 y 850 daN, teniendo dicha cara activa de electrodo un diámetro de entre 4 y 10 mm.

20 - De forma opcional, la chapa de acero se enfría a $V_{enfriamiento2}$ hasta una temperatura T_{OA} de entre 350 °C y 550 °C y se mantiene a T_{OA} durante un tiempo de entre 10 y 300 segundos con el fin de aplicarle un revestimiento por inmersión en caliente,

25 - la chapa de acero se sigue enfriando a una velocidad de enfriamiento $V_{enfriamiento3}$ preferentemente superior a 5 °C/s e inferior a 70 °C/s hasta alcanzar la temperatura ambiente para obtener una chapa de acero laminado en frío y recocido.

[0019] De forma opcional, el acero laminado en frío y recocido se temple a una temperatura T_{temple} entre 170 y 400 °C durante un tiempo t_{temple} entre 200 y 800 s. En una realización preferida, la chapa de acero laminada en frío de acuerdo con la invención, tras el recocido, se recubre con Zn o una aleación de Zn.

[0020] En otra realización, la chapa de acero laminada en frío de acuerdo con la invención, tras el recocido, se recubre con Al o una aleación de Al.

35 De forma opcional, la unión soldada por puntos de acuerdo con la invención se somete, tras la soldadura, a un posttratamiento térmico que se aplica con una intensidad de entre el 60% y el 90% de la intensidad de soldadura durante un tiempo de entre 0,1 y 0,2 segundos.

[0021] Las chapas de acero o el conjunto de dos chapas de acero soldadas de acuerdo con la invención se pueden utilizar para producir piezas estructurales para carrocerías de vehículos en la industria automovilística.

40

[0022] Otras características y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto a través de la siguiente descripción detallada. Las figuras se presentan a modo de ejemplo y no se deben considerar como limitaciones del alcance de la presente invención. En ellas:

45 - La figura 1 ilustra la evolución de la dureza de los materiales B1, C1, E1 y F1 laminados en caliente.

- La figura 2 ilustra las propiedades de tracción de los materiales B1, C1, E1 y F1 laminados en caliente.

- La figura 3 ilustra las propiedades de tracción de los materiales B1, C1, E1 y F1 laminados en frío antes del recocido.

- La figura 4A muestra las propiedades de tracción de los materiales B1, C1, E1 y F1 laminados en frío y recocidos.

50 - La figura 4B muestra las propiedades de tracción de los materiales G1, H1, H2, H3 y 12 laminados en frío y recocidos.

- La figura 5 muestra las micrografías de barrido de electrones de la zona fundida después del ataque con nital y el análisis de las imágenes, en las que se destaca el efecto del contenido de aluminio en las partículas de cementita (en blanco) en la microestructura para los conjuntos A+A, B+B, C+C y E+E, tal como se detalla en la tabla 5.

55 - La figura 6 muestra la fuerza de soldadura heterogénea caracterizada por la muestra de tracción en cruz (A, B, C, E y F soldados con J).

- La figura 7 ilustra el coeficiente CTS en función del contenido de Al (A, B, C, E y F soldados con J para soldadura heterogénea).

- La figura 8 muestra el intervalo de soldadura para soldadura homogénea (A, B, C, E y F).

- La figura 9 muestra el intervalo de soldadura para soldadura heterogénea (A, B, C, E y F soldados con J).
- La figura 10 muestra los resultados de cizalla por tracción y tensión para soldadura heterogénea (A, B, C, E y F soldados con J).
- La figura 11 muestra las micrografías de uniones soldadas por puntos con un acero aleado con aluminio que contiene un 2,9% y un 3,9% de Al (soldaduras por puntos E+E y F+F, tal como se detalla en la tabla 5) y una ilustración de la martensita 18R.
- La figura 12 muestra los exámenes de microdureza para una soldadura por puntos homogénea (A, B, C, E y F).
- La figura 13 muestra los exámenes de microdureza para una soldadura por puntos heterogénea en la que se utiliza un acero aleado con aluminio y un típico acero bifásico de 600 MPa de resistencia (A, B, C, E y F soldados con J).
- La figura 14 ilustra el efecto del contenido de aluminio en la zona fundida sobre la dureza (A, B, C, E y F soldados con J para soldadura heterogénea).
- La figura 15 muestra los modos de fallo en función del contenido de Al de un acero aleado con aluminio desde el 1% al 4% (de izquierda a derecha) para B, C, E y F.
- La figura 16A muestra las relaciones de botón en soldadura heterogénea para los ejemplos A, B, C, E y F soldados con J.
- La figura 16B muestra las relaciones de botón en soldadura homogénea, para los ejemplos G y H.
- La figura 17 ofrece una descripción esquemática de los ensayos de cizalladura por tracción y de tracción en cruz utilizados para caracterizar la resistencia de la soldadura por puntos.
- La figura 18 ofrece un ejemplo no limitativo de una relación de botón y una geometría de la zona fundida entre un acero aleado con aluminio de acuerdo con la invención y un acero bifásico 600 (DP). H es la altura de MZ, PD es el diámetro del botón, MZ-D es el diámetro de MZ, siendo MZ la zona fundida.
- La figura 19 muestra las imágenes de análisis con microsonda con un umbral en el contenido nominal de P que muestra el efecto del Al en la segregación de P para A, C, B y E.
- Las figuras 20A y B ilustran la fracción superficial de áreas con un contenido de P mayor que el contenido nominal de P en función de su tamaño, dedicándose la figura 20A para los ejemplos A, B, C y E, mientras que la figura 2B de dedica a G y H.
- La figura 21 muestra la evolución de la fracción superficial de las áreas mayores de 10 μm^2 con un contenido de P mayor que el contenido nominal de P en la zona fundida en función del contenido de Al para A, B, C y E.
- Las figuras 22A y B ilustran el coeficiente CTS en función del contenido de Al con o sin postratamiento térmico: A para los ejemplos A, B, C, E y F en la soldadura homogénea y B para los ejemplos A, B, C, E y F soldados con J.

[0023] La presente invención se refiere a una unión soldada por puntos de dos chapas de acero en las que al menos una de las chapas de acero, denominada de acero aleado con aluminio, presenta un límite elástico superior o igual a 600 MPa, una resistencia a la rotura por tracción superior o igual a 1000 MPa y un alargamiento uniforme superior o igual al 15%. La composición química del metal base comprende más del 0,5% de Al, lo que la hace fácil de soldar y laminar en frío para obtener el grosor final escogido. Para llevarla a cabo, es muy importante la composición química, así como los parámetros de recocido, con el fin de lograr todos los objetivos. Los siguientes elementos de la composición química se indican en porcentajes en peso.

[0024] De acuerdo con la invención, el contenido de carbono se encuentra entre el 0,05 y el 0,21%. El carbono es un elemento gammágeno. Favorece, con el contenido de Mn de la invención, la estabilización de la austenita. Por debajo del 0,05%, es difícil lograr la resistencia a la tracción superior a 100 MPa. Si el contenido de carbono es superior al 0,21%, la aptitud para el laminado en frío disminuye y la soldabilidad se ve mermada. Preferentemente, el contenido de carbono se encuentra entre el 0,10% y el 0,21%.

[0025] El manganeso debe estar entre el 4,0% y el 7,0%. Este elemento, que también es un estabilizador de la austenita, se utiliza para estabilizar la suficiente cantidad de austenita en la microestructura. También presenta un temple en solución sólida y un efecto de refinado en la microestructura. Para un contenido de Mn inferior al 4,0%, la fracción austenítica retenida en la microestructura es inferior al 20% y no se logra la combinación de alargamiento uniforme superior al 15% y resistencia a la tracción superior a 1000. Por encima del 7,0%, la soldabilidad se ve mermada, mientras que las segregaciones e inclusiones deterioran las propiedades referidas a los daños.

[0026] Con respecto al aluminio, su contenido debe encontrarse entre el 0,5% y el 3,5%. Por encima del 0,5% en peso, las adiciones de aluminio resultan interesantes en muchos aspectos para aumentar la estabilidad de la austenita retenida a través de un incremento del carbono en la austenita retenida. El Al permite disminuir la dureza de la banda caliente, que después se puede laminar en frío con facilidad para obtener su grosor final, tal como se observa en las figuras 1, 2 y 3. La robustez también mejora durante el recocido con adiciones de Al. La adición de Al da lugar a una menor variación de la fracción austenítica en función de la temperatura y a la mejora en la relación de

- botón, tal como se muestra en las figs. 15 y 16. Además, el Al es el elemento más eficiente a la hora de abrir un amplia ventana de viabilidad para la temperatura de recocido en un recocido continuo, ya que favorece la combinación de recristalización avanzada a temperaturas superiores a la temperatura de no recristalización, y estabilización de la austenita. El contenido de aluminio debe ser inferior o igual al 3,5% para evitar la formación de granos de ferrita primarios gruesos formados durante la solidificación y no transformados en austenita durante el posterior enfriamiento, lo que da lugar a una resistencia a la tracción inferior a 1000 MPa. Se debe entender que, debido a que el Al es alfégeno mientras que el C y el Mn son ambos gammágenos, el contenido óptimo de Al para limitar la formación de granos de ferrita primarios gruesos disminuye cuando disminuye el contenido en C y Mn.
- 10 **[0027]** El aluminio también resulta perjudicial para la colada continua, ya que el polvo de cobertura puede reaccionar con el metal líquido, y la cinética de la reacción aumenta cuando aumenta el contenido de Al. Estos granos de ferrita primaria gruesos reducen la resistencia a la tracción por debajo de los 1000 MPa. En consecuencia, el contenido de Al, preferentemente, de entre el 1,0% y el 3,0%, y aún más preferentemente de entre el 1,0% y el 2,5%.
- 15 **[0028]** El silicio también es muy eficiente a la hora de aumentar la resistencia a través de una solución sólida. No obstante, su contenido se limita al 2,0%, debido a que, más allá de este valor, las cargas de laminado aumentan en exceso y se dificulta el proceso de laminado. También se reduce la aptitud para el laminado en frío. Preferentemente, para evitar grietas de borde, el contenido de Si es inferior al 1,5% o incluso inferior al 1,0%.
- 20 **[0029]** Se pueden añadir elementos de microaleación tales como titanio, vanadio y niobio, respectivamente, en una cantidad inferior al 0,2% en cada caso, con el fin de obtener un temple de precipitación adicional. En particular, se utiliza titanio y niobio para controlar el tamaño de grano durante la solidificación. No obstante, es necesario respetar un límite, ya que, más allá, se obtiene un efecto de saturación.
- 25 **[0030]** En cuanto al azufre, por encima de un contenido del 0,004%, se reduce la ductilidad debido a la presencia de un exceso de sulfuros tales como MnS; en particular, los ensayos de ensanchamiento de orificios muestran unos valores más bajos en presencia de dichos sulfuros.
- 30 **[0031]** El fósforo es un elemento que templea en una solución sólida, pero que reduce la soldabilidad por puntos y la ductilidad en caliente, debido particularmente a su tendencia a la segregación en los límites de los granos o la cosegregación con manganeso. Por estos motivos, su contenido debe limitarse al 0,025%, y preferentemente al 0,020%, con el fin de obtener una buena soldabilidad por puntos.
- 35 **[0032]** El máximo contenido de boro permitido por la invención es del 0,0035%. Por encima de dicho límite, se espera un grado de saturación en lo que respecta a la templabilidad.
- [0033]** Se obtiene el equilibrio de hierro e impurezas inevitables. El nivel de impurezas representa un porcentaje inferior al 0,04% de elementos tales como Ni, Cr, Cu, Mg, Ca, etc.
- 40 **[0034]** La microestructura del acero contiene, como fracción superficial, del 20% al 50% de austenita, del 40% al 80% de ferrita recocida y un porcentaje de martensita inferior al 25%. La suma de estas fases microestructurales supone más del 95%. Se obtiene el equilibrio de precipitados inevitables tales como carburos.
- 45 **[0035]** La austenita es una estructura que aporta ductilidad. Su contenido debe ser superior al 20%, de manera que el acero de la invención sea lo suficientemente dúctil, con un alargamiento uniforme superior al 15%, y su contenido debe ser inferior al 50%, debido a que, por encima ese valor, se deteriora el equilibrio de las propiedades mecánicas.
- 50 **[0036]** La ferrita, en la invención, viene definida por una estructura cúbica centrada obtenida a partir de la recuperación y recristalización tras el recocido, bien a partir de ferrita previa formada durante la solidificación o bien a partir de bainita o martensita de la chapa de acero laminado en caliente. Por tanto, la expresión "ferrita recocida" implica que se recristaliza más del 70% de la ferrita. La ferrita recristalizada se caracteriza por una desorientación media, medida mediante SEM-EBSD, inferior a 3° en el interior de los granos. Su contenido debe estar entre el 40 %
- 55 y el 80% con el fin de obtener una resistencia mínima a la tracción de 1000 MPa, con un límite elástico de al menos 600 MPa y un alargamiento uniforme de al menos el 15%.
- [0037]** La martensita es la estructura formada durante el enfriamiento tras la homogeneización térmica a partir de austenita inestable formada durante el recocido. Su contenido se debe limitar al 25%, de manera que el

alargamiento uniforme se mantenga por encima del 15%. La denominada estructura martensítica 18R es un tipo concreto de martensita que consiste en una fase ortorrómbica acicular con una cristalografía concreta que ha sido identificada y bien documentada por Cheng y col. [W.-C. Cheng, C.-F. Liu, Y.-F. Lai, *Scripta Mater.*, 48 (2003), pp. 295-300].

5

[0038] El procedimiento para producir el acero de acuerdo con la invención conlleva la colada de un acero con la composición química de la invención.

[0039] El acero colado se recalienta a entre 1150 °C y 1300 °C. Cuando la temperatura de calentamiento de la plancha es inferior a 1150 °C, las cargas de laminado aumentan en exceso y se dificulta el proceso de laminado en caliente. Por encima de 1300 °C, la oxidación es muy intensa, lo que da lugar a la pérdida por cascarilla y a la degradación de la superficie.

10

[0040] El laminado en caliente de la plancha recalentada se realiza a una temperatura de entre 1250 °C y 800 °C, y la última pasada de laminado en caliente tiene lugar a una temperatura T_{up} superior o igual a 800 °C. Si T_{up} es inferior a 800 °C, se reduce la conformabilidad en caliente.

15

[0041] Tras el laminado en caliente, el acero se enfría a una velocidad de enfriamiento $V_{enfriamiento1}$ entre 1 °C/s y 150 °C/s, hasta la temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ inferior o igual a 650 °C. Por debajo de 1 °C/s, se forma una microestructura gruesa y se deteriora el equilibrio final de propiedades mecánicas. Por encima de 150 °C/s, el proceso de enfriamiento es difícil de controlar.

20

[0042] La temperatura de bobinado $T_{bobinado}$ debe ser inferior o igual a 650 °C. Si la temperatura de bobinado es superior a 650 °C, se forma una estructura gruesa de ferrita y bainita, que da lugar a una microestructura más heterogénea tras el laminado en frío y el recocido.

25

[0043] De forma opcional, el acero se somete a un recocido intermedio en esta etapa para reducir su dureza y facilitar el posterior proceso de laminado en frío y, finalmente, para evitar grietas durante el laminado en frío. La temperatura de recocido será de entre 450 °C y 600 °C durante entre 1 y 24 horas en el caso de un recocido discontinuo, o entre 650 °C y 750 °C durante entre 20 y 180 s en el caso de un recocido continuo.

30

[0044] La siguiente etapa consiste en el descascarillado y laminado en frío del acero con una relación de laminado en frío de entre el 30% y el 70%, a fin de obtener un acero laminado en frío con un grosor generalmente entre 0,6 y 3 mm. Por debajo del 30%, no se favorece suficientemente la recristalización durante un posterior recocido y no se logra el alargamiento uniforme superior al 15% debido a la falta de recristalización. Por encima del 70%, existe el riesgo de que se produzcan grietas de borde durante el laminado en frío.

35

[0045] El recocido también se puede llevar a cabo calentando el acero a una velocidad de calentamiento $H_{velocidad}$ al menos igual a 1 °C/s hasta la temperatura de recocido $T_{recocido}$. Dicha $T_{recocido}$ posee unos valores mínimo y máximo definidos por las siguientes ecuaciones:

40

$$T_{\min} = 721 - 36 \cdot C - 20 \cdot Mn + 37 \cdot Al + 2 \cdot Si \text{ (en } ^\circ C \text{)}$$

$$T_{\max} = 690 + 145 \cdot C - 6,7 \cdot Mn + 46 \cdot Al + 9 \cdot Si \text{ (en } ^\circ C \text{)},$$

45

en las que los elementos de la composición química vienen dados en porcentajes en peso.

[0046] El control de la temperatura de recocido es un aspecto importante del proceso, ya que permite controlar la fracción austenítica y su composición química, así como la recristalización del acero de la invención. Por debajo de T_{\min} , no se forma la fracción austenítica mínima, o su estabilidad es demasiado alta, lo que da lugar a una resistencia a la tracción limitada, inferior a 1000 MPa. Por encima de T_{\max} , existe el riesgo de que se forme demasiada martensita, lo que daría lugar a un alargamiento uniforme limitado, inferior al 15%.

50

[0047] Tras el recocido, la chapa de acero se enfría a una velocidad de enfriamiento de entre 5 °C/s y 70 °C/s.

55

[0048] De forma opcional, la chapa de acero se enfría hasta una temperatura T_{OA} entre 350 °C y 550 °C y se mantiene a T_{OA} durante un tiempo de entre 10 y 300 segundos. Se demostró que dicho tratamiento térmico que facilita el recubrimiento de Zn mediante un proceso de revestimiento por inmersión en caliente, por ejemplo, no

afecta a las propiedades mecánicas finales.

- [0049]** De forma opcional, la chapa de acero laminada en frío y recocida se temple a una temperatura T_{temple} de entre 170 y 400 °C durante un tiempo t_{temple} de entre 200 y 800 s. Este tratamiento permite el templado de la martensita, que podría formarse durante el enfriamiento tras la homogeneización térmica a partir de la austenita inestable. Por tanto, la dureza de la martensita disminuye y se mejora la ductilidad del acero. Por debajo de 170 °C, el tratamiento de templado no resulta lo suficientemente eficiente. Por encima de 400 °C, la pérdida de resistencia aumenta excesivamente y el equilibrio entre resistencia y ductilidad no mejora más.
- 10 **[0050]** Después, la chapa de acero laminada en frío y recocida se suelda por puntos para obtener una unión soldada con una alta resistencia.
- [0051]** Para obtener una soldadura por puntos de acuerdo con la invención, se pueden definir los siguientes parámetros de soldadura. La intensidad eficaz puede ser de entre 3 kA y 15 kA. Como ejemplo no limitativo, en las figuras 8 y 9 se muestra la intensidad de la soldadura por puntos de acuerdo con la invención. La fuerza aplicada en los electrodos es de entre 150 y 850 daN. El diámetro de cara activa del electrodo es de entre 4 y 10 mm. Una soldadura por puntos adecuada se define por su dimensión característica de la zona fundida. La altura de su zona fundida es de 0,5 y 6 mm y su diámetro es de entre 3 y 12 mm, como se muestra en la figura 18.
- 15 **[0052]** La unión soldada por puntos de acuerdo con la invención se caracteriza por una microestructura de zona fundida que contiene una fracción superficial de áreas segregadas gruesas inferior al 1%. Las áreas segregadas gruesas se definen como zonas mayores de 20 μm^2 que contienen fósforo en una cantidad superior al contenido nominal de fósforo en el metal base. Por encima de dicho valor, la segregación es demasiado elevada, lo que disminuye la tenacidad de la lenteja, como se muestra en las figuras 19, 20 y 21.
- 20 **[0053]** Además, la microestructura de la zona fundida contiene una densidad de carburos de hierro mayores de 50 nm igual o superior a 2×10^6 por mm^2 . Por debajo de dicha densidad, la martensita no se temple lo suficiente y la microestructura de la lenteja no presenta la suficiente tenacidad, como se muestra en las figuras 5, 12, 13 y 14.
- 25 **[0054]** Preferentemente, en al menos una cara de la unión soldada, la microestructura en el límite entre la zona fundida y el acero de acuerdo con la invención no contiene ninguna martensita 18R en el interior de los granos ferríticos, de manera que la zona de grano grueso mantiene la suficiente tenacidad, como se muestra en la figura 11 para el contenido de Al del 3%.
- 30 **[0055]** De forma opcional, la unión soldada por puntos de acuerdo con la invención se somete a un postratamiento térmico para mejorar aún más la resistencia de la soldadura por puntos, tal como se ilustra en las figuras 22A y B. Dicho postratamiento se puede realizar con soldaduras tanto homogéneas como heterogéneas. El postratamiento en horno consiste en un tratamiento de austenitización por encima de 1000 °C durante al menos 3 minutos, seguido de un enfriamiento rápido, es decir, por encima de 50 °C/s para la unión soldada.
- 35 **[0056]** El postratamiento in situ consiste, tras la soldadura, en un tratamiento en dos etapas:
- 40
- una primera etapa de al menos 0,2 segundos en la que no se aplica ninguna corriente,
 - una segunda etapa consistente en la aplicación a la unión soldada de una corriente con entre el 60% y el 90% de la intensidad media aplicada durante la soldadura,
- 45 con el fin de templar la martensita y mejorar la tenacidad de la lenteja y la zona afectada por el calor. El tiempo total de la etapa 1 y la etapa 2 es de entre 0,1 y 2 segundos.
- 50 **[0057]** La invención se comprenderá mejor con los siguientes ejemplos no limitativos. De hecho, el acero soldado por puntos de la invención se puede obtener con cualquier otro acero, como, por ejemplo: aceros sin intersticios, aceros bifásicos, aceros TRIP, aceros BH, aceros endurecidos por presión o aceros multifásicos.
- [0058]** Se han producido productos semielaborados a partir de una colada de acero. Las composiciones químicas de los productos semielaborados, expresadas en porcentajes en peso, se muestran en la siguiente tabla 1. El resto de la composición del acero de la tabla 1 consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición.
- 55

Tabla 1: Composición química (% en peso)

	C	Mn	Al	Si	P	S	Nb
A	0,209	4,91	0,024	0,013	0,02	0,001	
B	0,196	5,01	1,03	0,012	0,022	0,002	
C	0,192	5,03	1,87	0,014	0,021	0,002	
D	0,188	4,9	1,9	0,017	0,02	0,002	
E	0,189	5,01	2,85	0,02	0,02	0,0021	
F	0,175	4,77	3,72	0,024	0,02	0,0023	
G	0,109	5,28	0,02	0,52	0,018	0,0034	
H	0,109	5,17	1,81	0,507	0,017	0,0035	
I	0,123	5,05	1,71	0,521	0,008	0,004	0,032
J	0,089	1,82	0,01	0,145	0,015	0,003	

[0059] Los contenidos de Ti y de V de los aceros A a J son inferiores al 0,010%. El contenido de boro es inferior a 35 ppm.

5

[0060] Los aceros A a I, en primer lugar, se han recalentado y laminado en caliente hasta obtener planchas de 2,4 mm de grosor. El acero J es un típico acero bifásico con una resistencia a la tracción de 600 MPa, un tipo de acero conocido por los expertos en la materia, que se utiliza como acero al que se sueldan los aceros A a I para casos de soldadura heterogénea. A continuación, las planchas de acero laminadas en caliente A a I se laminaron en frío y se recocieron. Los parámetros del proceso se muestran en la tabla 2 con las siguientes abreviaturas:

10

- T_{recal} : es la temperatura de recalentamiento
- T_{up} : es la temperatura del laminado final
- V_{enf1} : es la velocidad de enfriamiento tras la última pasada del laminado en caliente
- 15 - T_{bobinado} : es la temperatura de bobinado
- T_{RI} : es la temperatura del recocido intermedio realizado con la banda caliente
- t_{RI} : es la duración del recocido intermedio realizado con la banda caliente
- $Vel.$: es la velocidad de reducción del laminado en frío
- C_{vel} : es la velocidad de calentamiento
- 20 - T_{rec} : es la temperatura de homogeneización térmica durante el recocido
- t_{rec} : es la duración de la homogeneización térmica durante el recocido
- V_{enf2} : es la velocidad de enfriamiento hasta la temperatura ambiente tras el recocido

Tabla 2: Condiciones de laminado en caliente, laminado en frío y recocido

	T _{recal} (°C)	T _{up} (°C)	V _{enf1} (°C/s)	T _{bobinado} (°C)	T RI (°C)	t RI (min)	Vel. (%)	H _{vel} (°C/s)	T _{min}	T _{máx}	T _{rec} (°C)	t _{rec} (s)	V _{enf2} (°C/s)
A1	1250	950	8	650			70	10	616	689	700	60	10
B1	1250	940	8	600			50	10	652	732	710	120	8
C1	1250	940	8	600			50	10	683	770	720	120	8
D1	1250	900	8	650			50	10	687	772	710	150	5
D2	1250	900	8	650			50	10	687	772	720	150	5
D3	1250	900	8	650			50	10	687	772	730	150	5
D4	1250	900	8	20			50	10	687	772	710	150	5
D5	1250	900	8	20			50	10	687	772	720	150	5
D6	1250	900	8	20			50	10	687	772	730	150	5
D7	1250	900	8	550			50	10	687	772	710	150	5
D8	1250	900	8	550			50	10	687	772	720	150	5
D9	1250	900	8	550			50	10	687	772	730	150	5
D10	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	710	150	5
D11	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	720	150	5
D12	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	730	150	5
D13	1250	900	8	550	700	2	50	10	687	772	740	150	5
D14	1250	900	8	550	500	300	50	10	687	772	710	150	5
D15	1250	900	8	550	500	300	50	10	687	772	720	150	5
D16	1250	900	8	550	600	300	50	10	687	772	720	150	5
D17	1250	900	8	550	600	300	50	10	687	772	730	150	5

ES 2 645 731 T3

	T _{reca1} (°C)	T _{up} (°C)	V _{enf1} (°C/s)	T _{hobinado} (°C)	T RI (°C)	t RI (min)	Vel. (%)	H _{vel} (°C/s)	T _{min}	T _{máx}	T _{rec} (°C)	t _{rec} (s)	V _{enf2} (°C/s)
D18	1250	900	8	550			70	10	687	772	710	150	5
D19	1250	900	8	550			70	10	687	772	720	150	5
D20	1250	900	8	550			70	10	687	772	730	150	5
E1	1250	940	8	600			50	10	719	815	770	120	8
F1	1250	900	65	450			50	10	757	855	810	120	8
G1	1250	900	8	600	600	300	50	10	613	676	690	150	8
H1	1250	900	8	600	600	300	50	10	682	759	740	150	8
H2	1250	900	8	600	600	300	50	10	682	759	770	150	8
H3	1250	900	8	600	700	2	50	10	682	759	740	150	8
I1	1250	900	8	600	600	300	50	20*	680	757	730	150	8
I2	1250	900	8	600	600	300	50	20*	680	757	740	150	8
I3	1250	900	8	600	600	300	50	20*	680	757	750	150	8

[0061] En la tabla 2, un espacio en blanco significa que no se llevó a cabo ningún recocido intermedio y “**” significa que la velocidad de calentamiento fue de 20 °C/s hasta 600 °C/s y, después, de 1 °C/s hasta la temperatura de recocido.

5 **[0062]** La tabla 3 presenta las siguientes características:

- Ferrita: “OK” indica la presencia de ferrita con una fracción de volumen entre el 40% y el 80% en la microestructura de la chapa laminada. “KO” indica ejemplos comparativos en los que la fracción de ferrita está fuera de este intervalo.

10

- Austenita: “OK” indica la presencia de austenita con una fracción de volumen entre el 20% y el 50% en la microestructura de la chapa laminada. “KO” indica ejemplos comparativos en los que la fracción de austenita está fuera de este intervalo.

15 • Martensita: “OK” indica la presencia o no de martensita con una fracción de volumen inferior al 25% en la microestructura de la chapa laminada. “KO” indica ejemplos comparativos en los que la fracción de martensita es superior al 25%.

20 • RRT (MPa) hace referencia a la resistencia a la rotura por tracción medida mediante el ensayo de tracción en dirección longitudinal con respecto a la dirección de laminado.

- LE (MPa) hace referencia al límite elástico medido mediante el ensayo de tracción en dirección longitudinal con respecto a la dirección de laminado.

25 • AlarU (%) hace referencia al alargamiento uniforme medido mediante el ensayo de tracción en dirección longitudinal con respecto a la dirección de laminado.

- LE/RT hace referencia a la relación entre límite elástico y resistencia a la rotura por tracción.

30 • AlarT hace referencia al alargamiento total medido en una muestra ISO 12,5 x 50.

Tabla 3: Propiedades de chapas laminadas en frío y recocidas

	Ferrita	Austenita	Martensita	LE (MPa)	RT (MPa)	AlarU (%)	LE/RT	Alar.	RT*Alar.
A1	OK (48%)	OK (26%)	KO (26%)	<u>499</u>	1250	14	0,4	15,4	19250
B1	OK (55%)	OK (45%)	OK (5%)	860	1075	23	0,8	25,9	27896
C1	OK (60%)	OK (40%)	OK (0%)	812	1023	24	0,79	27,0	27621
D1	OK	OK	OK	872	1082	26	0,81	30,7	33253
D2	OK	OK	OK	824	1171	21	0,7	24,2	28338
D3	OK	OK	OK	758	1239	17	0,61	20,5	25338
D4	OK	OK	OK	865	1018	27	0,85	33,3	33865
D5	OK	OK	OK	837	1150	21	0,73	24,9	28673
D6	OK	OK	OK	792	1228	18	0,64	21,2	26075
D7	OK	OK	OK	882	1101	28	0,8	33,0	36333
D8	OK	OK	OK	817	1187	19	0,96	22,4	26589
D9	OK	OK	OK	769	1252	17	0,61	20,0	24998
D10	OK	OK	OK	883	1033	27	0,85	33,6	34743
D11	OK	OK	OK	872	1085	29	0,8	34,8	37722
D12	OK	OK	OK	806	1154	24	0,7	29,8	34351
D13	OK	OK	OK	774	1217	21	0,64	24,6	29979

	Ferrita	Austenita	Martensita	LE (MPa)	RT (MPa)	AlarU (%)	LE/RT	Alar.	RT*Alar.
D14	OK	OK	OK	810	1056	27	0,77	31,8	33546
D15	OK	OK	OK	683	1224	16	0,56	18,6	22766
D16	OK	OK	OK	787	988	26	0,8	30,1	29706
D17	OK	OK	OK	755	1078	22	0,7	26,1	28100
D18	OK	OK	OK	718	1146	18	0,63	21,6	24792
D19	OK	OK	OK	904	1098	28	0,82	30,9	33965
D20	OK	OK	OK	880	1154	24	0,76	27,8	32081
D21	OK	OK	OK	796	1252	17	0,64	18,7	23412
E1	OK (61%)	OK (37%)	OK (2%)	698	1007	23	0,69	26,7	26887
F1	OK (35%)	OK (65%)	OK (0%)	560	840	26	0,67	29,4	24696
G1	OK (52%)	KO (17%)	KO (31%)	701	1060	13	0,66	14,4	15264
H1	OK (68%)	OK (27%)	OK (5%)	624,5	1002	17	0,62	19,7	19689
H2	OK (57%)	KO (15%)	KO (28%)	516	1138	9	0,45	10,3	11665
H3	OK	OK	OK	690,5	1006,5	18	0,69	21,1	21237
I1	OK	OK	OK	875	1026,5	18	0,85	20,6	21146
I2	OK	OK	OK	845,5	1063	17	0,80	20,0	21207
I3	OK	OK	OK	804,5	1082	16	0,74	18,6	20071

[0063] Los aceros A a I se sueldan por puntos a un acero DP 600 GI como ejemplo que sigue los parámetros de soldadura presentados en la tabla 4: El grosor de la chapa para materiales A a I y DP600 GI es 1,2 mm. Los parámetros de soldadura son los mismos para los diferentes grados y solo se diferencian entre soldadura homogénea y heterogénea.

Tabla 4: parámetros de soldadura del acero

	Frecuencia de corriente (Hz)	Tiempo de aproximación (periodo)	Tiempo de soldadura (periodo)	Tiempo de mantenimiento (periodo)	Diámetro de cara activa del electrodo	Fuerza del electrodo (daN)
Homogénea	50	70	14	14	6	400
Heterogénea	50	70	15	15	6	400

[0064] Los diferentes valores se explican a continuación:

10

- Intervalo de corriente de soldadura: El intervalo de corriente de soldadura (también denominada intensidad de soldadura) se expresa en kA. El valor mínimo del intervalo de soldadura se define como la corriente de soldadura necesaria para formar una lenteja con un diámetro de $4,25\sqrt{g}$ o más, siendo g el grosor del material en mm. El valor máximo del intervalo de corriente de soldadura se define como la corriente a la que se produce la expulsión del metal fundido de la lenteja.

15

- El valor alfa es la carga máxima en ensayo en cruz dividida por el diámetro de soldadura y el grosor. Se trata de una carga normalizada para la soldadura de resistencia por puntos expresada en daN/mm².

20

- Relación de botón: La relación de botón es igual al diámetro del botón dividido por el diámetro de la zona fundida (MZ). Cuanto más baja sea la relación de botón, menor será la tenacidad de la zona fundida, como se muestra en la figura 18.

Tabla 5: Resultados de soldadura por puntos. CGHAZ significa zona de grano grueso afectada por el calor. MZ significa zona fundida.

Conjunto	Dureza media de lenteja (HV)	Microestructura de lenteja	Presencia de ferrita en MZ/CGHAZ	Densidad numérica de carburos mayores de 50 nm en la lenteja (mm ⁻²)	Fracción superficial de áreas segregadas gruesas (%)	Intervalo de soldadura	Alfa CTS (daN/mm ²)	Fuerza media TSS (daN)
A1+A1	535	Martensita	No	0,72 x 10 ⁶	1,32	2	21	790
B1+B1	505	Martensita	No	3,12 x 10 ⁶	0,26	2,5	28	1644
D1+D1	480	Martensita	No	8,66 x 10 ⁶	0,083	2,5	38	1590
E1+E1	422	bainita+ferrita delta	Sí	9,55 x 10 ⁶	0,041	1,8	52	1800
F1+F1	308	Martensita+ferrita delta	Sí	No medida	No medida	2	29	1213
A1+J1	487	Martensita	No	No medida	No medida	2,8	26	813
B1+J1	443	Martensita	No	No medida	No medida	2,3	37	951
D1+J1	456	Martensita	No	No medida	No medida	2	39	1004
E1+J1	464	Martensita	Sí	No medida	No medida	1,9	53	1070
F1+J1	405	Martensita	Sí	No medida	No medida	2	30	697
G1+G1	502	Martensita	No	No medida	2,83	2,4	31	1439
H1+H1	451	Martensita	No	6,17 x 10 ⁶	0,22	1,6	77	1599
I1+I1	No medida	Martensita	No	No medida	No medida	No medido	85	No medida
G1+J1	No medida	Martensita	No	No medida	No medida	3	52	1522
H1+J1	No medida	Martensita	No	No medida	No medida	1,6	90	1407

- [0065]** Todos los aceros laminados en frío y recocidos que se producen con composiciones químicas de B, C, D, E, H (excepto H2) e I se producen de acuerdo con la invención, presentan un LE superior a 600 MPa, una resistencia a la tracción superior a 1000 MPa y un alargamiento uniforme del 15%, tal como se muestra en la figura 4A para B1, C1, E1 y F1 (referencia) y en la figura 4B para G1, H1, H2, H3 y 12, en las que G1 y H2 son referencias.
- 5 La composición química está dentro del intervalo elegido, así como la microestructura; también se han seguido los parámetros del proceso de la invención. A1, F1, G1 y H2 no son conformes a la invención. Los ensayos de resistencia de las soldaduras por puntos se ha realizado de acuerdo con el ensayo que se ilustra en la figura 17. Se denominan ensayos de cizalladura por tracción y ensayos de tracción en cruz. Estos ensayos se utilizan para determinar la fuerza de la soldadura. Como se muestra en las figuras 6, 7 y 10, la resistencia de la soldadura por
- 10 puntos aumenta con el contenido de Al dentro del intervalo del Al de la invención.
- [0066]** Además, un examen de las muestras de macroataque puede revelar los diámetros de la lenteja (figura 11), así como la penetración y microestructuras de la soldadura en las diferentes zonas.
- 15 **[0067]** En lo que respecta a los postratamientos térmicos, como se puede observar en la figura 22, se mejora aún más el coeficiente de resistencia a la tracción en cruz con dicho tratamiento para uniones soldadas por puntos con al menos un acero que contiene Al. Esto se debe al efecto alfégeno del Al que abre una ventana de temple por debajo de Ac1 que permite no reaustenitizar tras soldar las piezas críticas de la unión soldada.
- 20 **[0068]** El conjunto de chapas de acero de acuerdo con la invención se utilizará de manera beneficiosa para la fabricación de piezas estructurales o de seguridad en la industria automovilística.

REIVINDICACIONES

1. Unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero, en las que al menos una chapa está fabricada con un acero aleado con aluminio, que comprende, en porcentaje en peso:
- 5
- $0,05 \leq C \leq 0,21\%$
- $4,0 \leq Mn \leq 7,0\%$
- 10
- $0,5 \leq Al \leq 3,5\%$
- $Si \leq 2,0\%$
- $Ti \leq 0,2\%$
- 15
- $V \leq 0,2\%$
- $Nb \leq 0,2\%$
- 20
- $P \leq 0,025\%$
- $B \leq 0,0035\%$
- $S \leq 0,004\%$
- 25
- el equilibrio de la composición consiste en hierro e impurezas inevitables resultantes de la fundición, dicha chapa de acero aleado con aluminio presenta un límite elástico superior o igual a 600 MPa, una resistencia a la rotura por tracción superior o igual a 1000 MPa y una elongación uniforme superior o igual al 15%, la microestructura de dicha chapa de acero aleado con aluminio contiene del 20% al 50% de austenita, del 40% al 80% de ferrita recocida,
- 30
- menos del 25% de martensita y en la que la unión soldada por puntos presenta una microestructura de la zona fundida que contiene más del 0,5% de Al y que contiene una fracción superficial de áreas segregadas gruesas inferior al 1%. Las áreas segregadas gruesas se definen como zonas mayores de 20 μm^2 que contienen fósforo en una cantidad superior al contenido nominal de fósforo del acero.
- 35
2. Unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la composición química de dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de aluminio tal que: $1,0 \leq Al \leq 3,0\%$
3. Unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 2, en la que composición química de dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de aluminio tal que: $1,0 \leq Al \leq 2,5\%$.
- 40
4. Unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en la que la composición química de dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de silicio tal que: $Si \leq 1,5\%$
5. Unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 4, en la que la composición química de
- 45
- dicho acero aleado con aluminio posee un contenido de silicio tal que: $Si \leq 1,0\%$.
6. Unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que la microestructura de dicho acero aleado con aluminio contiene entre el 50% y el 70% de ferrita recocida.
- 50
7. Unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que la microestructura de dicho acero aleado con aluminio presenta menos de un 20% de martensita.
8. Unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que dicha unión contiene carburos de hierro mayores de 50 nm cuya densidad es igual o superior a 2×10^6 por mm^2 y la
- 55
- microestructura en el límite entre la zona fundida y dicho acero aleado con aluminio no posee martensita 18R con fase ortorrómbica acicular en el interior de los granos ferríticos.
9. Conjunto de dos chapas de acero que incluye una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.
- 60
10. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de al menos dos chapas de acero, en el

ES 2 645 731 T3

que al menos una chapa está fabricada con chapa de acero aleado con aluminio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende las siguientes etapas sucesivas:

- colada de un acero aleado con aluminio con una composición de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 con el fin de obtener una plancha,
 - recalentamiento de la plancha a una temperatura $T_{\text{recalentamiento}}$ entre 1150 °C y 1300 °C,
 - laminado en caliente de la plancha recalentada con una temperatura entre 800 °C y 1250 °C para obtener un acero laminado en caliente, produciéndose la última pasada del laminado en caliente a una temperatura T_{up} superior o igual a 800 °C,
 - enfriamiento del acero laminado en caliente entre 1 y 150 °C/s hasta una temperatura T_{bobinado} inferior o igual a 650 °C, y a continuación
 - bobinado del acero laminado en caliente a T_{bobinado} ,
 - decapado,
 - laminado en frío con una relación de laminado en frío de entre el 30% y el 70%, con el fin de obtener una chapa de acero laminada en frío,
 - calentamiento a una velocidad de calentamiento $C_{\text{velocidad}}$ al menos igual a 1 °C/s hasta la temperatura de recocido T_{recocido} ,
 - recocido del acero a una temperatura T_{recocido} entre $T_{\text{mín}}$ y $T_{\text{máx}}$ definidas por
$$T_{\text{mín}} = 721 - 36 \cdot C - 20 \cdot \text{Mn} + 37 \cdot \text{Al} + 2 \cdot \text{Si} \text{ (en } ^\circ\text{C)}$$
$$T_{\text{máx}} = 690 + 145 \cdot C - 6,7 \cdot \text{Mn} + 46 \cdot \text{Al} + 9 \cdot \text{Si} \text{ (en } ^\circ\text{C)},$$
durante un periodo de entre 30 y 700 segundos,
 - enfriamiento hasta la temperatura seleccionada a una velocidad de enfriamiento que se encuentra preferentemente entre 5 °C/s y 70 °C/s,
 - corte del acero laminado en frío para obtener chapas de acero laminado en frío,
 - soldadura de al menos una de dichas chapas de acero laminadas en frío con otro metal con una intensidad eficaz de entre 3 kA y 15 kA y una fuerza aplicada en los electrodos de entre 150 y 850 daN, teniendo dicha cara activa de electrodo un diámetro de entre 4 y 10 mm.
11. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el acero laminado en caliente se somete a un recocido por lotes a entre 400 °C y 600 °C durante entre 1 y 24 horas
12. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 10, en el que el acero laminado en caliente se somete a un recocido continuo a entre 650 °C y 750 °C durante entre 20 y 180 s.
13. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11, en el que la colada del acero se realiza mediante una máquina de colada de planchas delgadas para obtener dicha chapa de acero laminada en caliente.
14. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicha temperatura seleccionada es una temperatura T_{OA} de entre 350 °C y 550 °C y se mantiene a T_{OA} durante un tiempo de entre 10 y 300 segundos.
15. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la chapa de acero se sigue enfriando hasta alcanzar la temperatura ambiente a una velocidad de enfriamiento $V_{\text{enfriamiento3}}$ superior a 5 °C/s e inferior a 70 °C/s para obtener una chapa de acero laminado en frío y recocido.

16. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el que la chapa de acero se temple a una temperatura T_{temple} de entre 170 y 400 °C durante un tiempo t_{temple} entre 200 y 800 s.
- 5
17. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en el que, tras el recocido, la chapa de acero laminada en frío se recubre además con Zn o una aleación de Zn.
- 10 18. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en el que, tras el recocido, la chapa de acero laminada en frío se recubre además con Al o una aleación de Al.
- 15 19. Procedimiento para producir una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, en el que se aplica un postratamiento térmico con una intensidad de entre el 60% y el 90% de la intensidad de soldadura durante un tiempo de entre 0,1 y 0,2 segundos.
20. Pieza estructural que contiene una unión soldada por puntos o un conjunto de dos chapas de acero de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o un producto de unión soldada por puntos producido de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 19.
- 20 21. Vehículo que contiene una unión soldada por puntos, pieza estructural o conjunto de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 o producido con una unión soldada por puntos de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 20.
- 25

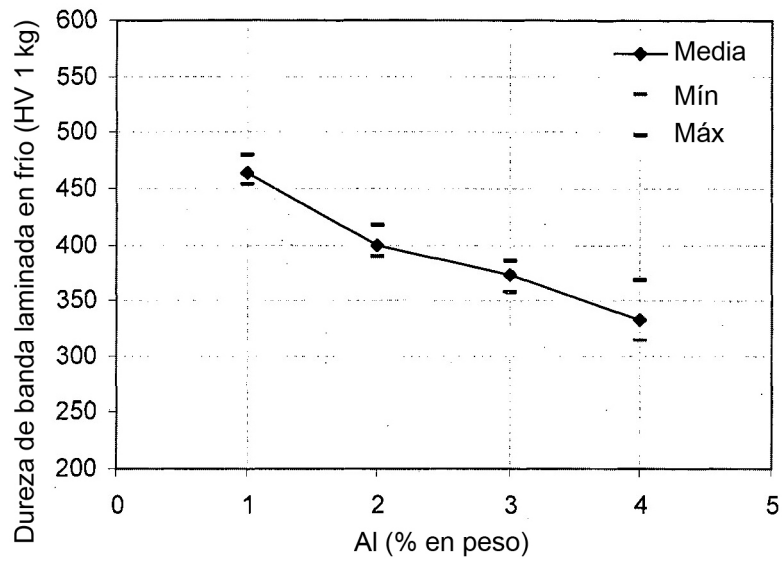


FIG 1

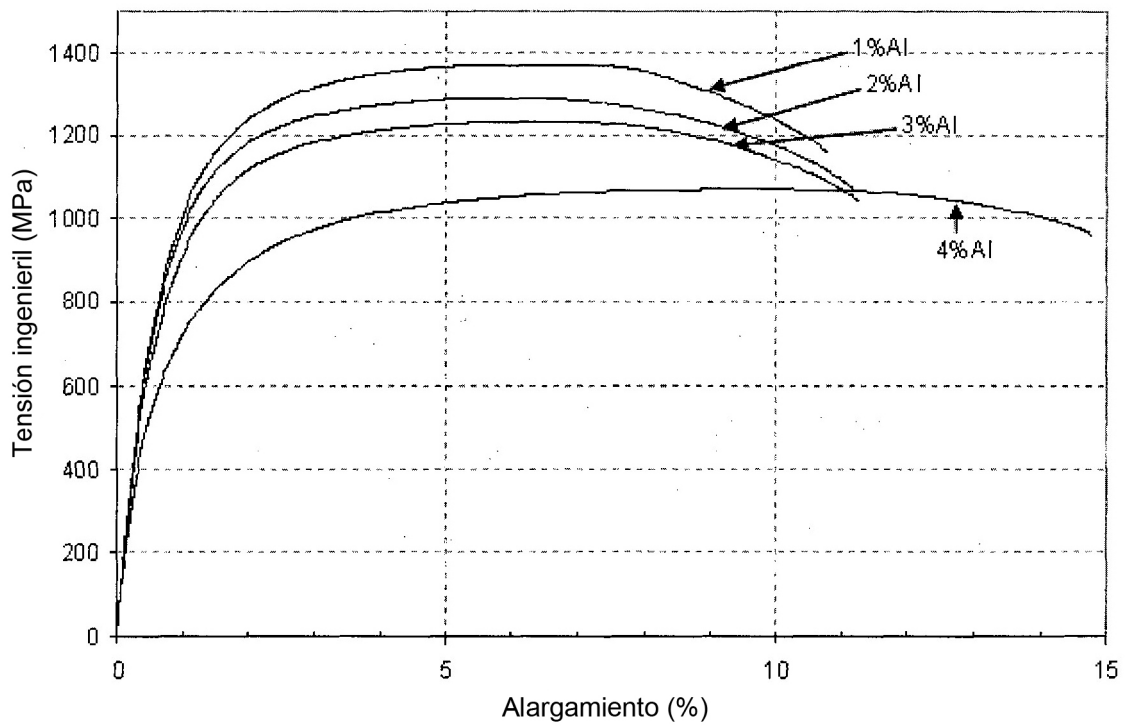


FIG 2

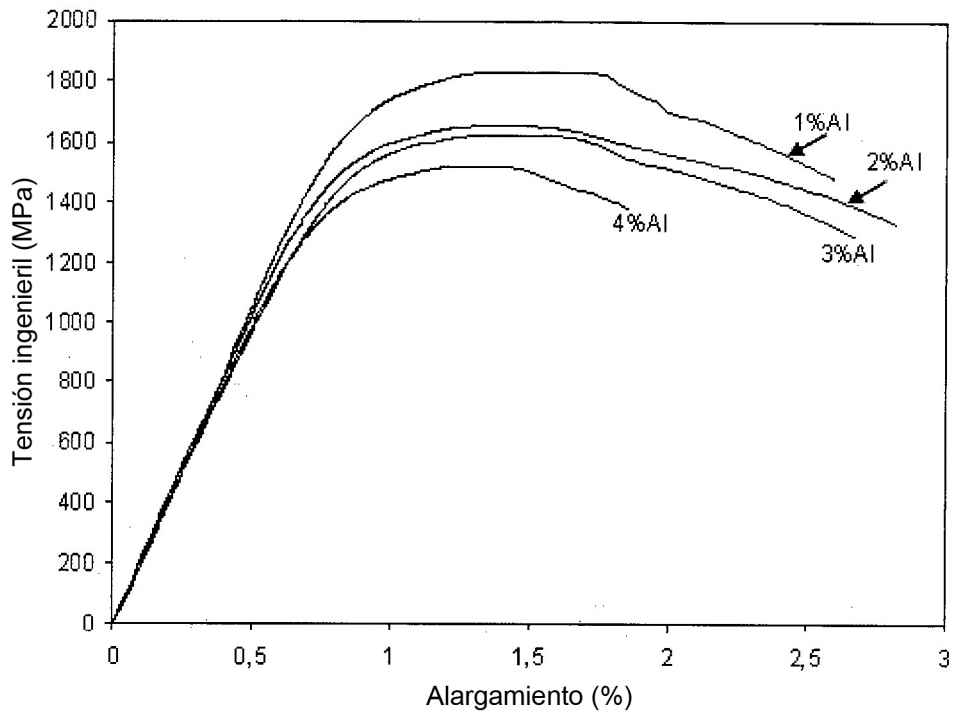


FIG 3

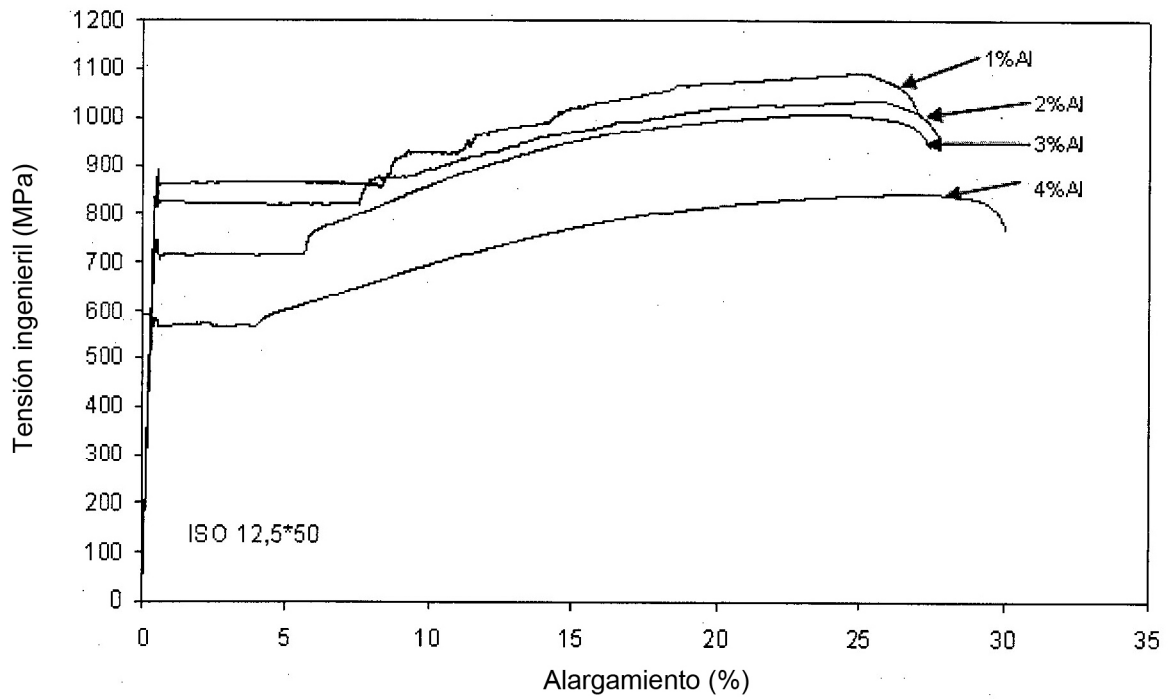


FIG 4 A

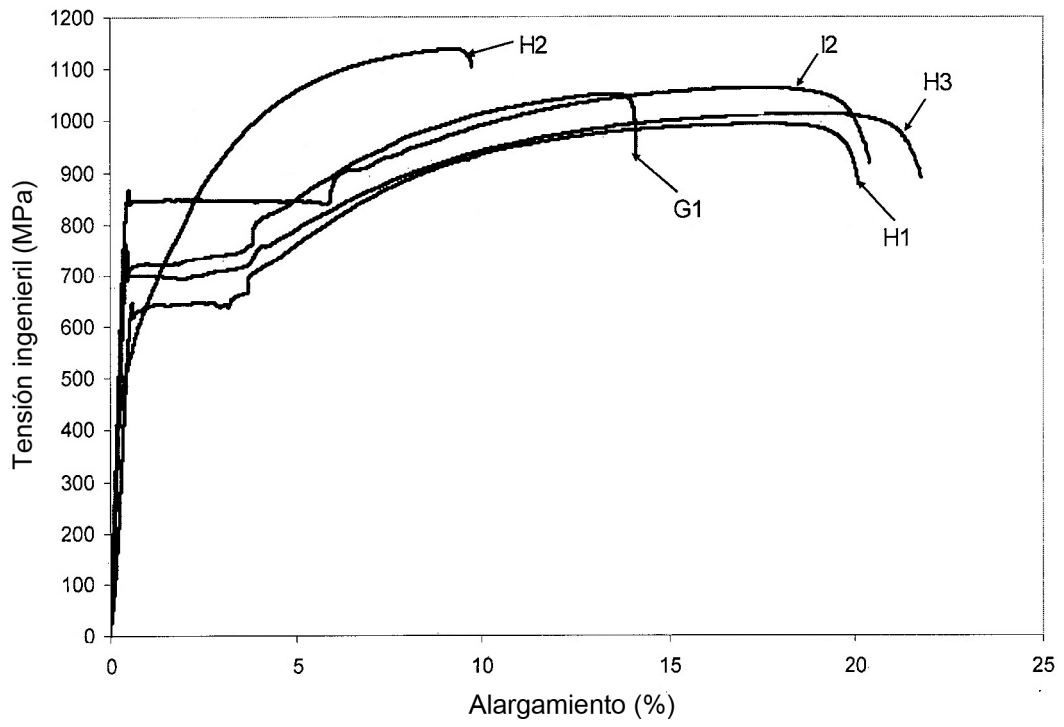


FIG 4 B

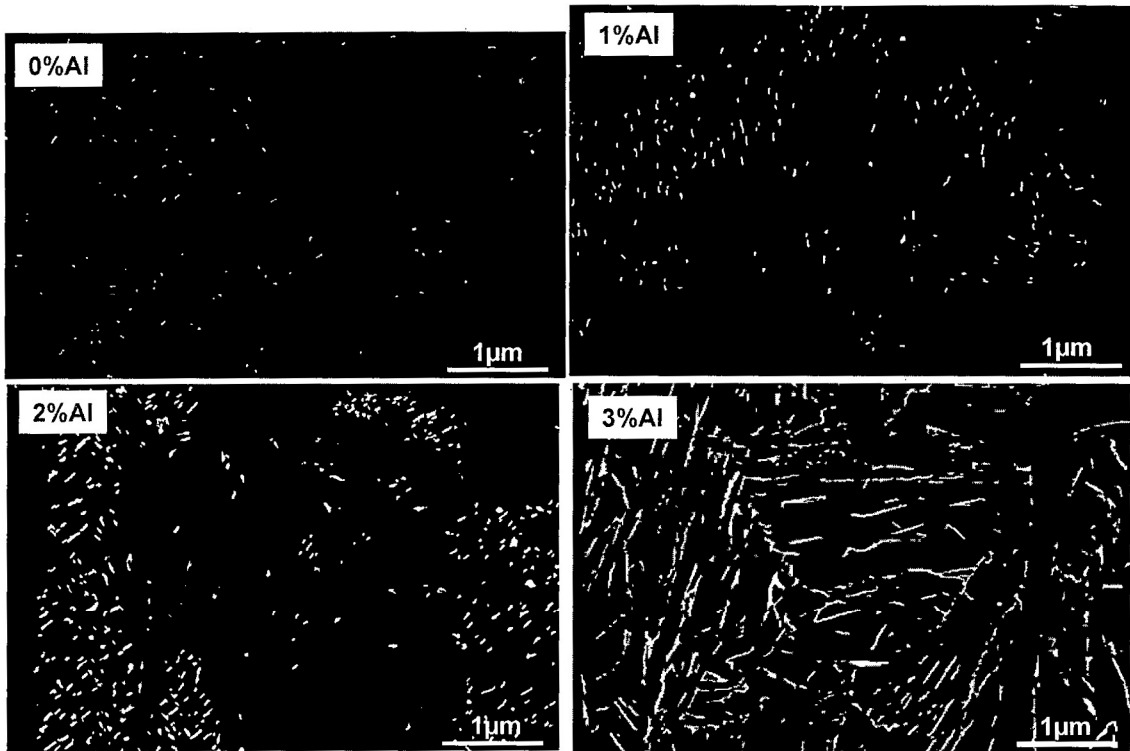


FIG 5

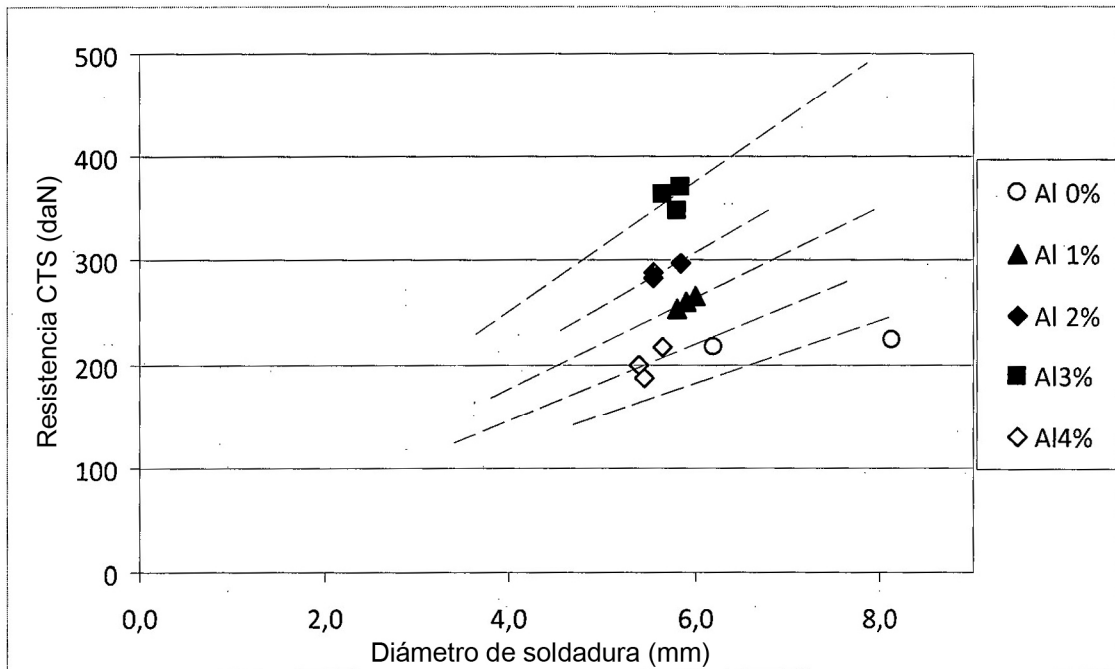


FIG 6

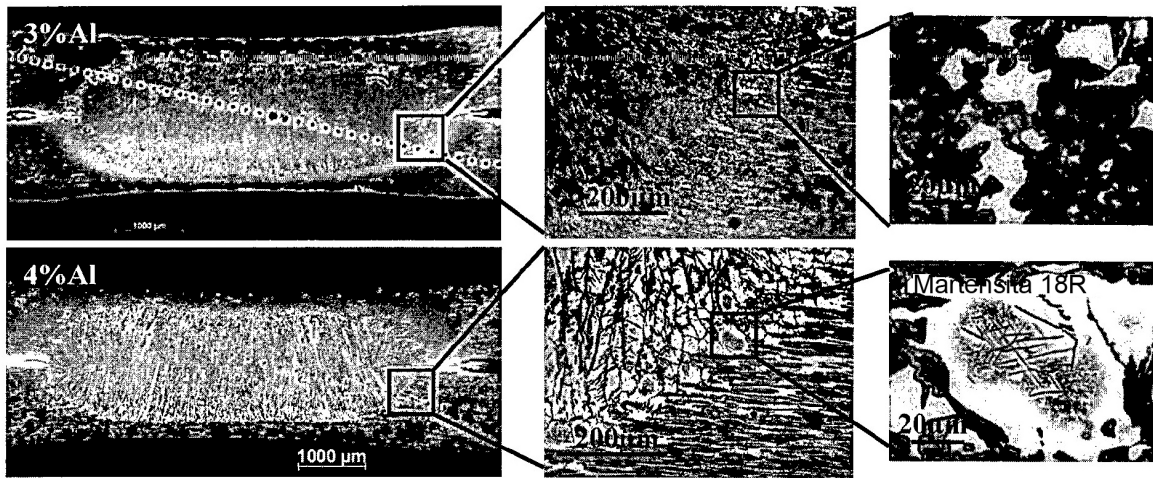


FIG 11

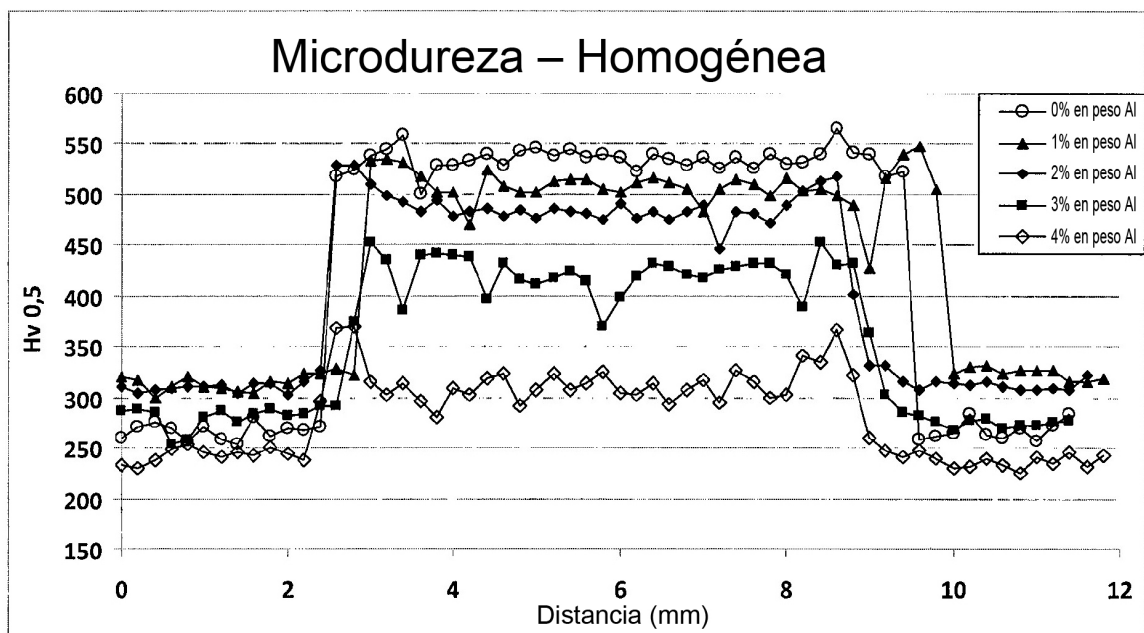


FIG 12

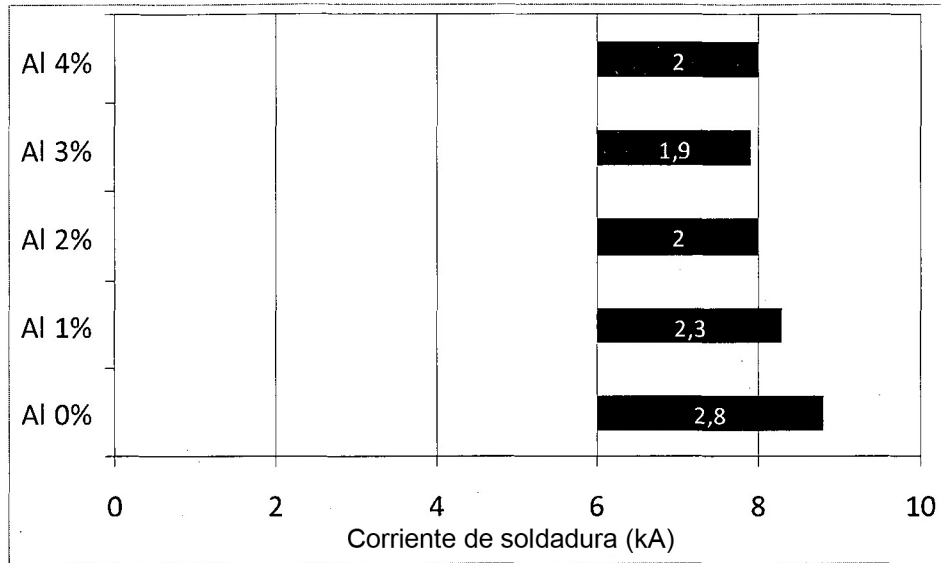


FIG 9

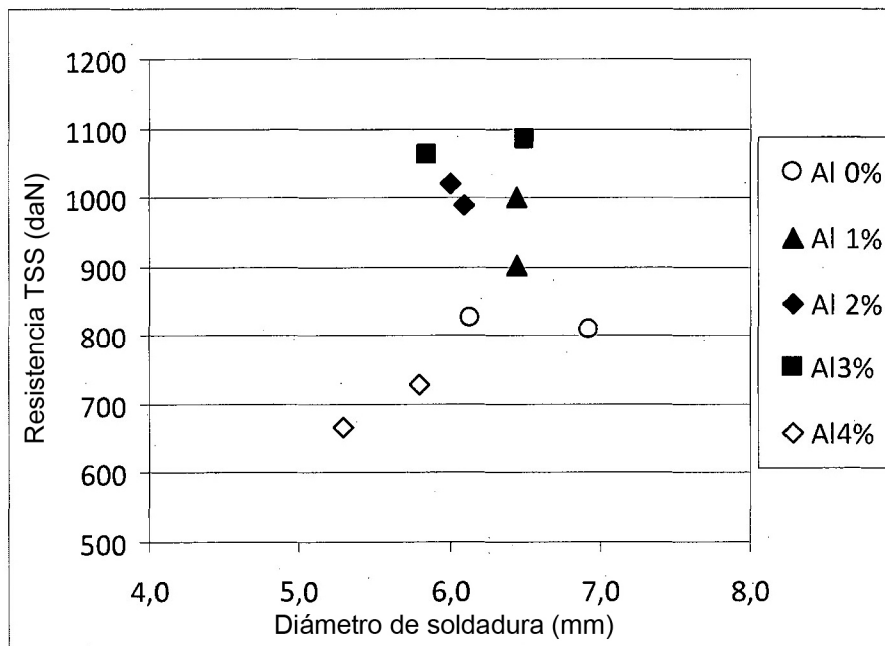


FIG 10

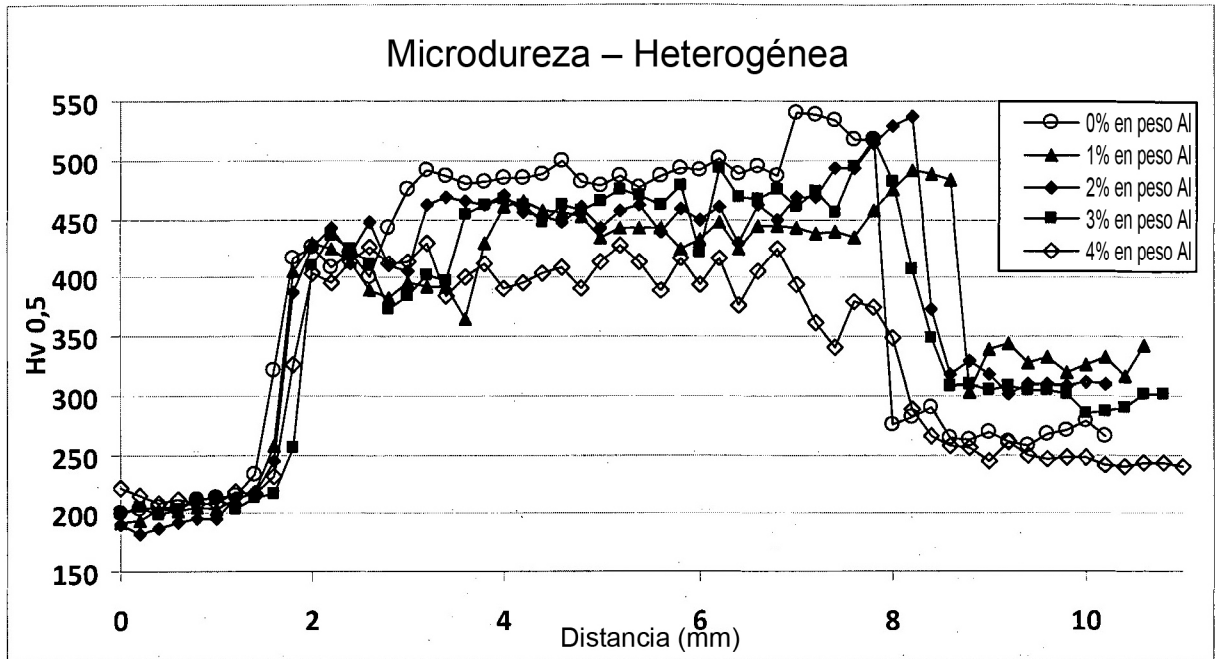


FIG 13

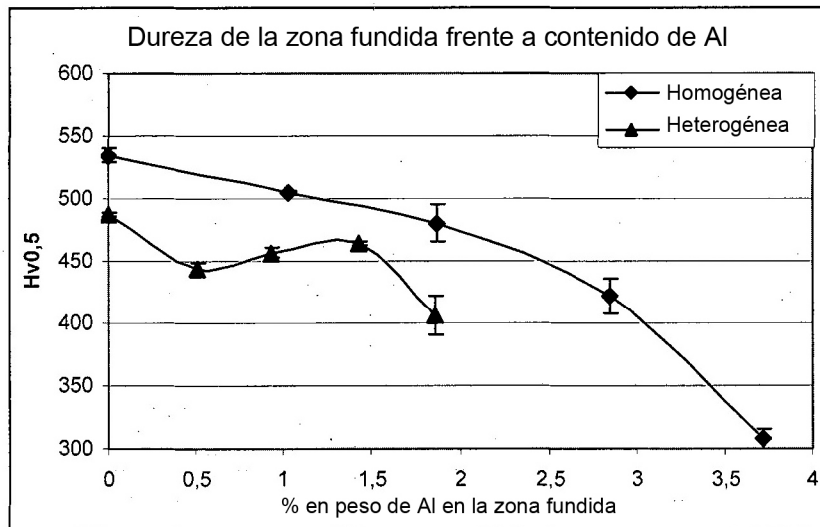


FIG 14

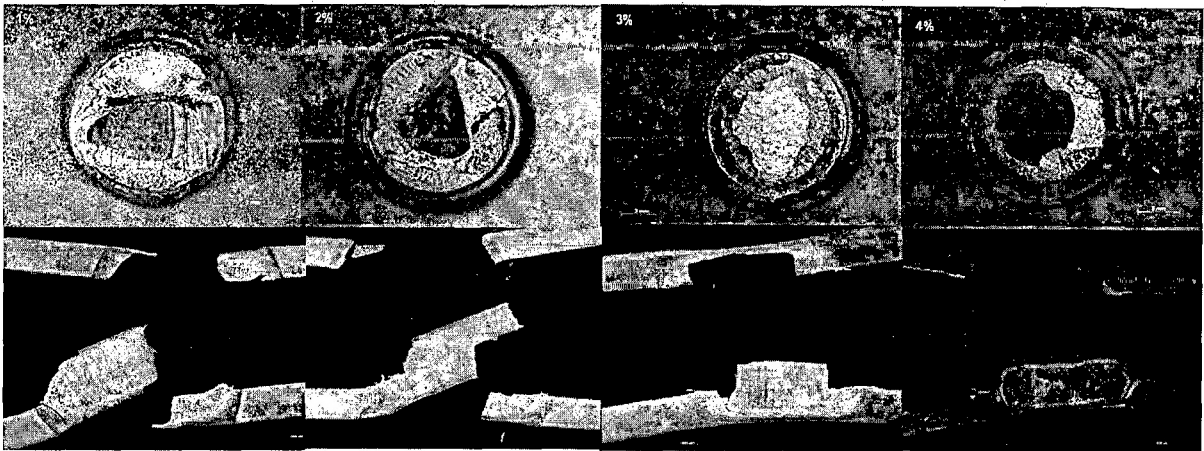


FIG 15

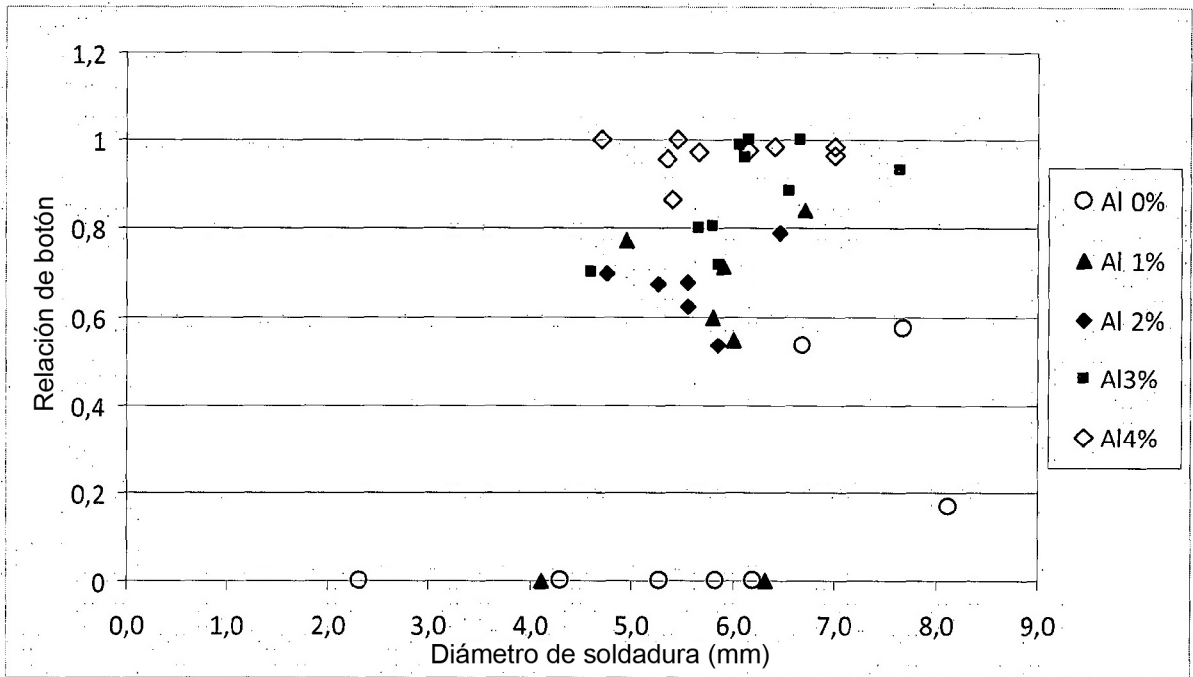


FIG 16 A

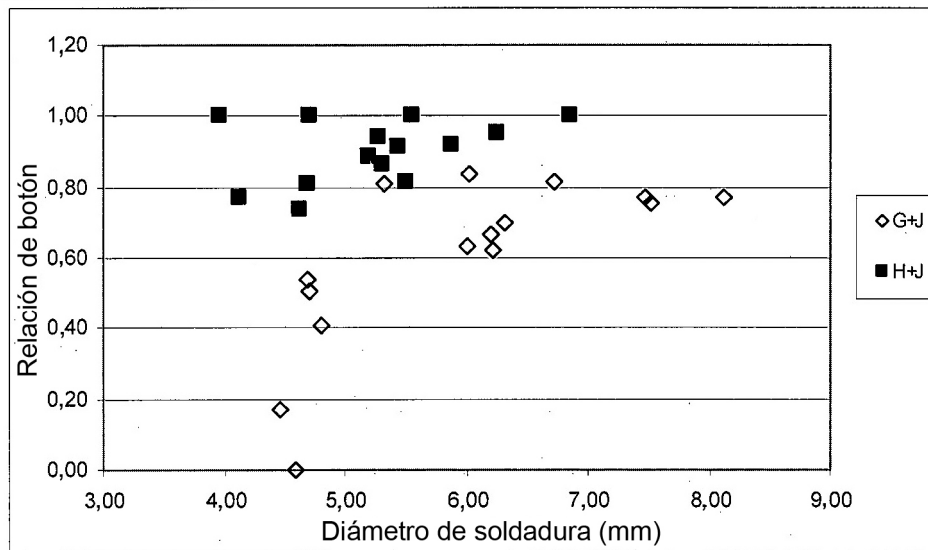
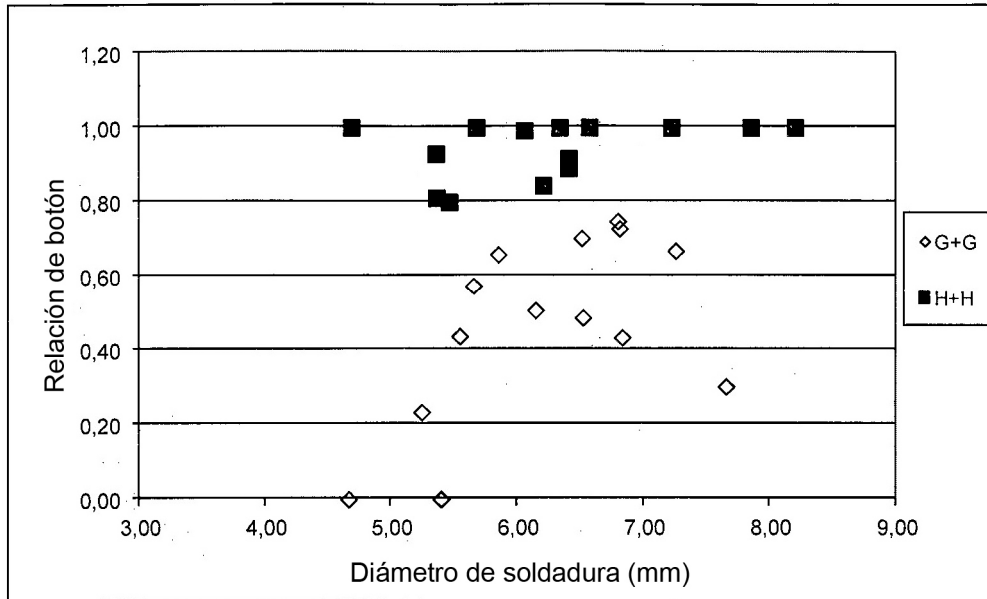


FIG 16 B

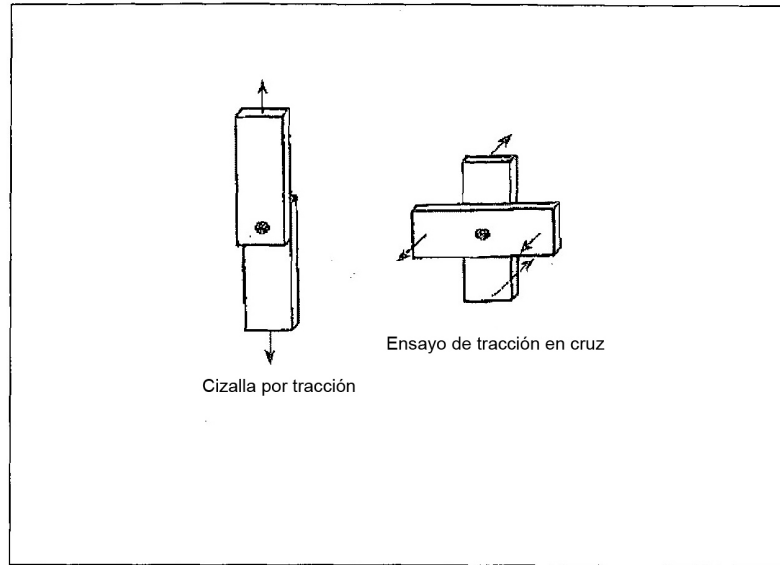


FIG 17

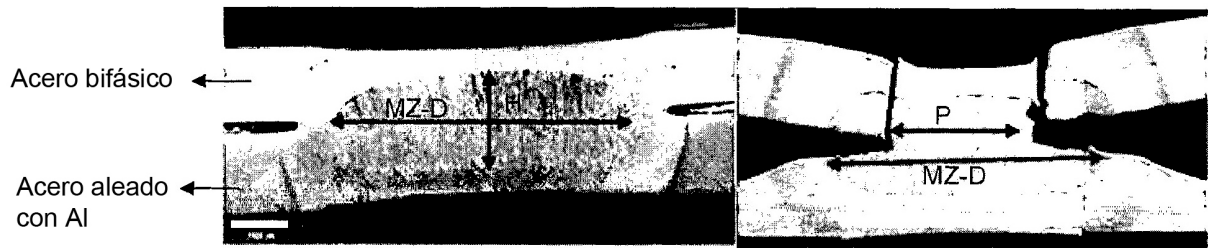
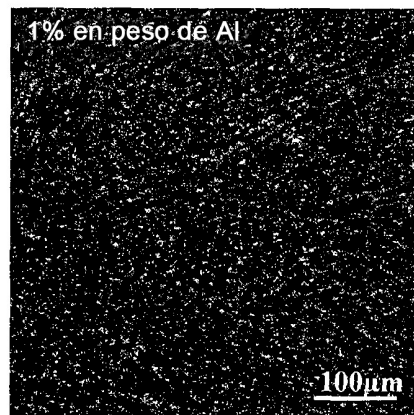
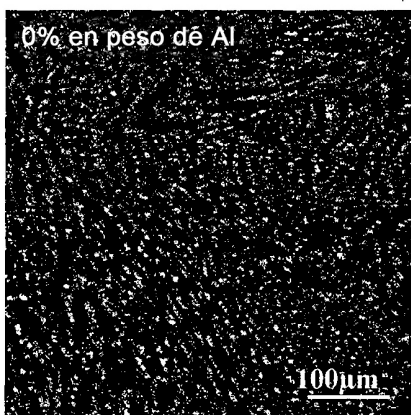


FIG 18



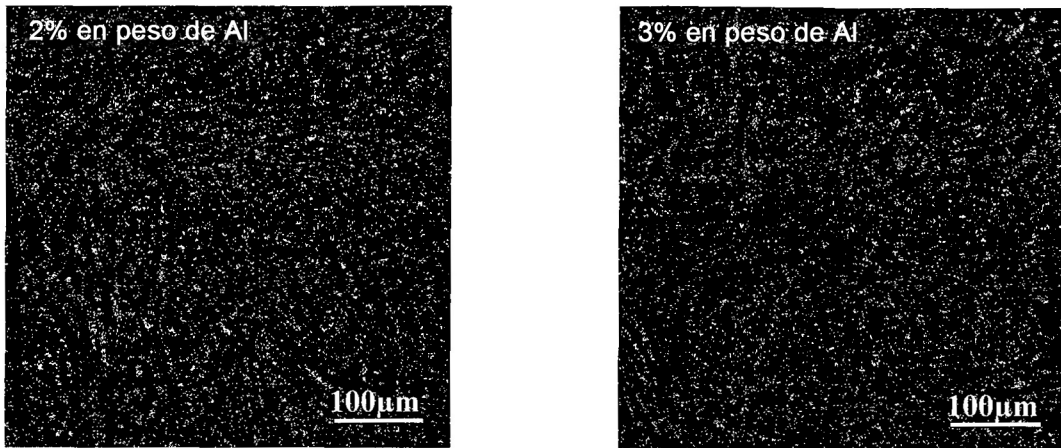


FIG 19

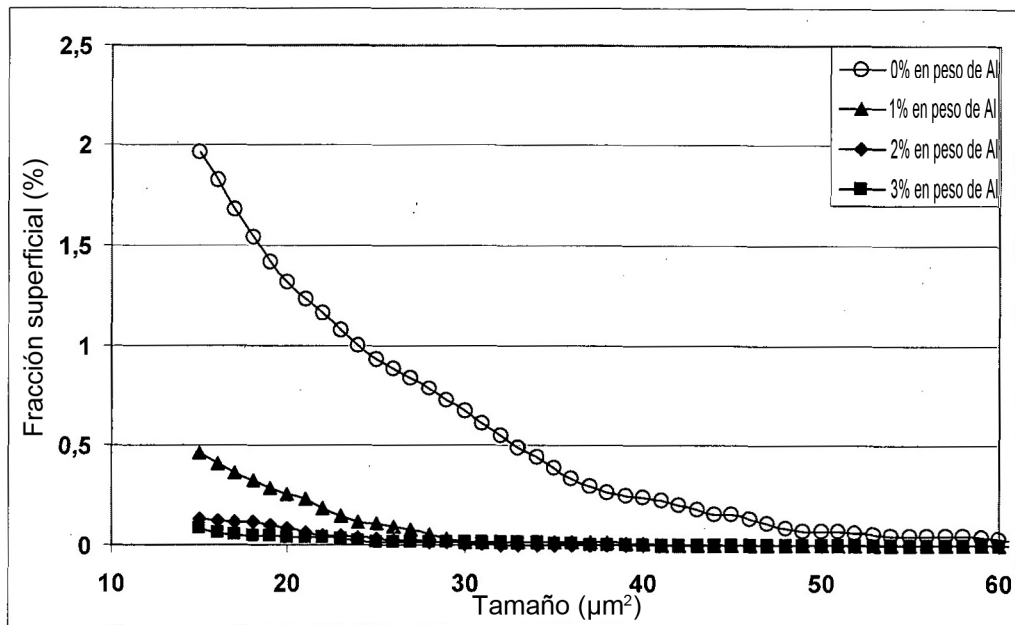


FIG 20 A

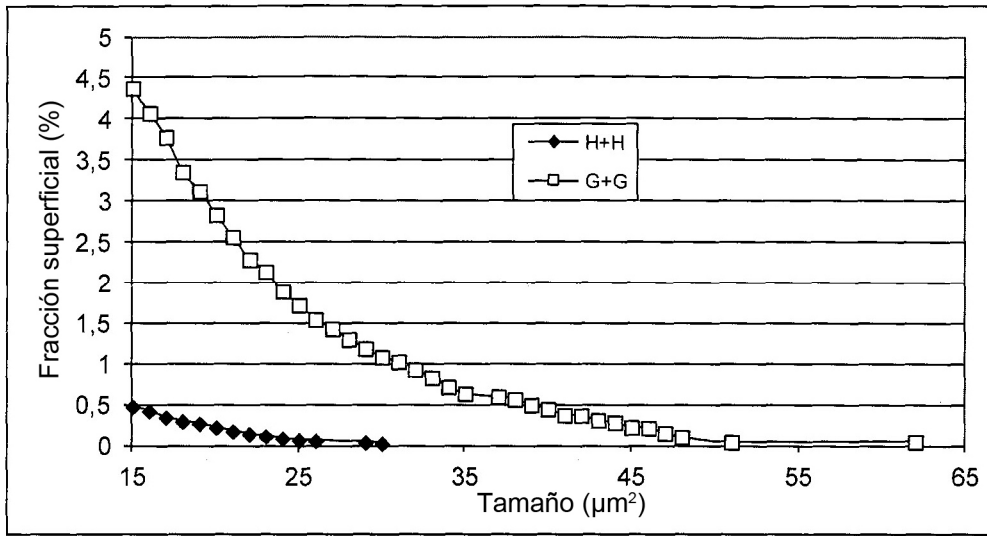


FIG 20 B

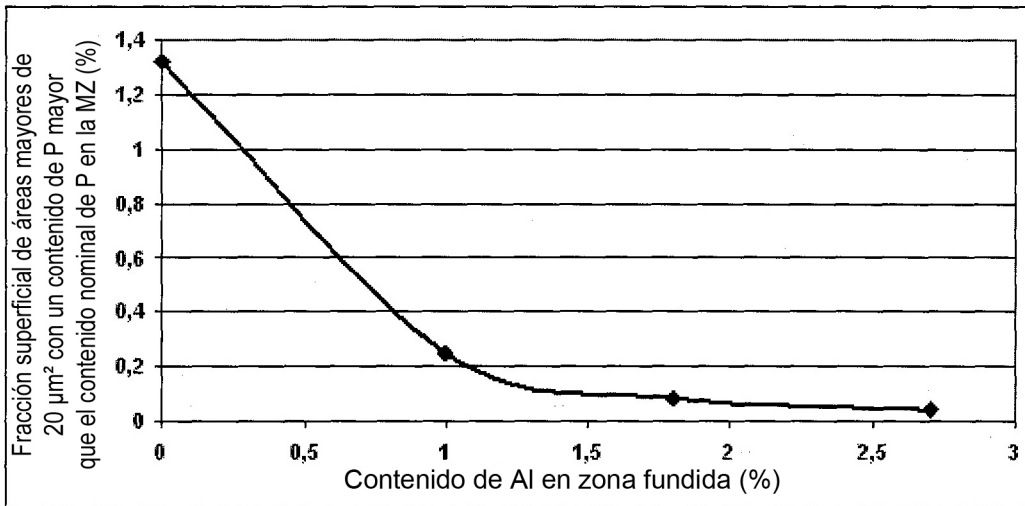


FIG 21

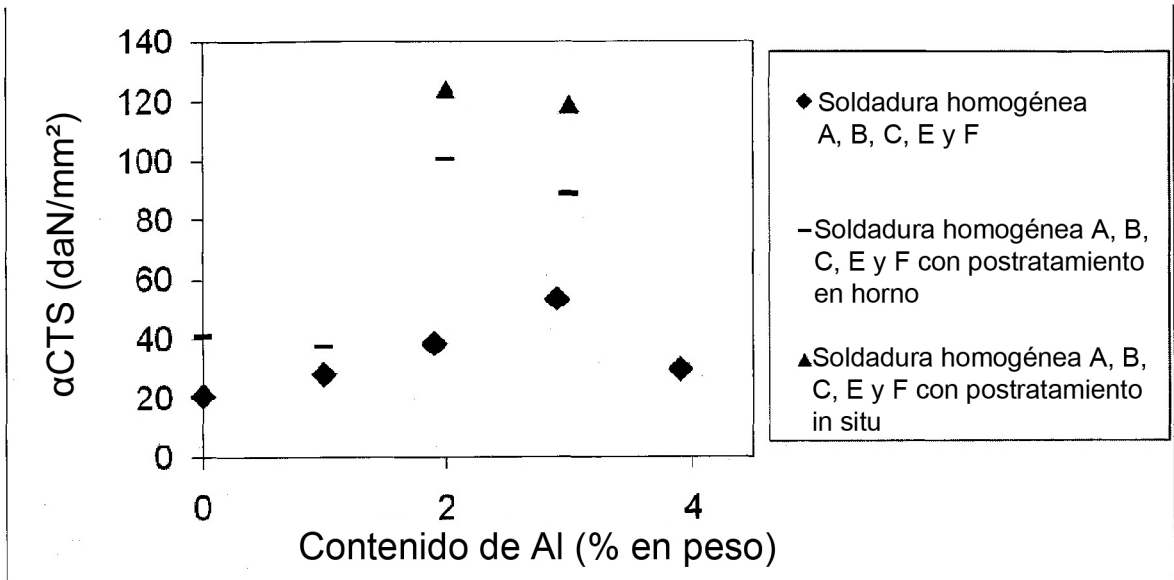


FIG 22 A

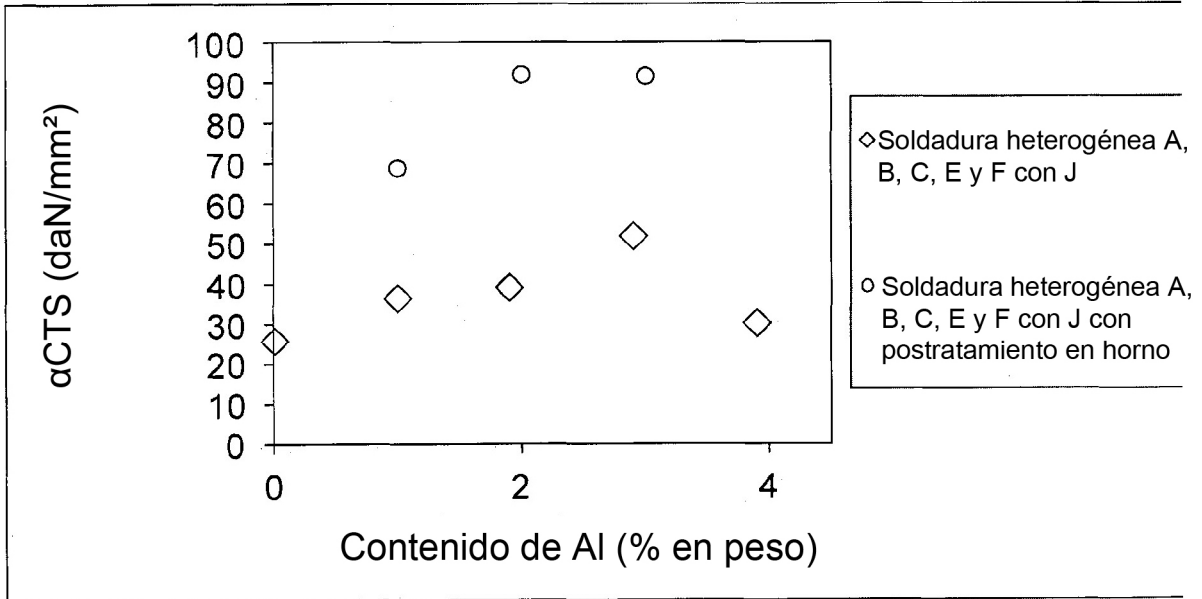


FIG 22 B