

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 293**

51 Int. Cl.:

B22D 11/00 (2006.01)
B32B 15/04 (2006.01)
B32B 15/20 (2006.01)
F28F 21/08 (2006.01)
B23K 35/02 (2006.01)
B32B 15/01 (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)
C22C 21/10 (2006.01)
C22C 21/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2014** **E 18182924 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.04.2020** **EP 3424615**

54 Título: **Aleación de núcleo de chapa de soldadura fuerte para intercambiador de calor**

30 Prioridad:

13.03.2013 US 201361779149 P
27.09.2013 US 201361883461 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
23.11.2020

73 Titular/es:

NOVELIS INC. (100.0%)
3560 Lenox Road, Suite 2000
Atlanta, GA 30326, US

72 Inventor/es:

HOWELLS, ANDREW D.;
AHMED, HANY;
GATENBY, KEVIN MICHAEL;
KADALI, JYOTHI y
MAROIS, PIERRE HENRI

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 795 293 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

Aleación de núcleo de chapa de soldadura fuerte para intercambiador de calor

5 **Campo de la invención**

La presente invención proporciona una chapa metálica multicapa. La chapa metálica multicapa comprende una aleación de núcleo en combinación con capas de revestimiento y puede usarse como un paquete de chapa de soldadura fuerte resistente a la corrosión para su uso en la fabricación de tubos.

10 **Antecedentes**

Los tubos metálicos utilizados en intercambiadores de calor son propensos a mostrar corrosión con el paso del tiempo. Para abordar este problema, algunas formas de tuberías comercialmente disponibles están hechas de una extrusión de *microport* cincado. En este proceso, sobre los tubos de *microport* normalmente se pulveriza zinc puro a medida que los tubos salen de la prensa de extrusión. Sin embargo, el cubrimiento de los tubos con zinc puede ser irregular y los tubos son costosos de producir. Además, estas extrusiones pueden presentar baja solidez en la condición posterior a la soldadura fuerte. Son deseables aleaciones alternativas para utilizarlas en la preparación de los tubos.

La aleación de núcleo de larga vida útil (LL - *long life*) es conocida en la técnica anterior y está descrita en la patente estadounidense n.º 6.019.939. Esta aleación de núcleo LL contiene los siguientes elementos, todos ellos expresados en porcentaje en peso (% en peso): no más de un 0,15% de Si; no más de un 0,4% de Fe; hasta un 0,1% de Ti; un 0,5-1,0% de Cu; un 0,7-1,5% de Mn; hasta un 0,8% de Mg; hasta un 0,3% de V y/o hasta un 0,3% de Cr. Los estudios han mostrado que la aleación de núcleo LL descrita en la patente estadounidense n.º 6.019.939 experimentan perforación y fallo después de 3 semanas en ensayos de corrosión acelerada en relación con al aire. Por lo tanto, existe una necesidad de una aleación de núcleo de chapa de soldadura fuerte con alta solidez, resistencia a la corrosión y tolerancia de absorción de residuos metálicos para su uso en aplicaciones de intercambiadores de calor, por ejemplo, intercambiadores de calor de automóviles. El uso de más metales alternativos que contienen Fe y Si en el metal de aportación para la formación de la aleación puede reducir los costes y aumentar la capacidad de reciclaje.

El documento US 6.261.706 B1 se refiere a un material revestido de aleación de aluminio para intercambiadores de calor que presenta alta solidez y excelente resistencia a la corrosión, y que comprende un material de ánodo de sacrificio que está revestido por una cara con un material de núcleo, en donde el material de núcleo comprende una aleación de aluminio que comprende un 0,3-2,0% de Mn, un 0,25-1,0% de Cu, un 0,3-1,1% de Si, y un 0,05-0,35% de Ti, consistiendo la parte restante en aluminio e impurezas, el material de ánodo de sacrificio comprende una aleación de aluminio que comprende un 1,5-8% de Zn, un 0,01-0,8% de Si, y un 0,01-0,3% de Fe, consistiendo la parte restante en aluminio e impurezas, y la cantidad total de partículas de compuestos de Si y compuestos de Fe con un diámetro de partícula (diámetro circular equivalente) de 1 μm o más presentes en el material de ánodo de sacrificio es de 2×10^4 o menos por 1 mm^2 .

40 **Sumario**

La presente invención proporciona chapas metálicas multicapa. La chapa metálica multicapa comprende una capa de núcleo que tiene una primera cara y una segunda cara, y una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento tal como se reivindica en la reivindicación 1. La capa de núcleo está revestida por ambas caras. La primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento pueden tener la misma composición química o diferente.

Estas chapas metálicas multicapa son resistentes a la corrosión y proporcionan un paquete de soldadura fuerte para su uso en la fabricación de tubos. La chapa metálica multicapa comprende una capa de núcleo de aleación que contiene aluminio, que comprende hasta un 0,25% de Si, hasta un 0,25% de Fe, un 0,5-0,6% de Cu, un 1,4-1,6% de Mn, un 0,06-0,14% de Mg, hasta un 0,05% de Cr, hasta un 0,04% de Zn, un 0,1-0,2% de Ti, hasta un 0,05% de Sr, hasta un 0,15% de impurezas, y el resto de aluminio, en la que la capa de núcleo tiene una primera cara y una segunda cara; una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento, en la que la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento están hechas de una aleación que comprende un 6-13% de Si, hasta un 0,4% de Fe, hasta un 0,1% de Cu, hasta un 0,1% de Mn, hasta un 0,20% de Mg, hasta un 0,05% de Cr, un 2,5-4,0% de Zn, hasta un 0,05% de Ti, hasta un 0,02% de Sr, hasta un 0,15% de impurezas, y el resto aluminio. En la chapa metálica multicapa, la primera cara de la capa de núcleo es adyacente a la primera capa de revestimiento para formar una primera interfase y la segunda cara de la capa de núcleo es adyacente a una segunda capa de revestimiento para formar una segunda interfase.

Las aleaciones de núcleo descritas en esta solicitud de patente pueden producirse a partir de una gama más amplia de aportaciones de metal y no contienen V, Cr o Zr añadidos intencionadamente. En caso de presencia de V, Cr o Zr en la aleación de núcleo, estos solo están presentes como una impureza procedente de la aportación de metal de residuos metálicos. La suma de impurezas en la aleación de núcleo es de hasta un 0,15%. Las impurezas individuales,

tales como V, Cr o Zr, pueden ser de un 0% o menores de un 0,05%, menores de un 0,04%, menores de un 0,03%, o menores de un 0,02%, siempre que la suma de todas las impurezas no sea superior a un 0,15%.

La chapa descrita en el presente documento puede comprender además una aleta. La aleta puede ser una aleta que contiene zinc o una aleta que contiene aluminio. Opcionalmente, la aleta que contiene zinc puede contener zinc en una cantidad de un 1,5% o más. En otra realización, la aleta que contiene zinc puede contener zinc en una cantidad de un 3,0% o más.

El núcleo se moldea mediante cualquier proceso de fundición comercial adecuado, siendo preferible el método de fundición continua (DC). A continuación el lingote se puede escarpar. En una realización de la presente invención en la que se empleó la fundición DC, los lingotes de fundición DC se calentaron después a 520 °C en 12 horas. Después de esta etapa se llevó a cabo un mantenimiento térmico a 520 °C durante 5 horas en el caso de los primeros lingotes y cerca de 6 horas en el caso de los últimos lingotes producidos. A continuación, los lingotes se laminaron en caliente hasta un calibre de 19 mm de espesor. Después se soldó el material de revestimiento al núcleo. El material de revestimiento consistía en una aleación de soldadura fuerte a base de aluminio que contenía Si como elemento de aleación principal. Se utilizó una aleación de aluminio AA4343 (nominal o promedio de un 7,2% de Si con una cantidad mínima de aproximadamente un 6,7%) como material de revestimiento, que se unió por laminación a las diversas composiciones de aleación de núcleo ensayadas. Posteriormente, el paquete se recalentó después de soldar a 450 °C durante 45-60 minutos. A continuación, el paquete se laminó en caliente hasta un calibre de 3-4 mm de espesor. Posteriormente, el paquete se laminó en frío hasta un calibre de 1-2 mm de espesor. Después se siguió laminando en frío adicionalmente hasta alcanzar el espesor de calibre final requerido (aproximadamente 300 µm). Se ha de señalar que el espesor objetivo del revestimiento era de aproximadamente un 7,5% del espesor total de la chapa de soldadura fuerte, lo que corresponde aproximadamente a 300 µm. Luego se aplicó un tratamiento de recocido parcial a 305 °C durante 3 horas para asegurar que la aleación estuviera en condiciones de temple H24.

La chapa de aleación de soldadura fuerte se sometió a un ciclo de soldadura fuerte simulada, calentándola en el horno, mantenido a 605-610 °C, durante 3-5 minutos y enfriándola después con aire. Durante este proceso, se formó la banda de precipitado denso (DPB) en la superficie de la aleación de núcleo en posición adyacente a la aleación de soldadura fuerte.

La aleación de núcleo y la chapa de aleación de soldadura fuerte se pueden utilizar en diversas aplicaciones, por ejemplo, en intercambiadores de calor como radiadores, condensadores, evaporadores, refrigeradores por aceite, refrigeradores intermedios, refrigeradores de aire de sobrealimentación y núcleos de calentador. La aleación de núcleo y la chapa de aleación de soldadura fuerte son particularmente útiles para intercambiadores de calor de automóvil de alto rendimiento y peso ligero, pero podrían ser utilizadas para otras aplicaciones de soldadura fuerte que incluyen, de forma no exclusiva, refrigeración y HVAC. Otros objetos y ventajas de la invención se evidenciarán a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones de la invención.

Breve descripción de las figuras

La figura 1 incluye microfotografías que muestran la muestra AB916 después de inmersión en una solución de HCl 0,1 M durante 24 horas, 48 horas, 72 horas, 120 horas, 144 horas y 168 horas.

La figura 2 incluyen microfotografías que muestran la muestra AB996 después de inmersión en una solución de HCl 0,1 M durante 24 horas, 48 horas, 72 horas, 120 horas, 144 horas y 168 horas.

La figura 3 incluye microfotografías que muestran la muestra A después de inmersión en una solución de HCl 0,1 M durante 24 horas, 48 horas, 72 horas, 120 horas, 144 horas y 168 horas.

La figura 4 incluye microfotografías que muestran los resultados de la muestra AB916, la muestra AB996 y la muestra A (cuadros izquierdos, centrales y derechos, respectivamente) después de inmersión en una solución de HCl 0,1 M durante 24 horas y 168 horas.

La figura 5 incluye imágenes de microscopía óptica de los paquetes que contienen el revestimiento AA4045 + 1% Zn. El cuadro (a) muestra el paquete PDT/AA4045 + 1% Zn. El cuadro (b) muestra el paquete PDU/AA4045 + 1% Zn. El cuadro (c) muestra el paquete PDV/AA4045 + 1% Zn. El cuadro (d) muestra el paquete PDW/AA4045 + 1% Zn. El cuadro (e) muestra el paquete PDX/AA4045 + 1% Zn.

La figura 6 incluye imágenes de microscopía óptica de los paquetes que contienen el revestimiento AA4343. El cuadro (a) muestra el paquete PDT/AA4343. El cuadro (b) muestra el paquete PDU/AA4343. El cuadro (c) muestra el paquete PDV/AA4343. El cuadro (d) muestra el paquete PDW/AA4343. El cuadro (e) muestra el paquete PDX/AA4343.

La figura 7 muestra las propiedades de tracción de los paquetes en estado bruto de laminación. El cuadro (a) muestra el límite elástico. El cuadro (b) muestra la carga de rotura por tracción. El cuadro (c) muestra el porcentaje de alargamiento.

La figura 8 muestra las propiedades de tracción de los paquetes parcialmente recocidos. El cuadro (a) muestra el límite elástico. El cuadro (b) muestra la carga de rotura por tracción. El cuadro (c) muestra el porcentaje de alargamiento.

5 La figura 9 muestra las propiedades de tracción de los paquetes después de la soldadura fuerte. El cuadro (a) muestra el límite elástico. El cuadro (b) muestra la carga de rotura por tracción. El cuadro (c) muestra el porcentaje de alargamiento.

10 La figura 10 muestra fotografías de los paquetes que contienen los núcleos de PDT (cuadros superiores), PDU (cuadros centrales) y PDV (cuadros inferiores) en combinación con el revestimiento AA4343 después de haber sido sometidos al ensayo SWAAT durante 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas.

15 La figura 11 muestra fotografías de los paquetes que contienen los núcleos de PDT (cuadros superiores), PDU (cuadros centrales) y PDV (cuadros inferiores) en combinación con el revestimiento AA4045 + 1% Zn después de haber sido sometidos al ensayo SWAAT durante 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas.

20 La figura 12 muestra fotografías del paquete que incluye el revestimiento que no contiene zinc después de haber sido sometido a ensayos SWAAT durante 2 semanas (cuadro izquierdo), y del paquete que incluye el revestimiento que contiene un 1% de zinc después de haber sido sometido a ensayos SWAAT durante 6 semanas (cuadro derecho).

25 La figura 13 muestra fotografías del paquete que incluye el núcleo de PDT y el revestimiento que no contiene zinc después de haber sido sometido a ensayos SWAAT durante 2 semanas (cuadro izquierdo), y del paquete que incluye el núcleo de PDV y el revestimiento que no contiene zinc después de haber sido sometido a ensayos SWAAT durante 6 semanas (cuadro derecho).

La figura 14 es una representación esquemática de los resultados de los exámenes metalográficos de las muestras sometidas a ensayos SWAAT para las aleaciones 2, 3 y 4, así como la aleación comparativa (H) presentada en la tabla 2.

30 La figura 15 muestra los perfiles del porcentaje en peso de Si medidos después de la soldadura fuerte en las muestras H, I, J y K utilizando espectroscopia de emisión óptica por descarga luminiscente (GD-OES).

Descripción

Definiciones

40 El término "hasta" incluye el 0%. El término "hasta" un número particular incluye ese número. Un guión (-) entre dos números en un intervalo para cualquier elemento, por ejemplo 6-13, indica de 6 a 13 y el intervalo incluye 6, 13 y cualquier cantidad entre 6 y 13. Los elementos se indican en porcentaje en peso (% en peso) o porcentaje de la aleación en toda la solicitud.

45 La presente invención proporciona un paquete de chapa de soldadura fuerte resistente a la corrosión para su uso en la fabricación de tubos. El paquete de chapa de soldadura fuerte incluye una capa de núcleo de aleación que contiene aluminio y que tiene una primera cara y una segunda cara. La primera cara de la capa de núcleo está en posición adyacente a la primera capa de revestimiento para formar una primera interfase. La segunda cara de la capa de núcleo está en posición adyacente a una segunda capa de revestimiento para formar una segunda interfase. Como entenderán los expertos en la técnica, la capa de núcleo es generalmente la designación que se le da a la capa cuyo propósito principal consiste en influir en las propiedades mecánicas generales del producto de chapa total. Las capas de revestimiento se refieren a las capas que determinan las características de la superficie (por ejemplo, resistencia a la corrosión). Algunas de las aleaciones descritas en el presente documento están identificadas utilizando el sistema de designación numérica según lo dispuesto en "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys", publicado por The Aluminum Association, revisado en febrero de 2009.

Composición de aleación de núcleo

60 La capa de núcleo consiste en una aleación que contiene aluminio. En algunas realizaciones, las aleaciones designadas como aleaciones de la "serie X900" son adecuadas para utilizarlas como la capa de núcleo. Opcionalmente, una aleación adecuada para utilizarla como la capa de núcleo incluye una aleación de composición similar a la de la aleación X901, pero que contiene un mayor porcentaje de Ti. Es posible añadir Ti adicional para llegar a una cantidad total de Ti de un 0,1-0,2% para obtener una aleación designada como aleación X912. En la tabla 1 se proporciona la composición elemental de la aleación X912 (no según la invención).

65

Tabla 1

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	Hasta 0,25
Fe	Hasta 0,25
Cu	0,5 - 0,65
Mn	1,4 - 1,6
Mg	0,06 - 0,14
Cr	Hasta 0,05
Zn	Hasta 0,04
Ti	0,1 - 0,2
Sr	0,05
Impurezas	Hasta 0,15 en total
Al	Resto

- 5 La aleación de núcleo comprende hasta un 0,25% de Si, hasta un 0,25% de Fe, un 0,5-0,6% de Cu, un 1,4-1,6% de Mn, un 0,06-0,14% de Mg, hasta un 0,05% de Cr, hasta un 0,04% de Zn, un 0,1- 0,2% de Ti, hasta un 0,05% de Sr, hasta un 0,15% de impurezas, y el resto de Al.

- 10 La capa de núcleo incluye hasta un 0,25% de silicio (Si). Por ejemplo, la capa de núcleo puede incluir un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04%, un 0,05%, un 0,06%, un 0,07%, un 0,08%, un 0,09%, un 0,1%, un 0,11%, un 0,12%, un 0,13%, un 0,14%, un 0,15%, un 0,16%, un 0,17%, un 0,18%, un 0,19%, un 0,2%, un 0,21%, un 0,22%, un 0,23%, un 0,24% o un 0,25% de Si. La capa de núcleo también puede incluir hasta un 0,25% de hierro (Fe). En algunas realizaciones, la capa de núcleo puede incluir un 0,1%, un 0,11%, un 0,12%, un 0,13%, un 0,14%, un 0,15%, un 0,16%, un 0,17%, un 0,18%, un 0,19%, un 0,2%, un 0,21%, un 0,22%, un 0,23%, un 0,24% o un 0,25% de Fe. La capa de núcleo incluye además cobre (Cu) en una cantidad de un 0,5%-0,6%. Por ejemplo, la capa de núcleo puede incluir un 0,5%, un 0,51%, un 0,52%, un 0,53%, un 0,54%, un 0,55%, un 0,56%, un 0,57%, un 0,58%, un 0,59%, un 0,6%, un 0,61%, un 0,62%, un 0,63% o un 0,64% de Cu.

- 20 La capa de núcleo incluye además manganeso (Mn) en una cantidad de un 1,4% a un 1,6% (por ejemplo, un 1,4%, un 1,5% o un 1,6%). El magnesio (Mg) está incluido en la capa de núcleo en una cantidad de un 0,06% a un 0,14%. Por ejemplo, el Mg puede estar incluido en la capa de núcleo en una cantidad de un 0,06%, un 0,07%, un 0,08%, un 0,09%, un 0,1%, un 0,11%, un 0,12%, un 0,13% o un 0,14%. El titanio (Ti) está incluido en la capa de núcleo en una cantidad de un 0,1% a un 0,2% (por ejemplo, un 0,1%, un 0,11%, un 0,12%, un 0,13%, un 0,14%, un 0,15%, un 0,16%, un 0,17%, un 0,18%, un 0,19% o un 0,2%). La presencia de Ti en la capa de núcleo, entre otros componentes, da como resultado una capa de núcleo con propiedades de resistencia a la corrosión. Opcionalmente, la capa de núcleo puede incluir además hasta un 0,05% de cromo (Cr) y/o estroncio (Sr). Por ejemplo, la capa de núcleo puede incluir un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04% o un 0,05% de Cr. La capa de núcleo puede incluir un 0,001%, un 0,005%, un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04% o un 0,05% de Sr. Opcionalmente, la capa de núcleo puede incluir hasta un 0,04% de Zinc (Zn). En algunas realizaciones, la capa de núcleo incluye trazas de uno o más de Cr, Zn y Sr. Tal como se utiliza en el presente documento, trazas significa que el elemento está presente en una cantidad de menos de un 0,001% (por ejemplo, menos de un 0,005%, menos de un 0,0005%, o menos de un 0,0001%).

- 35 La cantidad total de impurezas presentes en la capa de núcleo puede ser de hasta un 0,15%. Opcionalmente, cada impureza puede estar presente en una cantidad de hasta un 0,05% de la capa de núcleo. El porcentaje restante de la capa de núcleo consiste en aluminio.

- 40 Se ha de entender que las composiciones de aleación de núcleo descritas más arriba pueden contener otros elementos traza, designados a veces como impurezas, en la aportación de metal de residuos metálicos, por debajo de un 0,05%, por debajo de un 0,04%, por debajo de un 0,03%, por debajo de un 0,02% o por debajo de un 0,01%. Estas impurezas en el metal de residuos metálicos pueden incluir, de forma no exclusiva, V, Zr y Cr o combinaciones de los mismos. Por consiguiente, las aleaciones de núcleo pueden presentar V, Zr o Cr en cantidades de un 0,05%, por debajo de un 0,05%, por debajo de un 0,04%, por debajo de un 0,03%, por debajo de un 0,02% o por debajo de un 0,01%. En general, los niveles de impureza están por debajo de un 0,05% en el caso del Cr y por debajo de un 0,01% en el caso del Zr. Cuando hay impurezas presentes, por ejemplo, de metal de residuos metálicos como un metal de aportación, estas están presentes en una cantidad máxima de un 0,05% cada una, siempre que la suma de todas las impurezas no sea superior a un 0,15%.

- 50 El espesor de la capa de núcleo puede ser de 100 micras a 4000 micras. Por ejemplo, la capa de núcleo puede ser de 150 micras a 3500 micras, de 200 micras a 3000 micras, de 250 micras a 2500 micras, de 300 micras a 2000 micras, de 350 micras a 1500 micras, de 400 micras a 1000 micras, de 450 micras a 900 micras, de 500 micras a 800 micras, o de 550 micras a 700 micras.

Las aleaciones arriba descritas para utilizarlas como la capa de núcleo son resistentes a la corrosión y tienen buenas propiedades mecánicas. Las aleaciones se formulan para producir una banda de sacrificio de precipitados densos en

las interfases primera y segunda (es decir, entre la aleación de núcleo y las capas de revestimiento primera y segunda). Tal como se utiliza en el presente documento, sacrificio significa que la región de la banda de precipitado denso se corroerá antes que la capa de núcleo. La región de la banda de precipitado denso se puede formar durante el ciclo de soldadura fuerte. Esta banda evita la perforación de los tubos desde el exterior y mejora la resistencia a la corrosión de la capa de núcleo, tal como se describe en la patente estadounidense n.º 5.041.343, en la patente estadounidense n.º 5.037.707, en la patente estadounidense n.º 6.019.939 y en la publicación de patente internacional n.º WO 94/22633. La banda de precipitado denso tiene generalmente un espesor de alrededor de 20-50 μm (por ejemplo, alrededor de 25-40 μm).

10 Capas de revestimiento

La presente invención proporciona chapas metálicas multicapa que incluyen la composición de aleación de aluminio descritas más arriba como la aleación de núcleo. La chapa metálica multicapa comprende una capa de núcleo, tal como se ha descrito más arriba, que tiene una primera cara y una segunda cara, y una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento. La capa de núcleo está revestida por ambas caras. La primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento pueden tener la misma composición química o diferente.

Estas chapas metálicas multicapa son resistentes a la corrosión y proporcionan un paquete de soldadura fuerte para su uso en la fabricación de tubos. La chapa metálica multicapa comprende una capa de núcleo de aleación que contiene aluminio tal como se define en la reivindicación 1, en donde la capa de núcleo tiene una primera cara y una segunda cara; una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento, en la que la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento están hechas de una aleación tal como se define en la reivindicación 1. En la chapa metálica multicapa, la primera cara de la capa de núcleo está en posición adyacente a la primera capa de revestimiento para formar una primera interfase y la segunda cara de la capa de núcleo está en posición adyacente a una segunda capa de revestimiento para formar una segunda interfase.

Tal como se ha descrito más arriba, el paquete de chapa de soldadura fuerte incluye una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento. La primera capa de revestimiento está en posición adyacente y en contacto con la primera cara de la capa de núcleo para formar una primera interfase (es decir, no hay capas interpuestas entre la primera capa de revestimiento y la primera cara de la capa de núcleo). La segunda capa de revestimiento está en posición adyacente y en contacto con la segunda cara de la capa de núcleo para formar una segunda interfase (es decir, no hay capas interpuestas entre la segunda capa de revestimiento y la segunda cara de la capa de núcleo). Las capas de revestimiento primera y segunda contienen zinc. En algunas realizaciones, las capas de revestimiento primera y segunda son aleaciones de la "serie AA4000". Opcionalmente, las aleaciones adecuadas para utilizarlas como capas de revestimiento primera y segunda incluyen una aleación de composición similar a la de la aleación AA4343, pero que contiene un mayor porcentaje de Zn. Es posible añadir Zn adicional para llegar a una cantidad total de Zn de aproximadamente un 2,5% a aproximadamente un 3,5%, de aproximadamente un 2,7% a aproximadamente un 3,3%, basada en cada una de las capas de revestimiento primera y segunda.

Opcionalmente, en algunas realizaciones, las aleaciones adecuadas para utilizarlas como capas de revestimiento primera y segunda incluyen una aleación de composición similar a la de la aleación X403, pero que contiene un mayor porcentaje de Zn. Es posible añadir Zn adicional para llegar a una cantidad total de Zn de un 2,7% a un 3,3%, basada en cada una de las capas de revestimiento primera y segunda, para obtener una aleación designada como aleación X477.

Las capas de revestimiento primera y segunda incluyen un 6,0-13,0% de Si (por ejemplo, un 7,0-8,0% de Si). Por ejemplo, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir un 6,0%, un 6,1%, un 6,2%, un 6,3%, un 6,4%, un 6,5%, un 6,6%, un 6,7%, un 6,8%, un 6,9%, un 7,0%, un 7,1%, un 7,2%, un 7,3%, un 7,4%, un 7,5%, un 7,6%, un 7,7%, un 7,8%, un 7,9%, un 8,0%, un 8,1%, un 8,2%, un 8,3%, un 8,4%, un 8,5%, un 8,6%, un 8,7%, un 8,8%, un 8,9%, un 9,0%, un 9,1%, un 9,2%, un 9,3%, un 9,4%, un 9,5%, un 9,6%, un 9,7%, un 9,8%, un 9,9%, un 10,0%, un 10,1%, un 10,2%, un 10,3%, un 10,4%, un 10,5%, un 10,6%, un 10,7%, un 10,8%, un 10,9%, un 11,0%, un 11,1%, un 11,2%, un 11,3%, un 11,4%, un 11,5%, un 11,6%, un 11,7%, un 11,8%, un 11,9%, un 12,0%, un 12,1%, un 12,2%, un 12,3%, un 12,4%, un 12,5%, un 12,6%, un 12,7%, un 12,8%, un 12,9% o un 13,0% de Si. Las capas de revestimiento primera y segunda también pueden incluir hasta un 0,4% de Fe. En algunas realizaciones, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir un 0,1%, un 0,15%, un 0,2%, un 0,25%, un 0,3%, un 0,35% o un 0,4% de Fe. Las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir además Cu y/o Mn en cantidades de hasta un 0,1%. En algunas realizaciones, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir cantidades de trazas de uno o más de Cu y Mn.

Opcionalmente, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir además hasta un 0,20% de Mg. Por ejemplo, las capas de revestimiento primera y la segunda pueden incluir un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04%, un 0,05%, un 0,06%, un 0,07%, un 0,08%, un 0,09%, un 0,1%, un 0,11%, un 0,12%, un 0,13%, un 0,14%, un 0,15%, un 0,16%, un 0,17%, un 0,18%, un 0,19% o un 0,20% de Mg. Opcionalmente, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir además hasta un 0,05% tanto de Cr como de Ti. Las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04% o un 0,05% de Cr. Las capas de revestimiento primera y

segunda pueden incluir un 0,01%, un 0,02%, un 0,03%, un 0,04% o un 0,05% de Ti. En algunas realizaciones, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir cantidades de trazas de uno o más de Mg, Cr y Ti.

Las capas de revestimiento primera y segunda incluyen además de un 2,5% a un 4,0% de Zn. Por ejemplo, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir un 2,5%, un 2,6%, un 2,7%, un 2,8%, un 2,9%, un 3%, un 3,1%, un 3,2%, un 3,3%, un 3,4%, un 3,5%, un 3,6%, un 3,7%, un 3,8%, un 3,9%, o un 4% de Zn. El Zn se puede difundir en la capa de núcleo durante el ciclo de soldadura fuerte, lo que genera una capa de difusión de Zn dentro del núcleo que da como resultado un material resistente a la corrosión. Las capas de revestimiento primera y segunda también pueden incluir Sr en una cantidad de hasta un 0,02% (es decir, de un 0% a un 0,02%). Por ejemplo, las capas de revestimiento primera y segunda pueden incluir Sr en una cantidad de un 0,001%, un 0,002%, un 0,003%, un 0,004% en peso, un 0,005%, un 0,006%, un 0,007%, un 0,008%, un 0,009%, un 0,01%, un 0,011%, un 0,012%, un 0,013%, un 0,014%, un 0,015%, un 0,016%, un 0,017%, un 0,018%, un 0,019% o un 0,02%.

La cantidad total de impurezas presentes en las capas de revestimiento primera y segunda puede ser de hasta un 0,15%. Opcionalmente, cada impureza puede estar presente en una cantidad de hasta un 0,05% de las capas de revestimiento primera y segunda. El porcentaje restante de las capas de revestimiento primera y segunda consiste en aluminio.

En algunas realizaciones, la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento tienen composiciones idénticas. En otras realizaciones, la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento tienen composiciones diferentes.

El espesor tanto de la primera capa de revestimiento como de la segunda capa de revestimiento puede ser de hasta un 18% del espesor de la capa de núcleo. Por ejemplo, las capas de revestimiento primera y segunda pueden ser de hasta un 17,5%, un 17%, un 16,5%, un 16%, un 15,5%, un 15%, un 14,5%, un 14%, un 13,5%, un 13%, un 12,5%, un 12%, un 11,5%, un 11%, un 10,5%, un 10%, un 9,5%, un 9%, un 8,5%, un 8%, un 7,5%, un 7%, un 6,5%, o un 6% del espesor de la capa de núcleo.

Paquete de chapa de soldadura fuerte

A partir de la capa de núcleo, la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento se puede producir una chapa metálica revestida utilizando cualquier método convencional conocido por los expertos en la técnica. Por ejemplo, la chapa revestida se puede producir mediante laminación de metal en caliente o similar para unir el revestimiento y el núcleo. Opcionalmente, la chapa revestida se puede producir mediante laminación en caliente y en frío de un lingote de fundición compuesto, tal como se describe en la solicitud de patente estadounidense publicada n.º 2005/0011630. La chapa revestida resultante proporciona una buena resistencia a la corrosión.

La chapa revestida, una vez formada, se puede transformar en forma de tubo mediante cualquier método de formación de tubos conocido por los expertos en la técnica. Por ejemplo, la chapa revestida se puede transformar en forma de tubo mediante doblamiento o soldadura. Los tubos resultantes pueden ser utilizados, por ejemplo, en un intercambiador de calor.

Opcionalmente, se puede unir una aleta a la chapa o tubo. En algunas realizaciones, la aleta puede ser una aleta que contiene zinc. Las aletas adecuadas para utilizarlas en los paquetes descritos en el presente documento incluyen aleación 3913, X373, o aleación 31420, X334, con zinc añadido. El contenido de zinc en la aleta puede ser igual o mayor que el contenido de zinc en la superficie de la chapa revestida en forma de tubo después del ciclo de soldadura fuerte. Por ejemplo, la aleta puede contener zinc en una cantidad de un 1,5% o más (por ejemplo, un 1,6% o más, un 1,7% o más, un 1,8% o más, un 1,9% o más, un 2% o más, un 2,1% o más, un 2,2% o más, un 2,3% o más, un 2,4% o más, o un 2,5% o más). La aleta puede proteger el núcleo si se agota la zona de difusión de zinc en el tubo. En algunas realizaciones, la aleta puede consistir en una aleación de Al desnuda.

Método de producción de la composición de aleación y del paquete de chapa de soldadura fuerte

Las composiciones de las aleaciones de núcleo utilizadas en las siguientes secciones experimentales se muestran en la tabla 2, consistiendo el resto en aluminio. Se utilizó el siguiente procedimiento de fabricación. Las composiciones de aleación de núcleo de la tabla 2 se produjeron con un proceso de fundición continua (DC), que se usa comúnmente en toda la industria de las chapas de aluminio, mediante el cual se fundió un pequeño lingote DC de aproximadamente 76 mm x 152 mm x 229 mm. El pequeño lingote DC se escarpó aproximadamente 6,5 mm por cada cara. Los lingotes mecanizados se calentaron después a 520 °C en 12 horas. Después de esta etapa se llevó a cabo un mantenimiento térmico a 520 °C durante 5 horas en el caso de los primeros lingotes y cerca de 6 horas en el caso de los últimos lingotes producidos. A continuación, los lingotes se laminaron en caliente hasta un calibre de 19 mm de espesor. Luego se revistieron por una cara con una placa de 4 mm de espesor de aleación de soldadura fuerte AA4343. Esta composición se calentó a 450 °C durante 45-60 minutos. A continuación, el paquete se laminó en caliente hasta un calibre de 3-4 mm de espesor. Posteriormente, el paquete se laminó en frío hasta un calibre de 1-2 mm de espesor. Después se siguió laminando en frío hasta alcanzar el espesor de calibre final requerido (aproximadamente 300 µm). Se ha de señalar que el espesor objetivo del revestimiento era de aproximadamente un 7,5% del espesor total de la

chapa de soldadura fuerte, lo que corresponde aproximadamente a 300 μm . El recocido parcial implicó una rampa de temperatura de 30 °C por hora seguida de un mantenimiento térmico durante 3 horas a 305 °C para asegurar que la aleación estuviera en condiciones de temple H24.

La chapa de aleación de soldadura fuerte se sometió a un ciclo de soldadura fuerte simulada, calentándola en un horno, mantenido a 605-610 °C, durante 3 minutos y enfriándola después con aire. Durante este proceso, se forma la banda de precipitado denso, también conocida como banda marrón, en la superficie de la aleación de núcleo en posición adyacente a la aleación de soldadura fuerte. La banda de precipitación densa se desarrolla por completo durante la soldadura fuerte. La aleación comparativa H es una aleación fundida que se encuentra dentro del rango de composición, como se describe en la patente estadounidense nº 6.019.939.

Tabla 2 (todo en % en peso)

Aleación n.º	Mn	Cu	Mg	Si	Fe	Ti
Comparativa (H)	1,49	0,55	0,10	0,06	0,18	0,011
2 (I)	1,50	0,55	0,10	0,24	0,19	0,010
3 (J)*	1,48	0,56	0,09	0,32	0,20	0,011
4 (K)*	1,51	0,57	0,09	0,40	0,21	0,011
5 (L)*	1,48	0,58	0,10	0,06	0,34	0,011
6 (M)*	1,50	0,58	0,10	0,06	0,47	0,011
7 (P)	1,50	0,59	0,10	0,06	0,18	0,14
9 (R)	1,50	0,58	0,10	0,24	0,18	0,14
10 (S)*	1,52	0,58	0,10	0,25	0,35	0,14
11 (T)*	1,54	0,58	0,10	0,24	0,46	0,15
12 (U)*	1,51	0,57	0,10	0,31	0,35	0,16
13 (V)*	1,52	0,58	0,10	0,31	0,49	0,16
14 (W)*	1,55	0,57	0,09	0,38	0,32	0,17

* no según la invención

Propiedades de la composición de aleación

Para determinar el comportamiento mecánico y de corrosión del material, así como para examinar los cambios metalúrgicos, se aplicaron los siguientes ensayos. Las muestras se produjeron de acuerdo con las normas ASTM B557. Se analizaron tres muestras de cada variante de aleación y los valores medios fueron incluidos en el informe tanto en las condiciones previas a la soldadura fuerte como en las condiciones posteriores a la soldadura fuerte. Para obtener resultados coherentes, las muestras se fabricaron con una rugosidad de borde de 0,5 Ra. Se llevó a cabo una caracterización de la microestructura para investigar los tamaños y la distribución de los sistemas dispersos y los compuestos intermetálicos, así como la estructura de grano antes y después de la soldadura fuerte. La microestructura se examinó mediante ataque químico de las muestras en HBF_4 al 2,5% durante 60 segundos, seguido de eliminación de hollín en HNO_3 . Para revelar la estructura del grano se utilizó el ataque químico de Barker.

Los valores de corrosión potencial a circuito abierto se midieron usando las normas ASTM G69. Se midió la diferencia en el potencial de corrosión entre la banda de precipitado denso (DPB) y el núcleo (las mediciones de DPB se llevaron a cabo mediante rectificado y pulido para asegurar que la superficie expuesta se encontrara dentro del área de DPB).

La corrosión en relación con el aire (SWAAT) se llevó a cabo de acuerdo con el Anexo 3 de la norma ASTM G85. Se utilizó agua de mar sintética acidificada a pH 2,8-3,0 (42 g/l de sal marina sintética + 10 ml/l de ácido acético glacial). A continuación, las muestras se limpiaron en ácido nítrico al 50% durante 1 hora, se seccionaron en 4 lugares diferentes y se examinaron para detectar la corrosión. Para evaluar la gravedad de la corrosión después de haber sometido las muestras a los ensayos SWAAT se utilizó una escala cualitativa, en la que la corrosión se caracterizó como: en orden, moderada, moderada/grave, grave y muy grave. La gravedad de la corrosión se caracterizó como: (i) en orden: en caso de presencia de corrosión dentro de la región de DPB; (ii) moderada: en caso de presencia de corrosión que justo ha consumido la región de DPB; (iii) moderada/grave: en caso de presencia de corrosión que ya ha consumido de un cuarto a un tercio del espesor del núcleo, (iv) grave: en caso de presencia de corrosión que ha consumido más de la mitad del espesor del núcleo sin perforación y (v) muy grave en caso de presencia de corrosión que ha conducido a perforación.

Se produjeron doce composiciones de aleación DC nuevas (aleaciones numeradas como 2-7 y 9-14, véase la tabla 2), además de la aleación comparativa H. Los intervalos de composición de estas aleaciones nuevas eran los siguientes: un 0-0,5% de Si, un 0,2-0,5% de Fe, un 0,5-1,1% de Cu, un 1,4-1,6% de Mn, un 0-0,35% de Mg, un 0,01-0,17% de Ti, y el resto de aluminio. Estas aleaciones tenían un límite elástico de tracción mínimo de aproximadamente 170 MPa después del tratamiento de recocido parcial. En el caso de la aleación comparativa (H) se obtuvieron un límite elástico mínimo después de la soldadura fuerte de aproximadamente 63 MPa y una carga de rotura por tracción de aproximadamente 172 MPa. Las aleaciones de la tabla 4 presentaban en general un límite elástico después de la

soldadura fuerte y una carga de rotura por tracción mayores que los de la aleación comparativa (H). Por ejemplo, la aleación W (n.º 14) presentaba un límite elástico después de la soldadura fuerte de aproximadamente 72 MPa y una carga de rotura por tracción de aproximadamente 187 MPa (tabla 4).

Se registró el valor de corrosión potencial a circuito abierto (frente a Electrodo de Calomel Estándar (SCE - *Standard Calomel Electrode*)) de -671 mV en el caso de la aleación comparativa H hasta -659 mV en el caso de la aleación R. Dado que la DPB debe actuar como sacrificio para proteger el núcleo, las diferencias mayores en el potencial de corrosión entre ambos indican una protección eficaz, mientras que una reducción del potencial de corrosión indica que la DPB no actuará como una capa de sacrificio eficaz para proteger el material del núcleo. La diferencia en el potencial de corrosión entre la DPB y el núcleo (frente a Electrodo de Calomel Estándar (SCE)) estaba entre 30 y 40 mV, lo que entraba dentro de la especificación requerida para estas aleaciones. Se aplicaron ensayos de corrosión en relación con el aire (SWAAT), donde los materiales pudieron resistir 28 días en un armario SWAAT sin fallos en la condición posterior a la soldadura fuerte en el caso de los intervalos de las nuevas aleaciones desarrolladas, en especial las aleaciones I, J, K, L, P, T y U, en contraste con el fallo en menos de 21 días en el caso de la aleación comparativa H. Estos resultados fueron incluidos en el informe después de aplicar un ciclo de soldadura fuerte simulado en el que la muestra se calentó a una temperatura de 605 °C y a continuación se enfrió en horno hasta aproximadamente 570 °C y posteriormente se enfrió con aire hasta la temperatura ambiente para simular el perfil de temperatura-tiempo de un proceso de soldadura fuerte comercial. El calibre del material de aleación producido variaba entre 290 y 310 µm.

Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar adicionalmente la presente invención, no obstante, sin que al mismo tiempo constituyan limitación alguna de la misma. Por el contrario, se ha de entender claramente que es posible recurrir a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de los mismos que, después de leer la descripción del presente documento, se les pueden ocurrir a los expertos en la técnica sin apartarse del espíritu de la invención.

Ejemplo 1

Las muestras posteriores a la soldadura fuerte se sometieron a ensayos de corrosión SWAAT (ASTM G85) durante una exposición de 4 semanas y se examinaron para caracterizar el comportamiento de corrosión después de 2, 3 y 4 semanas. La gravedad de la corrosión se caracterizó como: (i) en orden: en caso de presencia de corrosión dentro de la región de DPB; (ii) moderada: en caso de presencia de corrosión que justo ha consumido la región de DPB; (iii) moderada/grave: en caso de presencia de corrosión que ya ha consumido de un cuarto a un tercio del espesor del núcleo, (iv) grave: en caso de presencia de corrosión que ha consumido más de la mitad del espesor del núcleo sin perforación, y (v) muy grave: en caso de presencia corrosión que ha conducido a perforación. Los resultados se presentan en la tabla 3. Las composiciones de aleación ensayadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 3

Aleación n.º	Gravedad de ataque SWAAT (2 semanas)	Gravedad de ataque SWAAT (3 semanas)	Gravedad de ataque SWAAT (4 semanas)
Comparativa (H)	en orden	grave	grave
2 (I)	en orden	en orden	grave
3 (J)*	moderado	moderado	moderado/grave
4 (K)*	moderado	moderado	moderado
5 (L)*	en orden	moderado	moderado
6 (M)*	grave	grave	grave
7 (P)	en orden	en orden	en orden
9 (R)	en orden	en orden	grave
10 (S)*	moderado	grave	muy grave
11 (T)*	moderado	grave	grave
12 (U)*	moderado/grave	moderado/grave	moderado/grave
13 (V)*	grave	grave	muy grave
14 (W)*	moderado/grave	grave	muy grave
* no según la invención			

A partir de esta tabla se puede concluir que las muestras posteriores a la soldadura fuerte basadas en las aleaciones J (n.º 3) y K (n.º 4), con un contenido de Si de un 0,31 y un 0,40%, respectivamente, tenían mejor resistencia a la corrosión que la muestra basada en la aleación comparativa H. De modo similar, la aleación U (n.º 12), que contenía un mayor porcentaje de Si (0,31%) y de Fe (0,35%), en presencia de alto contenido de Ti (0,16%), y que es una aleación más respetuosa con el medio ambiente que puede tolerar un intervalo más amplio de aportación de material de residuos metálicos, tenía mejor resistencia a la corrosión que la aleación comparativa H. Los datos de corrosión de la tabla 3 muestran que determinadas aleaciones con mayor contenido de Fe presentan una resistencia a la corrosión reducida en relación con el aire. Sobre la base de estos datos, se prefiere un límite superior de Fe menor o igual a un 0,55%.

Ejemplo 2

Muestras de chapa soldada se sometieron a ensayos mecánicos y los resultados se presentan en la tabla 4. Para comparar, también se incluyen los resultados obtenidos utilizando la aleación de núcleo comparativa H. Las composiciones de aleación ensayadas se presentan en la tabla 2.

5

Tabla 4

Aleación n.º	Resistencia de prueba (MPa)	UTS (MPa)	Alargamiento (%)
Comparativa (H)	63	173	15
2 (I)	67	179	15
3 (J)*	71	179	12
4 (K)*	71	181	12
5 (L)*	70	181	12
6 (M)*	66	182	10
7 (P)	65	172	16
9 (R)	66	176	15
10 (S)*	69	184	14
11 (T)*	68	182	15
12 (U)*	67	182	15
13 (V)*	69	183	16
14 (W)*	72	187	14
*no según la invención			

De acuerdo con estos resultados, las resistencias de prueba de todas las aleaciones desarrolladas son mejores que la de la aleación comparativa (H). De modo similar, las propiedades de carga de rotura por tracción (UTS - *ultimate tensile strength*) de todas las aleaciones desarrolladas, excepto la n.º 7, son mejores que las de la aleación comparativa (H).

Ejemplo 3

Con el fin de examinar el efecto de la variación del contenido de Si en el núcleo, la formación de banda de precipitado denso y la resistencia a la corrosión de la aleación desarrollada, se llevaron a cabo exámenes metalográficos de las muestras sometidas a ensayos SWAAT correspondientes a las aleaciones 2, 3 y 4, que contienen un mayor porcentaje de Si, así como a la aleación comparativa. Los resultados están resumidos en la figura 14. Las composiciones de aleación ensayadas (2, 3, 4 y H) se presentan en la tabla 2. La figura 14 muestra que el aumento del contenido de Si conduce a una mayor resistencia a la corrosión, donde la mayor parte de la corrosión se produjo en la DPB con un 0,32 y un 0,40% de Si. Esto sugiere que un aumento del contenido de Si tendrá como resultado una DPB más eficaz y una mejor corrosión en relación con el aire. Aunque la DPB puede no ser visible con un mayor porcentaje de contenido de Si después del ataque químico, el patrón de corrosión observado indica su presencia y su eficacia para mejorar la resistencia a la corrosión en relación con el aire.

Ejemplo 4

Se prepararon chapas metálicas revestidas a escala de laboratorio, que se procesaron hasta el calibre final y se expusieron a un ciclo de soldadura fuerte simulado. Para el ciclo de soldadura fuerte, las chapas se calentaron en un horno a una velocidad de 25 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura de 520 °C. A continuación, las chapas se calentaron a una velocidad de 13 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura de 605 °C y luego se sometieron a 3 minutos de mantenimiento térmico a 605 °C. Después, las chapas se enfriaron a 570 °C en 6 minutos y se retiraron del horno para enfriarlas a temperatura ambiente. Las muestras se sometieron luego a un ensayo de inmersión en ácido para evaluar su resistencia a la corrosión.

Preparación de muestras

Los paquetes de chapa de soldadura fuerte se prepararon mediante laminación en caliente de los componentes para unir el revestimiento y el núcleo. Después, los desbastes planos se laminaron en caliente y en frío hasta alcanzar el calibre deseado. El material laminado en frío se cortó al tamaño deseado y luego se recoció parcialmente bajo nitrógeno.

Las muestras se prepararon como probetas soldadas por soldadura fuerte con un tamaño de 3,8 x 7,5 cm. Tal como se muestra en la tabla 5, la aleación X900 se utilizó como el núcleo para la muestra AB996 y la aleación X912 se utilizó como el núcleo para la muestra AB916 y la muestra A. La aleación X912 contiene un 0,15% de Ti y la aleación X900 contiene menos de un 0,1% de Ti. Como revestimiento para la muestra AB916 y la muestra AB996 se utilizó AA4343. Como revestimiento para la muestra A se utilizó X477. La aleación X477 contiene un 3% de Zn y la aleación AA4343 contiene un 0,2% de Zn. Las composiciones elementales para las aleaciones X900, X912, AA4343 y X477 se muestran en la tabla 6.

Tabla 5

Muestra	Núcleo	Revestimiento	Calibre (μm)
AB916*	X912	2 caras; 10% AA4343	260
AB996*	X900	1 cara; 6% AA4343	260
A	X912	2 caras; 8,5% X477	320
B	X912	2 caras; 10% X477	320
*no según la invención			

5

Tabla 6

Elemento	Núcleo		Revestimiento	
	X900 (%)	X912 (%)	AA4343 (%)	X477 (%)
Si	Hasta 0,15	0,08	6,8-8,2	7,35
Fe	Hasta 0,25	0,20	0,8	0,20
Cu	0,5 - 0,65	0,57	0,25	Trazas
Mn	1,4 - 1,6	1,50	0,10	Trazas
Mg	0,13 - 0,25	0,10	Trazas	Trazas
Cr	Hasta 0,05	Trazas	Trazas	Trazas
Zn	Hasta 0,04	Trazas	0,20	3,0
Ti	Hasta 0,1	0,14	Trazas	Trazas
Sr	0,05	Trazas	0,008-0,02	0,014
Impurezas	Hasta 0,15 en total	0,15 en total	0,15 en total	0,15 en total
Al	Resto	Resto	Resto	Resto

10 *Ensayo de inmersión en ácido*

Las probetas se sumergieron en una solución de HCl 0,1 M (pH = 1) a temperatura ambiente durante un período de tiempo de 168 horas. Los niveles de corrosión en los tiempos correspondientes a 24 horas, 48 horas, 72 horas, 120 horas, 144 horas y 168 horas se evaluaron mediante examen metalográfico (véase la figura 1 para la muestra AB916, la figura 2 para la muestra AB996, la figura 3 para la muestra A, y la figura 4 para una comparación de las tres muestras). Tal como se muestra en los resultados, la muestra A presentaba la menor cantidad de corrosión de los tres paquetes ensayados. Sin querer quedar limitados por la teoría, la adición de un 3% de Zn al revestimiento AA4343 para proporcionar el revestimiento X477 suprimió la corrosión intergranular a través del aluminio alfa y hacia el interior de la banda de precipitado denso. El modo de ataque cambió de localizado a general. Además, la adición de Zn ayudó a disminuir la velocidad de corrosión.

Ejemplo 5

A partir de la serie X900 se prepararon cinco variantes de aleación de núcleo que contenían las siguientes composiciones elementales, consistiendo el resto en aluminio:

Tabla 7

Fundición n.º	Si	Fe	Mn	Ti	Cu	Mg
PDT	0,07	0,15	1,50	0,014	0,58	0,001
PDU	0,07	0,15	1,51	0,15	0,58	0,001
PDV	0,24	0,15	1,50	0,15	0,58	0,001
PDW	0,24	0,15	1,50	0,20	0,58	0,001
PDX	0,25	0,15	1,49	0,20	0,58	0,10

Cada aleación de núcleo se unió a un revestimiento AA4343 y también a un revestimiento AA4045 que contenía un 1% de zinc para obtener 10 paquetes en total. Los paquetes fueron procesados en laboratorio hasta aproximadamente 300 μm. Las figuras 5 y 6 proporcionan imágenes de microscopía óptica de los paquetes, que muestran la microestructura general y la banda de precipitado denso. Las mediciones de espesor de calibre y revestimiento de cada uno de los 10 paquetes se muestran a continuación en la tabla 8.

40

Tabla 8

Fundición n.º	Revestimiento	Calibre medio total (µm)	Espesor medio de revestimiento (µm)	% de espesor medio de revestimiento
PDT	AA4045 + 1% Zn*	288,4	29	10,1
PDU		282,1	30	10,6
PDV		288,6	30	10,4
PDW		288,2	29	10,1
PDX		278,8	27	9,7
PDT	AA4343*	269,7	26	9,6
PDU		284,9	30	10,5
PDV		292,9	31	10,6
PDW		291,4	30	10,3
PDX		277,3	29	10,5

*no según la invención

- 5 Cada uno de los 10 paquetes se recoció parcialmente y después se expuso a un ciclo de soldadura fuerte simulado tal como se describe en el ejemplo 4. El espesor medio de la banda de precipitado denso (DPB) se midió junto con el espesor del revestimiento restante después del ciclo de soldadura fuerte. Las mediciones están enumeradas en la tabla 9.

10 Tabla 9

Fundición n.º	Revestimiento	Espesor medio de DPB (µm)	Espesor de revestimiento restante después de la soldadura fuerte (µm)
PDT	AA4045 + 1% Zn*	46	15,3
PDU		47	13,6
PDV		46	13,1
PDW		50	14,3
PDX		44	15,3
PDT	AA4343*	43	16,2
PDU		40	17,7
PDV		46	19,1
PDW		51	20,4
PDX		49	19,9

*no según la invención

- 15 Las propiedades de tracción de cada uno de los paquetes se determinaron cuando se laminaron los paquetes, después de que los paquetes fueran recocidos parcialmente y después del proceso de soldadura fuerte simulada. Las propiedades de tracción medidas incluían el límite elástico, el porcentaje de alargamiento y la carga de rotura por tracción. La figura 7 proporciona las propiedades de tracción de los paquetes en estado bruto de laminación; la figura 8 proporciona las propiedades de tracción de los paquetes parcialmente recocidos, y la figura 9 proporciona las propiedades de tracción de los paquetes después de la soldadura fuerte.

- 20 Los paquetes fueron sometidos a ensayos de corrosión acelerada en relación con el aire. Específicamente se utilizó el ensayo de agua de mar sintética acidificada (ensayo SWAAT), que se basa en la ASTM G85:A3. En las figuras 10 (revestimiento 4343) y 11 (revestimiento 4045 + 1% Zn) se muestran las fotografías de los paquetes que contenían PDT, PDU y PDV después de realizar el ensayo SWAAT durante 2 semanas, 4 semanas y 6 semanas.

- 25 La figura 12 demuestra el efecto del zinc en los revestimientos sobre la aleación de núcleo. Tal como se muestra en la figura 12, en los revestimientos que no contenían zinc se produjo perforación en un plazo de 2 semanas. Sin embargo, en los paquetes que incluían los revestimientos que contenían un 1% de zinc no se produjo ninguna perforación después de 6 semanas.

- 30 La figura 13 demuestra el efecto del aumento de la cantidad de titanio y silicio en la aleación de núcleo. Tal como se muestra en figura 13, en los paquetes que contenían la aleación PDT y los revestimientos que no contenían zinc se produjo perforación en un plazo de 2 semanas. Sin embargo, en los paquetes que incluían la aleación PDV, que contiene mayores cantidades de titanio y silicio en comparación con la aleación PDT y los revestimientos que no contienen zinc, no se produjo ninguna perforación después de 6 semanas.

- 35 El potencial de corrosión de cada uno de los paquetes se ensayó de acuerdo con los procedimientos descritos en la ASTM G69. El potencial a circuito abierto de cada paquete está enumerado en la tabla 10. Tal como se muestra en la tabla 10, el aumento de la cantidad de silicio y/o titanio en la aleación de núcleo tuvo un efecto insignificante en el potencial de corrosión libre de la aleación del núcleo.

- 40

Tabla 10

Fundición n.º	Revestimiento	OCP (mV frente a SCE)
PDT	AA4045 + 1% Zn*	-652
PDU		-654
PDV		-650
PDW		-652
PDX		-649
PDT	AA4343*	-660
PDU		-651
PDV		-655
PDW		-652
PDX		-653
*no según la invención		

5 Ejemplo 6

Para examinar la variación en los perfiles de concentración de Si en la región de DPB de muestras que contenían niveles diferentes de Si en el núcleo (aleaciones H, I, J y K), se utilizó espectroscopia de emisión óptica por descarga luminiscente (GD-OES). Los resultados están resumidos en la figura 15. El perfil de concentración de Si no es significativamente diferente en la región de DPB entre las muestras examinadas. Las variaciones en el porcentaje de Si incluidas en el informe entran dentro del error experimental de GD-OES. Esto demuestra la existencia de la región de DPB incluso con concentraciones más altas de porcentaje de Si en el núcleo.

Se han descrito diversas realizaciones de la invención en cumplimiento de los diversos objetivos de la invención. Debe reconocerse que estas realizaciones son meramente ilustrativas de los principios de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Chapa metálica multicapa, que comprende:
 - 5 una capa de núcleo de aleación que contiene aluminio que comprende hasta un 0,25% de Si, hasta un 0,25% de Fe, de un 0,5 a un 0,6% de Cu, de un 1,4 a 1,6% de Mn, de un 0,06 a un 0,14% de Mg, hasta un 0,05% de Cr, hasta un 0,04% Zn, de un 0,1 a un 0,2% de Ti, hasta un 0,05% de Sr, hasta un 0,15% de impurezas, y el resto de Al,
 - 10 en donde la capa de núcleo tiene una primera cara y una segunda cara;

una primera capa de revestimiento y una segunda capa de revestimiento, en donde la primera capa de revestimiento y la segunda capa de revestimiento están hechas de una aleación que comprende de un 6 a un 13% de Si, hasta un 0,4% de Fe, hasta un 0,1% de Cu, hasta un 0,1% de Mn, hasta un 0,20% de Mg, hasta un 0,05% de Cr, de un 2,5 a un 4,0% de Zn, hasta un 0,05% de Ti, hasta un 0,02% de Sr, hasta un 0,15% de impurezas, y el resto de Al,
 - 15 en donde la primera cara de la capa de núcleo es adyacente a la primera capa de revestimiento para formar una primera interfase y la segunda cara de la capa de núcleo es adyacente a una segunda capa de revestimiento para formar una segunda interfase.
 - 20
2. Chapa de soldadura fuerte resistente a la corrosión que comprende la chapa metálica multicapa según la reivindicación 1.
- 25 3. Tubo hecho de la chapa metálica multicapa según la reivindicación 1.

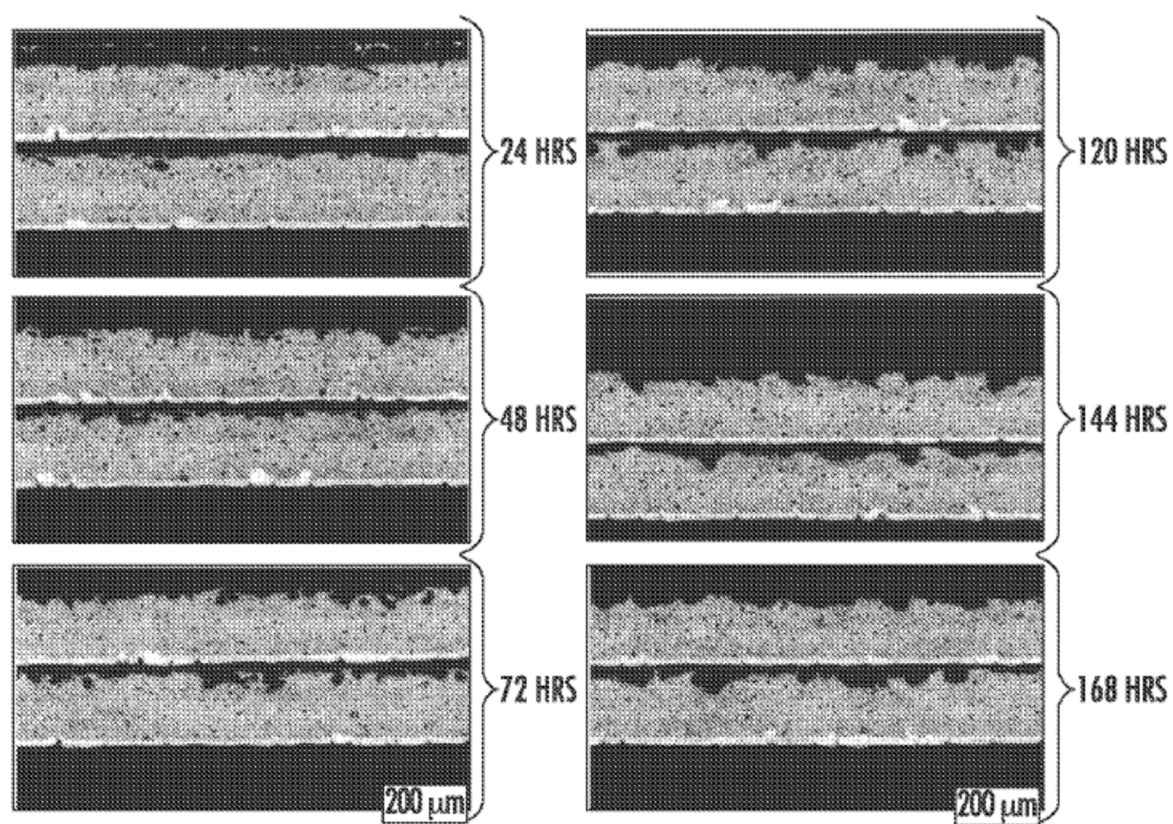


FIG. 1

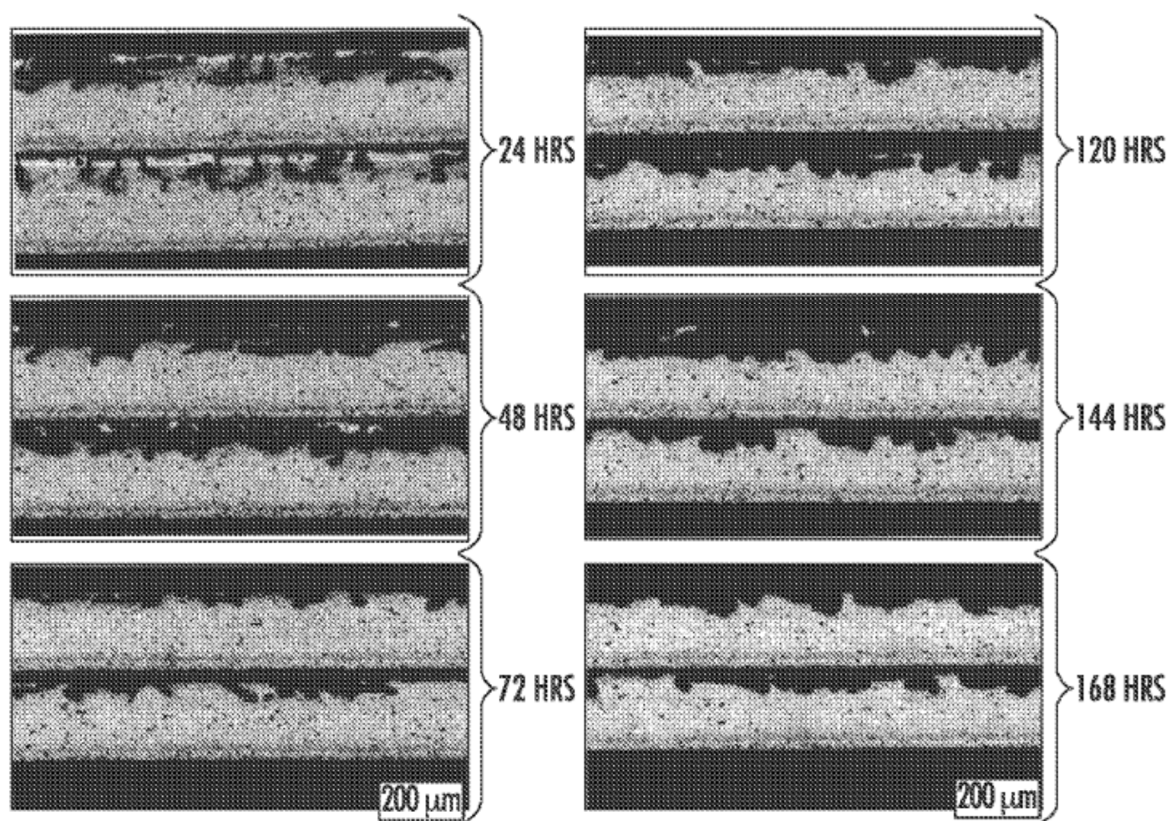


FIG. 2

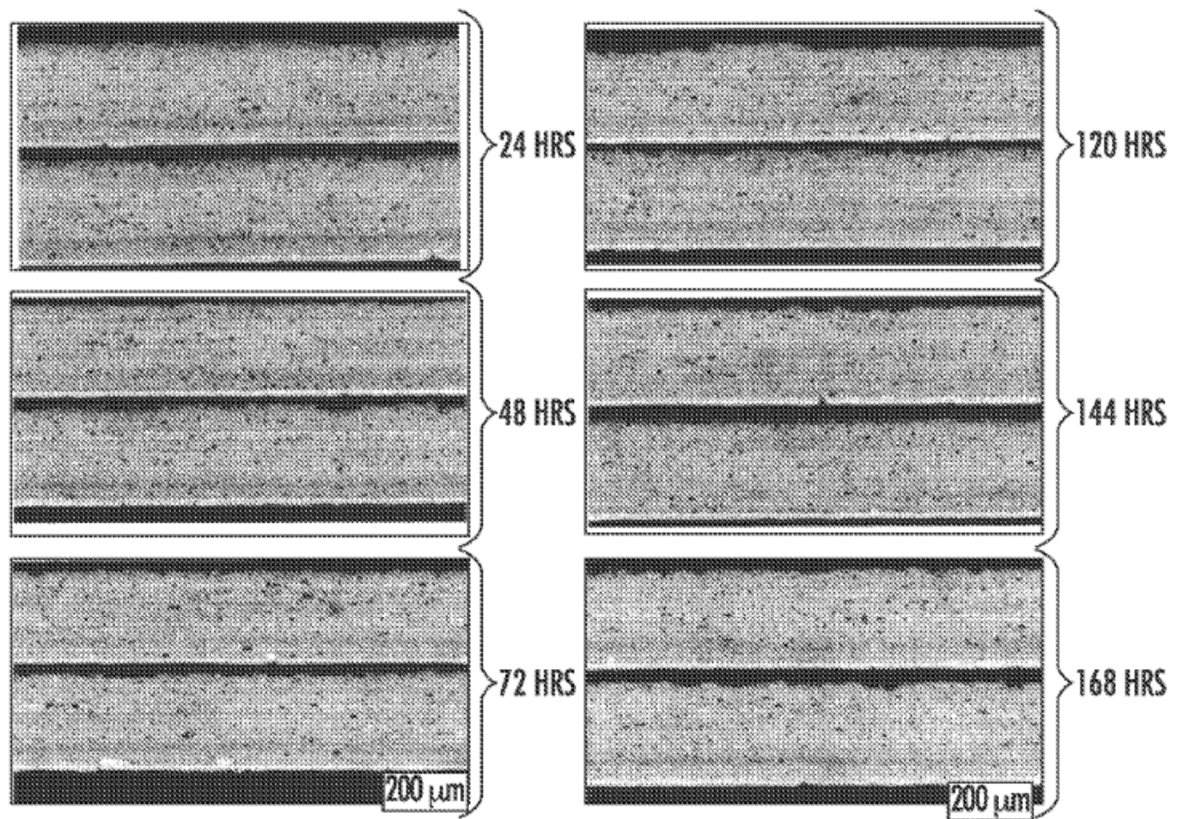
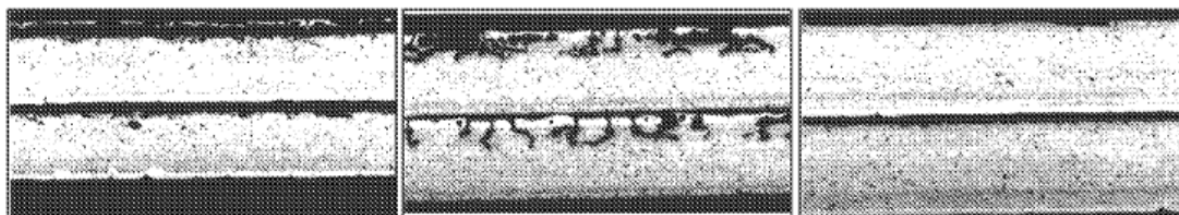


FIG. 3

24 HRS



168 HRS



Z9A9 (AB916)
4343/X912/4343

Z9A1 (AB996)
4343/X900/X397

MATERIAL PROCESADO
EN LABORATORIO:
4343+3Zn/X912/4343+3Zn

FIG.4

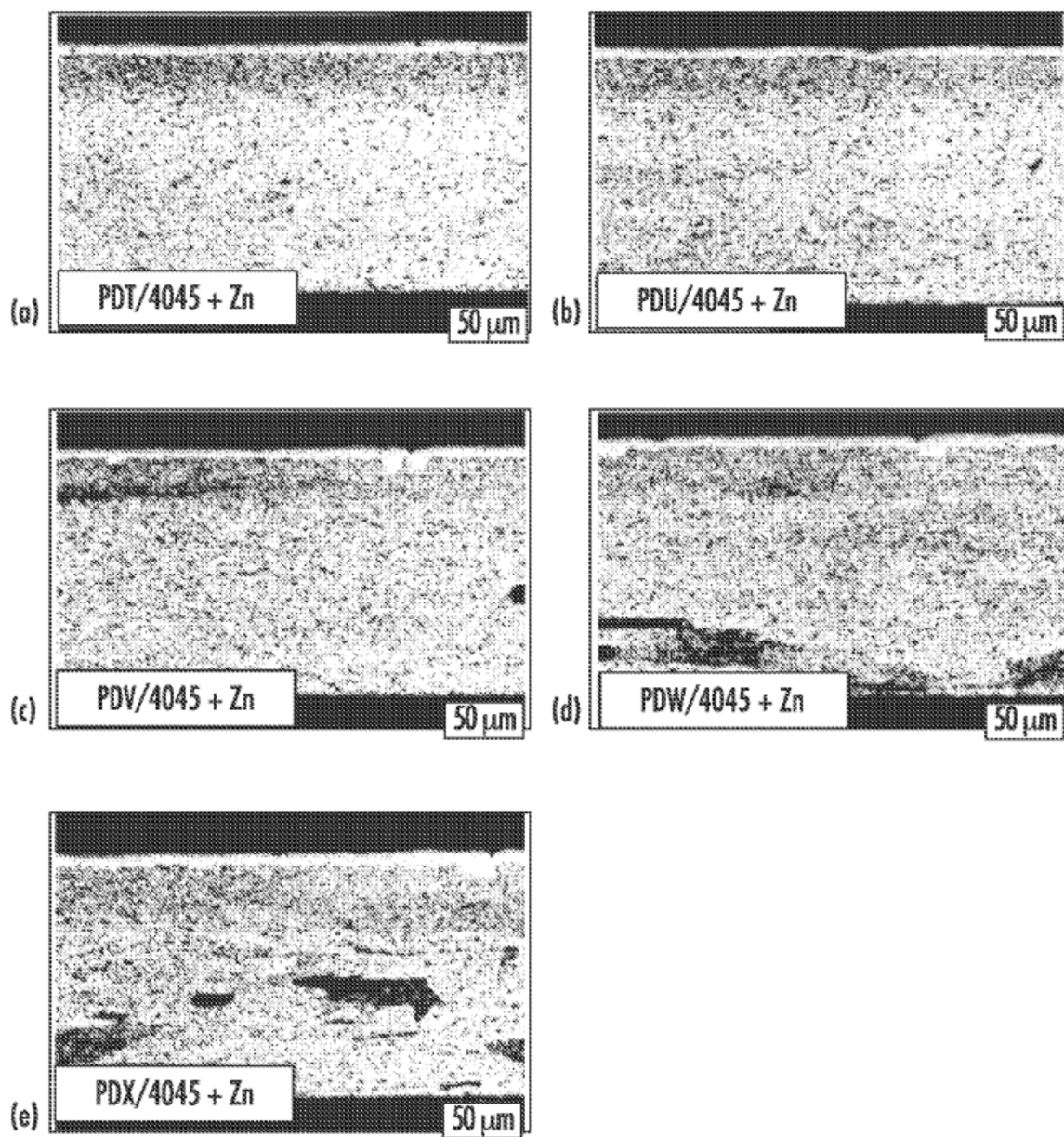


FIG. 5

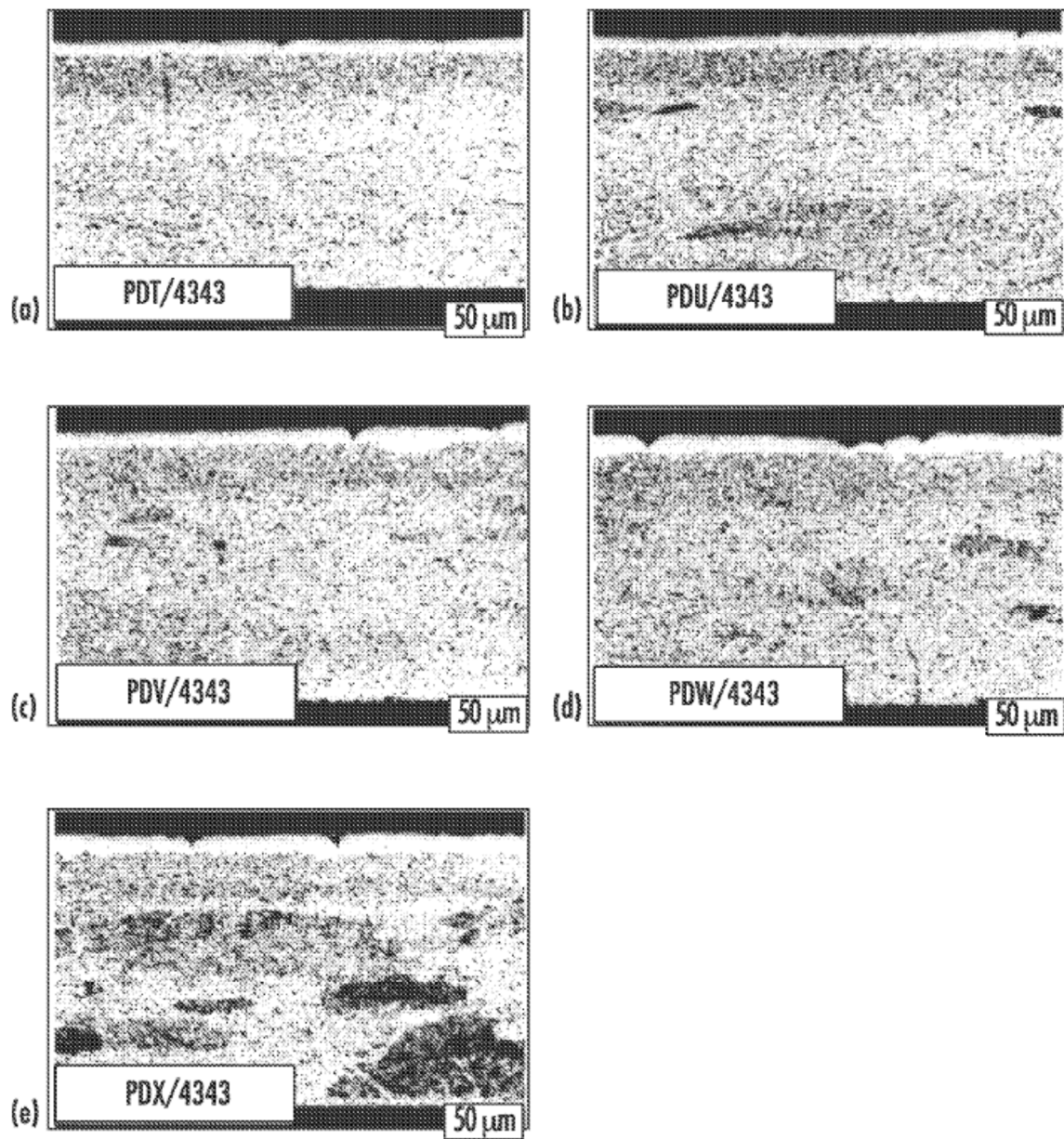
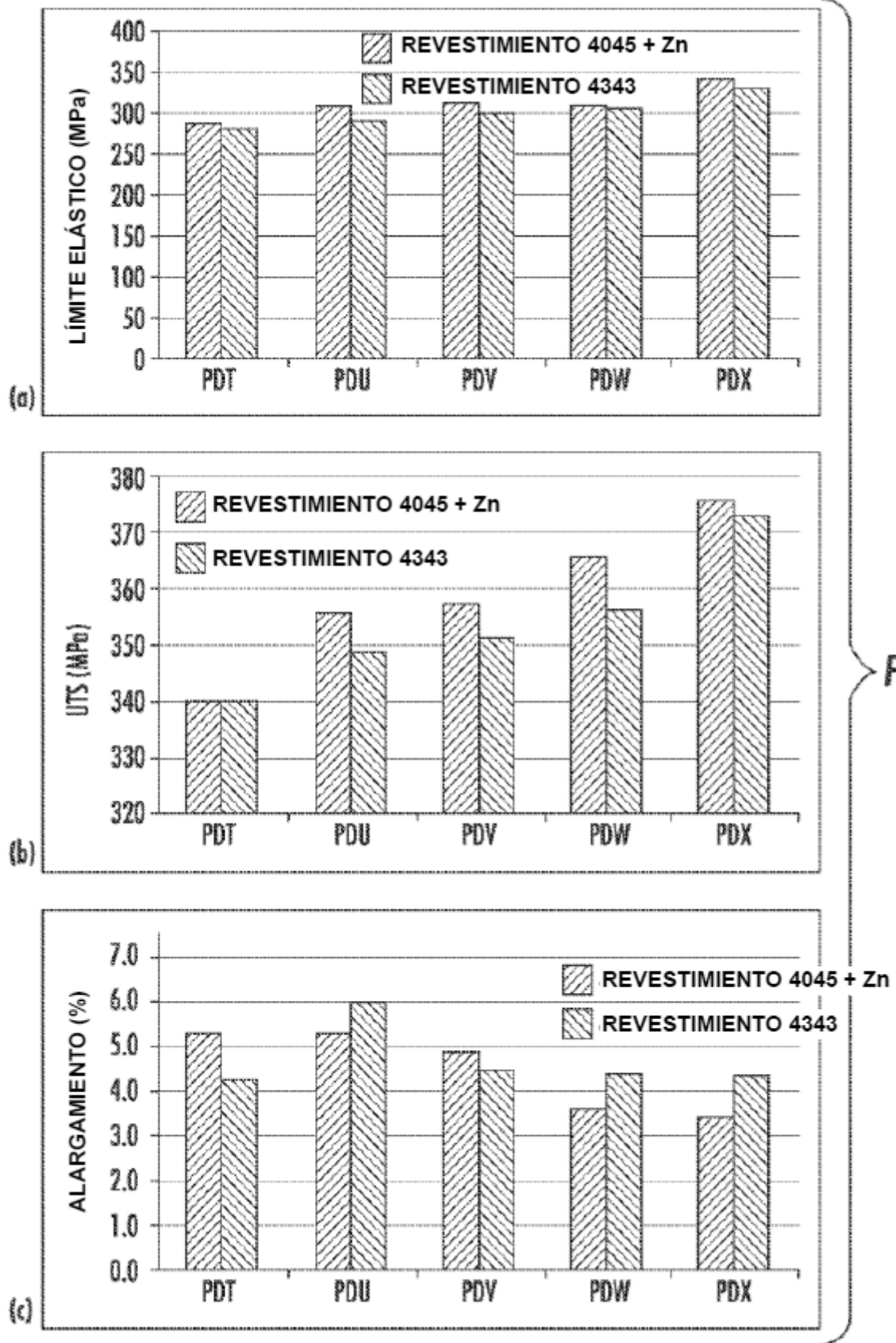


FIG. 6



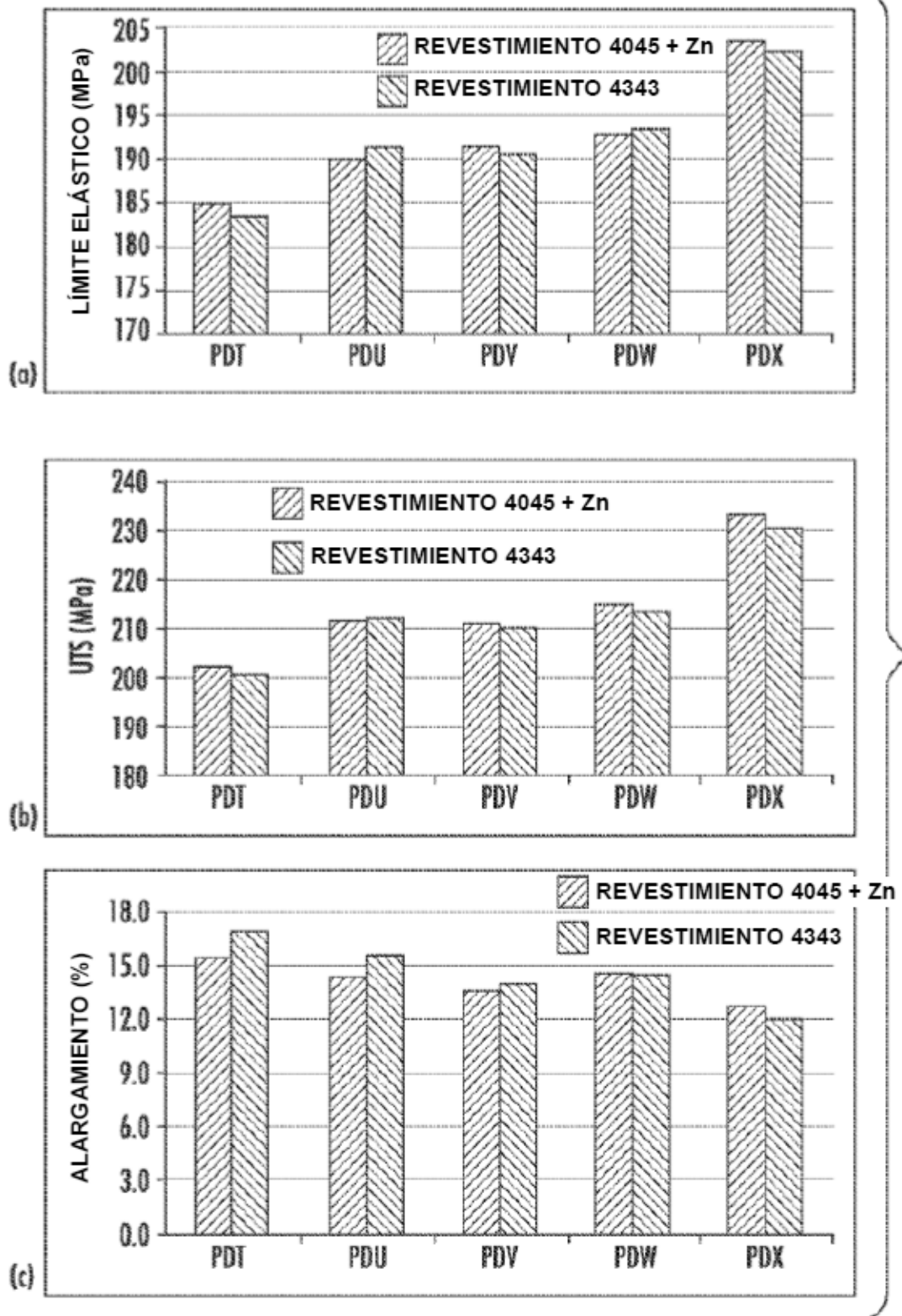


FIG. 8

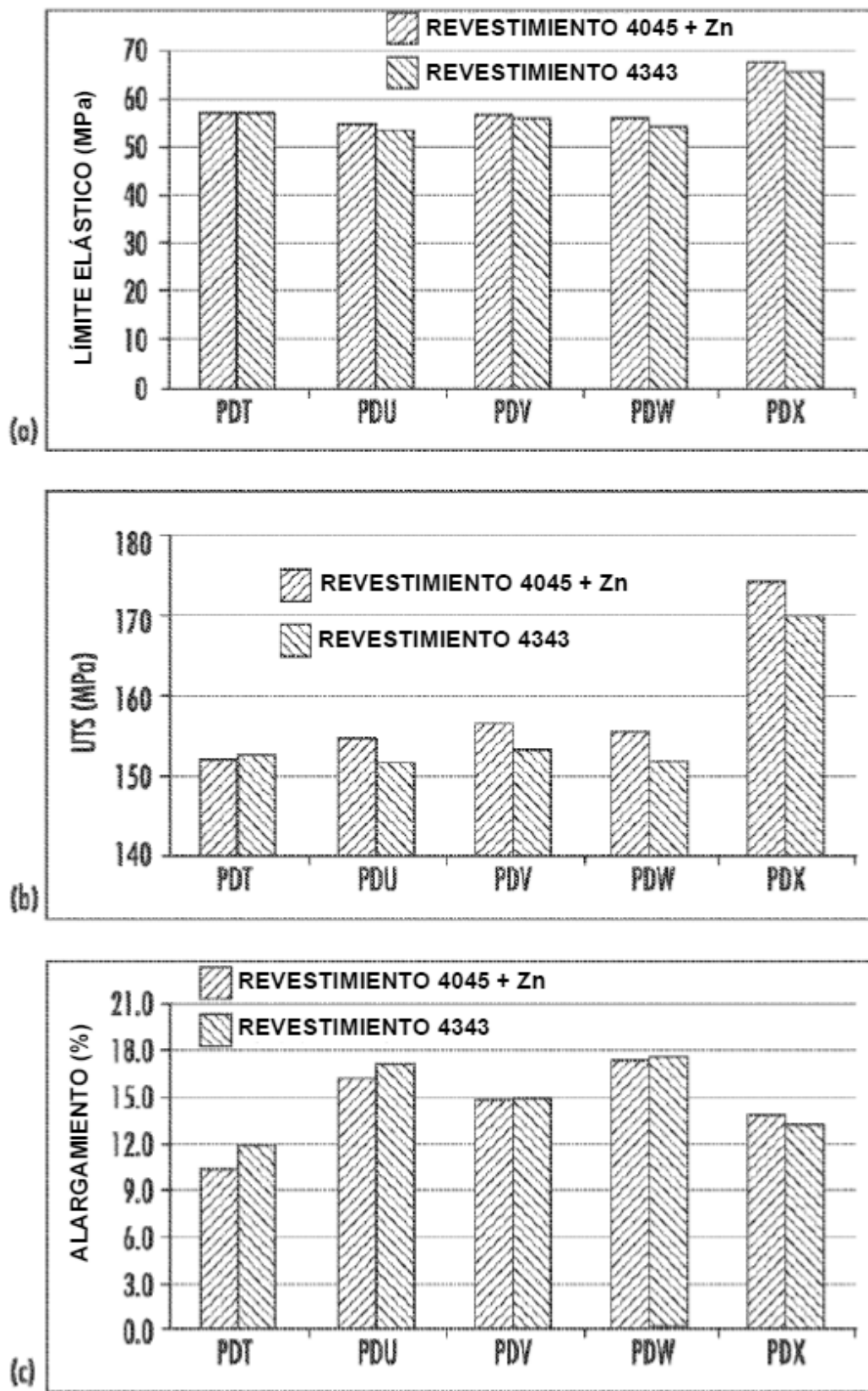


FIG. 9

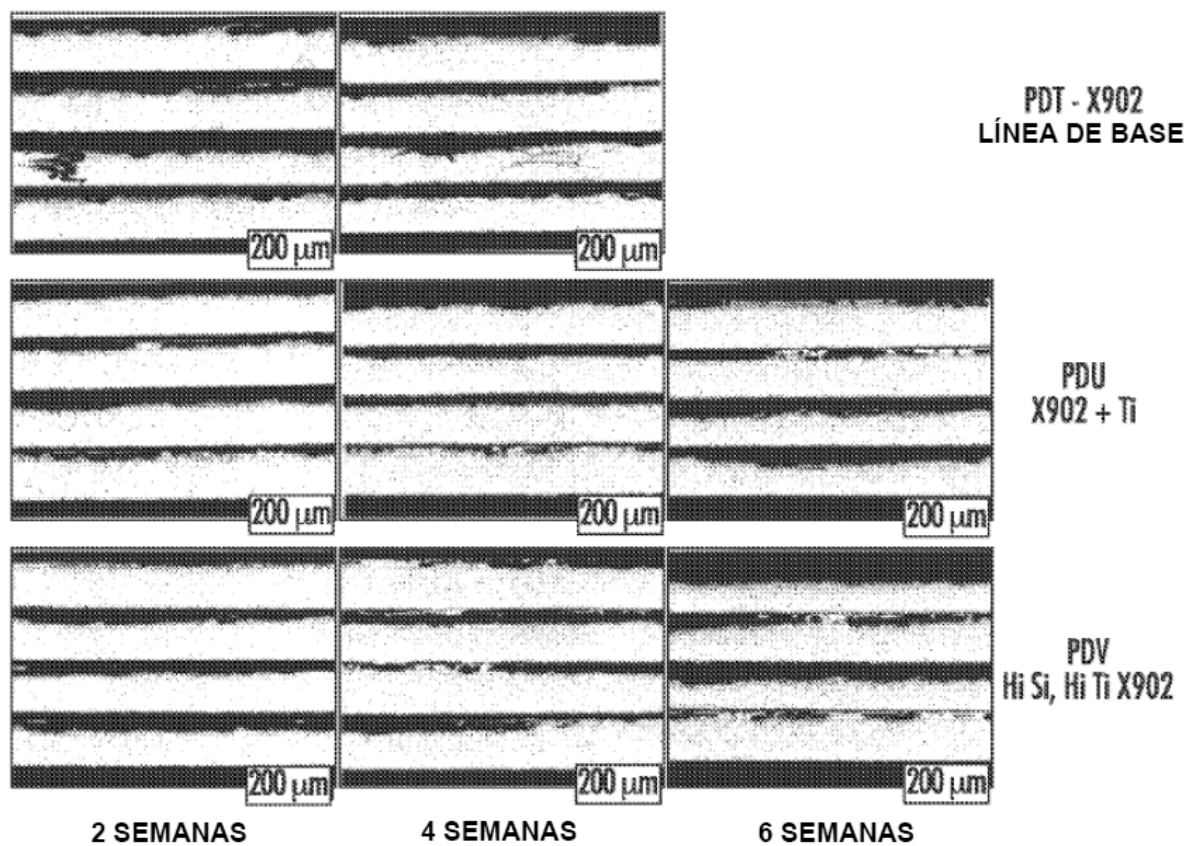


FIG. 10

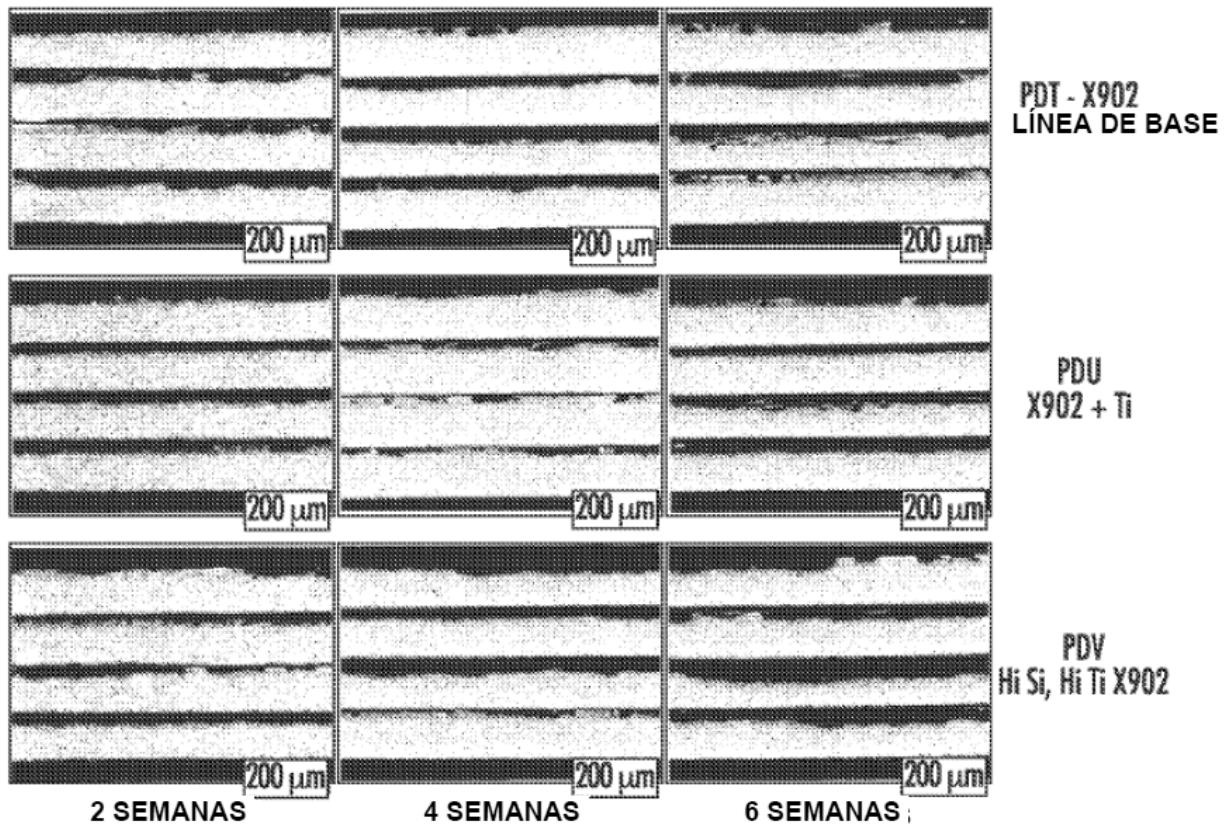


FIG. 11

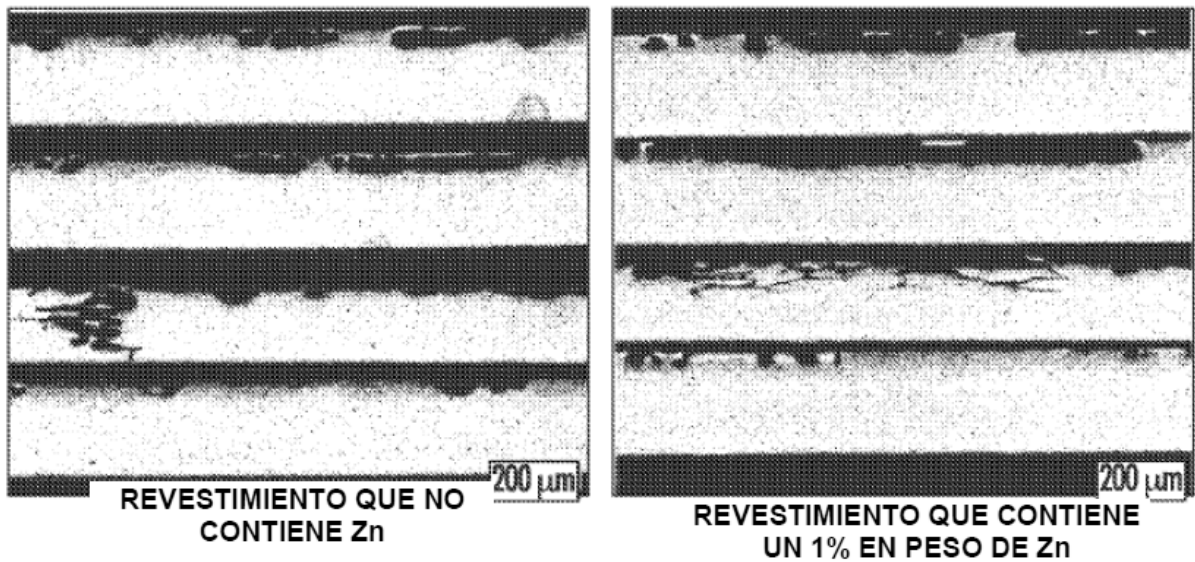


FIG. 12

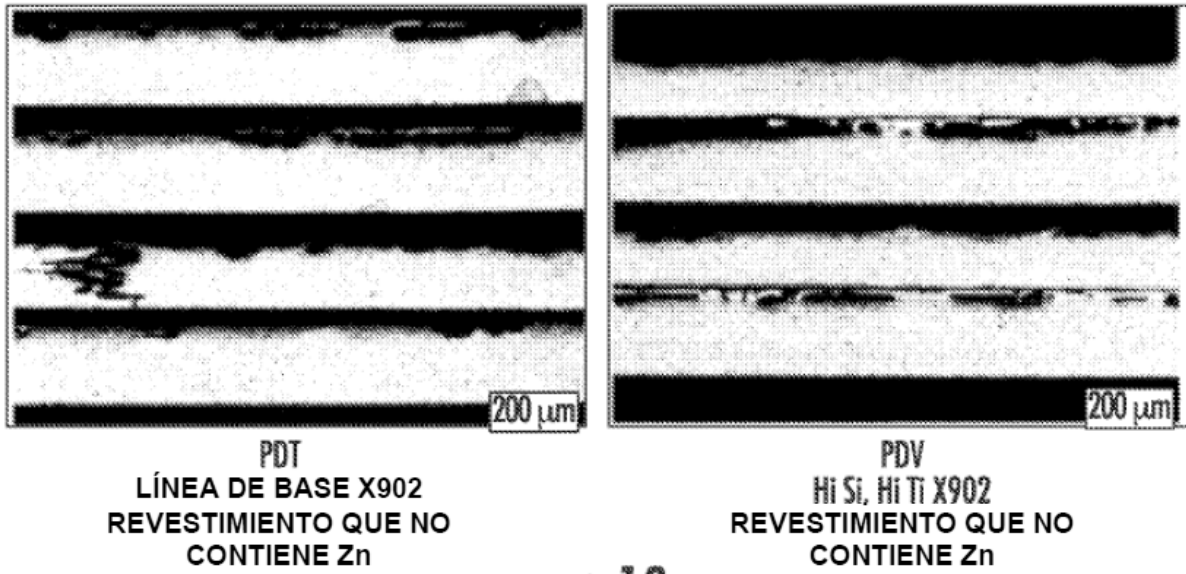


FIG. 13

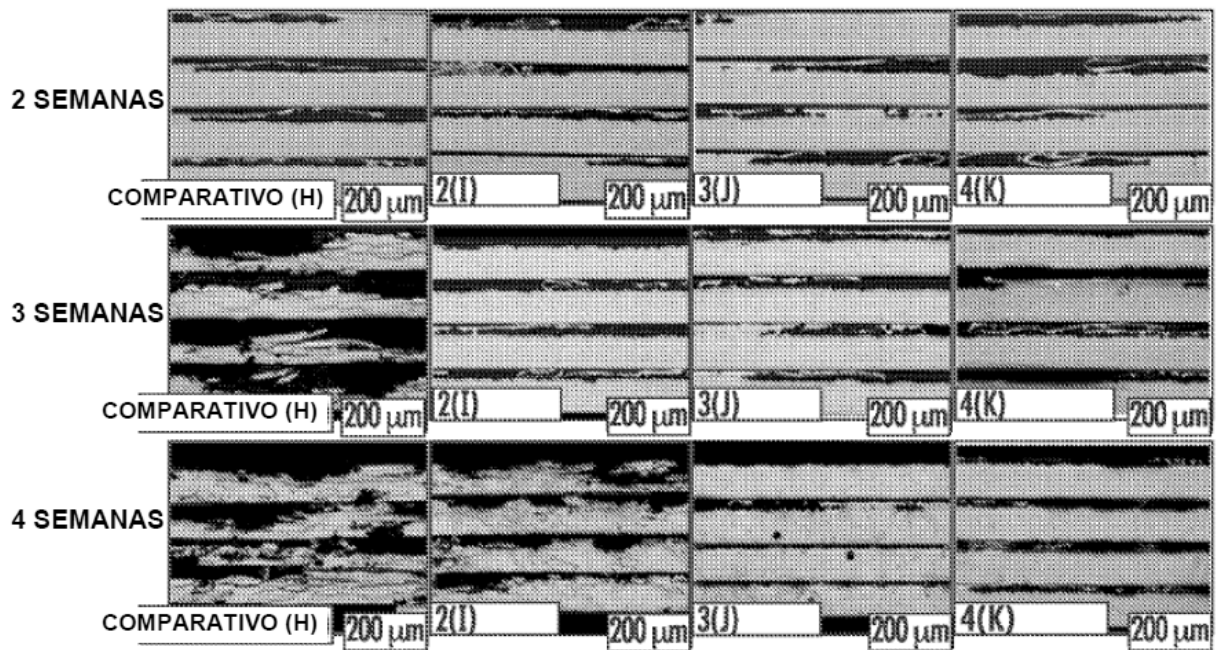


FIG. 14

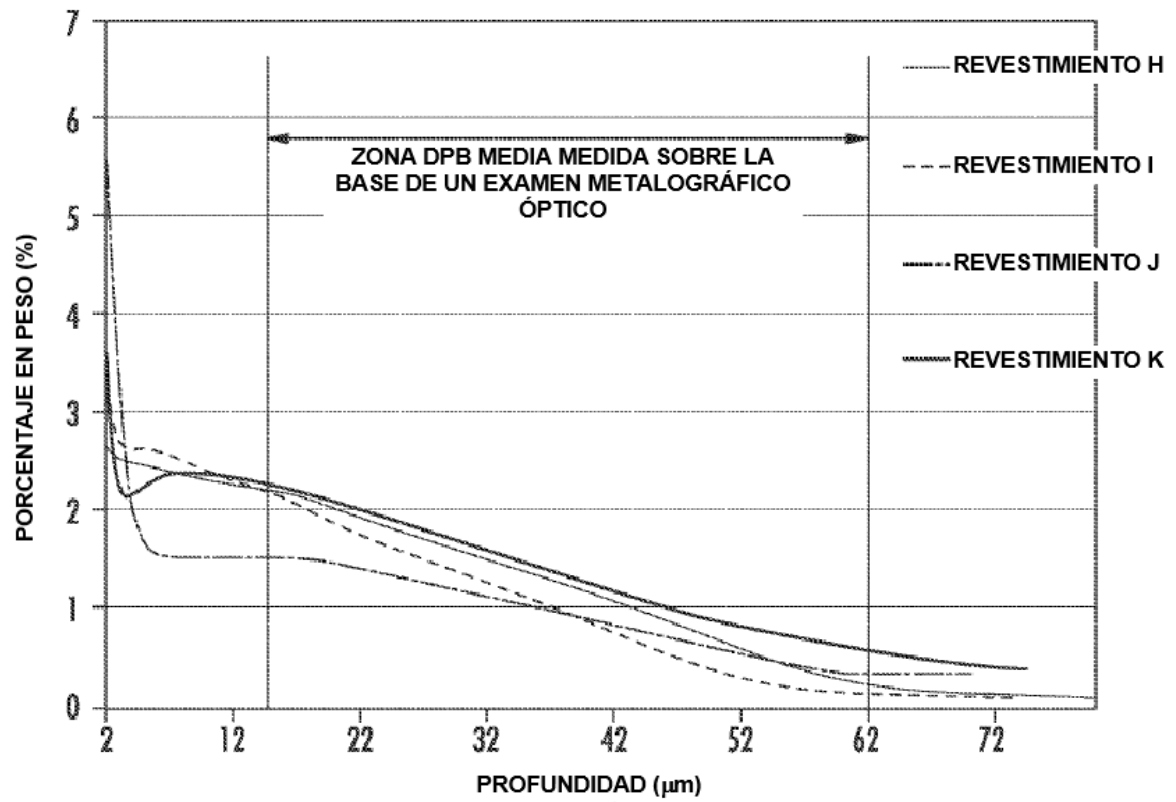


FIG. 15