

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 924 683**

51 Int. Cl.:

C22C 21/08 (2006.01)

C22C 21/02 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2018** **PCT/US2018/034572**

87 Fecha y número de publicación internacional: **29.11.2018** **WO18218108**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2018** **E 18732544 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.06.2022** **EP 3631030**

54 Título: **Aleaciones de aluminio de la serie 6xxx de alta resistencia, resistentes a la corrosión, y métodos para fabricar las mismas**

30 Prioridad:

26.05.2017 US 201762511703 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.10.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DAS, SAZOL KUMAR;
KAMAT, RAJEEV G. y
FELBERBAUM, MILAN**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 924 683 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

Aleaciones de aluminio de la serie 6xxx de alta resistencia, resistentes a la corrosión, y métodos para fabricar las mismas

5

Campo

La presente divulgación proporciona, en general, aleaciones de aluminio de la serie 6xxx. La divulgación también proporciona productos fabricados a partir de tales aleaciones y métodos para fabricar tales productos, tal como mediante colada y laminación. La divulgación también proporciona diversos usos finales de tales productos, tal como en aplicaciones de automoción, transporte, electrónicas, industriales, aeroespaciales y de otro tipo.

10

Antecedentes

Las aleaciones de aluminio de alta resistencia son deseables para su uso en numerosas aplicaciones diferentes, especialmente aquellas en las que la resistencia y la durabilidad son especialmente deseables. Por ejemplo, las aleaciones de aluminio con la denominación de la serie 6xxx se usan habitualmente, en lugar del acero, para aplicaciones en paneles de cierre y estructurales de automoción. Dado que las aleaciones de aluminio son, en general, aproximadamente 2,8 veces menos densas que el acero, el uso de tales materiales reduce el peso del vehículo y permite mejorar sustancialmente su ahorro de combustible. Aun así, el uso de las aleaciones de aluminio actualmente disponibles en aplicaciones de automoción plantea ciertos desafíos.

15

20

25

30

35

40

Un desafío particular está relacionado con la tendencia de las aleaciones de aluminio de la serie 6xxx a ser más débiles que el acero. En algunos casos, es posible alterar la composición de la aleación para aumentar la resistencia del producto de aleación de aluminio acabado, por ejemplo, aumentando la cantidad de silicio o cobre en la composición de la aleación. Sin embargo, el aumento de la concentración de silicio o cobre en la aleación conduce, a menudo, a la formación de precipitados en el límite de grano, lo que, a su vez, reduce la resistencia a la corrosión del producto acabado. El documento US 5.961.752 A divulga una aleación de aluminio que contiene del 0,2 al 2 % en peso de Si, del 0,3 al 1,7 % en peso de Mg, del 0,32 al 1,2 % en peso de Cu, del 0,05 al 0,4 % en peso de Cr, del 0,01 al 0,4 % en peso de Fe, como máx. el 0,2 % en peso de Ti, menos del 0,05 % en peso de Zn y, al menos, uno de: del 0,01 al 0,3 % en peso de V, del 0,001 al 0,1 % en peso de Be y del 0,01 al 0,1 % en peso de Sr. El documento FR 2 902 442 A1 divulga una aleación de aluminio que contiene del 0,2 al 1,3 % en peso de Si, del 0,4 al 1,5 % en peso de Mg, del 0,1 al 1,1 % en peso de Cu, hasta el 0,7 % en peso de Mn, del 0,02 al 0,3 % en peso de Fe, hasta el 0,9 % en peso de Zn, hasta el 0,25 % en peso de Cr, del 0,06 al 0,19 % en peso de Ti, hasta el 0,2 % en peso de Zr y hasta el 0,5 % en peso de Ag, en donde la suma de Ti y Cr es superior al 0,1 e inferior al 0,35 % en peso. El documento FR 2 826 979 A1 se refiere a un producto de aleación de aluminio que contiene del 0,8 al 1,3 % en peso de Si, del 0,2 al 0,45 % en peso de Cu, del 0,5 al 1,1 % en peso de Mn, del 0,45 al 1,0 % en peso de Mg, del 0,01 al 0,3 % en peso de Fe, menos del 0,25 % en peso de Zr, Cr, Ti y V y menos del 0,35 % en peso de Zn.

Los fabricantes de equipos originales (OEM, por sus siglas en inglés) siguen enfrentándose a la presión de los organismos reguladores y de los consumidores para que ofrezcan vehículos más eficientes en cuanto al consumo de combustible y que también sean seguros y duraderos.

45 Sumario

La presente divulgación proporciona novedosas aleaciones de aluminio de la serie 6xxx que tienen alta resistencia y alta resistencia a la corrosión. Entre otras cosas, la inclusión de mayores cantidades de elementos de aleación minoritarios (por ejemplo, Mn, Cr, Zr, V, etc.) mejora la resistencia a la corrosión de los productos formados a partir de la aleación de aluminio sin causar una pérdida sustancial de resistencia. Sin estar ligado a ninguna teoría en particular, se cree que la inclusión de mayores cantidades de elementos de aleación minoritarios conduce a la formación de una gran cantidad de dispersoides durante la homogeneización, que pueden servir como sitios de nucleación para el silicio o el cobre. Dado que estos precipitados se forman en la ubicación de los dispersoides, no se forman en ningún grado sustancial en los límites de grano. Por lo tanto, los límites de grano no se convierten en sitios para la posterior corrosión intergranular.

50

55

60

65

Se divulga una aleación de aluminio que comprende del 0,4 al 0,7 por ciento en peso de Si; del 0,4 al 1,6 por ciento en peso de Mg; del 0,2 al 1,5 por ciento en peso de Cu; no más del 0,5 por ciento en peso de Fe; no más del 0,1 por ciento en peso de Cr; no más del 0,25 por ciento en peso de Mn; no más del 0,05 por ciento en peso de V; del 0,02 al 0,2 por ciento en peso de Zr; hasta el 0,1 por ciento en peso de Ti; no más del 0,2 por ciento en peso de Sn, no más del 0,2 por ciento en peso de Zn, no más del 0,2 por ciento en peso de Ni o no más del 0,2 por ciento en peso de Sc, con no más del 0,5 por ciento en peso en total; y el resto de aluminio en una cantidad de al menos el 95,0 por ciento en peso. A lo largo de esta solicitud, todos los elementos se describen en porcentaje en peso (% en peso), basado en el peso total de la aleación. Estas aleaciones presentan una alta resistencia y resistencia a la corrosión y se pueden usar adecuadamente en una diversidad de aplicaciones, incluyendo aplicaciones de automoción, transporte, electrónicas, aeroespaciales e industriales, entre otras.

También se divulga un producto de aleación de aluminio, que comprende una aleación de aluminio tal como se ha descrito anteriormente. En algunos casos, el producto de aleación de aluminio es un lingote, una tira, una plancha, una losa, un tocho u otro producto de aleación de aluminio. En otros ejemplos, el producto de aleación de aluminio es un producto de aleación de aluminio laminado, que se forma mediante un proceso que incluye la laminación del producto de aleación de aluminio, por ejemplo, hasta lograr el espesor deseado. El producto de aleación de aluminio laminado puede ser una chapa de aleación de aluminio. Tales chapas pueden tener cualquier revenido adecuado que varía, por ejemplo, del revenido T1 al T9, y cualquier calibre adecuado. En otros ejemplos, la divulgación proporciona placas, extrusiones, piezas coladas y forjadas de aluminio que comprenden una aleación de la serie 6xxx, como se proporciona en este documento.

También se divulga un método para fabricar un producto de aleación de aluminio, comprendiendo el método proporcionar una aleación de aluminio, como se describe en este documento, en donde la aleación de aluminio se proporciona en un estado fundido como una aleación de aluminio fundido, y colar continuamente la aleación de aluminio fundido para formar un producto de aleación de aluminio. El método puede comprender, además, laminar el producto de aleación de aluminio, por ejemplo, después de la homogeneización, para formar un producto de aleación de aluminio laminado, tal como una chapa de aleación de aluminio.

En otros ejemplos, el método puede incluir la colada de enfriamiento directo (DC, por sus siglas en inglés) de la aleación de aluminio fundido para formar un producto de aleación de aluminio, tal como un lingote, y la laminación del producto de aleación de aluminio, por ejemplo, después de la homogeneización, para formar un producto de aleación de aluminio laminado, tal como una chapa de aleación de aluminio.

También se divulga un artículo de fabricación que comprende un producto de aleación de aluminio, como se describe en este documento. El artículo de fabricación puede incluir un producto de aleación de aluminio laminado. Los ejemplos de tales artículos de fabricación incluyen, pero sin limitación, un automóvil, un camión, un remolque, un tren, un vagón de ferrocarril, un avión, un panel de carrocería o una pieza para cualquiera de los anteriores, un puente, una conducción, una tubería, un tubo, un bote, un barco, un contenedor de almacenamiento, un tanque de almacenamiento, un mueble, una ventana, una puerta, una barandilla, una pieza arquitectónica funcional o decorativa, una barandilla de tubería, un componente eléctrico, un conducto, un recipiente para bebidas, un recipiente para alimentos o una lámina. En algunos ejemplos, los artículos de fabricación son piezas de carrocería de automóviles o de transporte, incluyendo piezas de carrocería de vehículos de motor (por ejemplo, parachoques, vigas laterales, vigas de techo, vigas transversales, refuerzos de pilares, paneles interiores, paneles exteriores, paneles laterales, interiores de capó, exteriores de capó y paneles de la tapa del maletero). El artículo de fabricación también puede incluir productos electrónicos, tales como carcasas de dispositivos electrónicos.

En la descripción detallada, las reivindicaciones, los ejemplos no limitativos y los dibujos, que se incluyen en este documento, se exponen aspectos y realizaciones adicionales.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 muestra el límite elástico y el ángulo de VDA de la prueba de capacidad de flexión para cuatro aleaciones (A1-A4), cada una de las cuales se preparó en los revenidos T4 y T6.

La FIG. 2 muestra micrografías ópticas (OM, por sus siglas en inglés) para cuatro aleaciones (A1-A4), cada una de las cuales se preparó en el revenido T6 y se sometió a la prueba de corrosión intergranular (IGC, por sus siglas en inglés) expuesta en la norma ISO 11846B (1995) durante 24 horas.

La FIG. 3 muestra las profundidades de picadura máxima y promedio y el número de picaduras después de que las muestras se sometieran a la prueba de corrosión intergranular (IGC) expuesta en la norma ISO 11846B (1995) durante 24 horas. Las cuatro muestras son las cuatro aleaciones (A1-A4), cada una de las cuales se preparó en el revenido T6.

La FIG. 4 muestra micrografías ópticas (OM) para una aleación de aluminio de la serie 6xxx a la que se ha añadido Zr (A4), cada una en el revenido T6, pero preparada de diferentes maneras y sometida a la prueba de corrosión intergranular (IGC) expuesta en la norma ISO 11846B (1995) durante 24 horas. En la figura se indican las cuatro condiciones de preparación diferentes e incluyen (a) homogeneización a un aumento de temperatura de 50 °C/h hasta un máximo de 450 °C sin estabilización; (b) homogeneización a un aumento de temperatura de 50 °C/h hasta un máximo de 500 °C sin estabilización; (c) homogeneización a un aumento de temperatura de 50 °C/h hasta un máximo de 540 °C sin estabilización; y (d) homogeneización a un aumento de temperatura de 50 °C/h hasta un máximo de 560 °C con una estabilización de 6 horas después de la homogeneización.

La FIG. 5 muestra micrografías ópticas (OM) para una serie de diferentes aleaciones de aluminio de la serie 6xxx coladas mediante diferentes métodos, incluyendo (a) aleación A1 colada mediante colada continua (CC) usando una máquina de colada de doble banda, (b) aleación A2 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda, (c) aleación A3 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda, (d) aleación A4 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda y (e) aleación A1 colada mediante colada de

enfriamiento directo (DC), donde las muestras se prepararon en el revenido T6 y se sometieron a la prueba de corrosión intergranular (IGC) expuesta en la norma ISO 11846B (1995) durante 24 horas.

Descripción detallada

5

La presente divulgación proporciona novedosas aleaciones de aluminio de la serie 6xxx y métodos para fabricar y usar tales aleaciones. Estas aleaciones presentan una alta resistencia y resistencia a la corrosión. Sorprendentemente, estas aleaciones incluyen cantidades adicionales de uno o más elementos de aleación minoritarios (por ejemplo, manganeso, cromo, circonio, vanadio, etc.) cuya presencia actúa para reducir la precipitación de silicio y/o cobre en los límites de grano. Por lo tanto, la inclusión de estos elementos de aleación minoritarios da como resultado aleaciones de aluminio de alta resistencia que contienen cobre y/o exceso de silicio sin experimentar una disminución de la resistencia a la corrosión debido a la precipitación de estos elementos en los límites de grano.

10

15 Definiciones y descripciones

El término "invención" y las expresiones "la invención", "esta invención" y "la presente invención" usadas en este documento pretenden referirse ampliamente a toda la materia objeto de esta solicitud de patente y a las reivindicaciones que se muestran más adelante. Se debe entender que las declaraciones que contienen estos términos y expresiones no limitan la materia objeto descrita en este documento ni limitan el significado ni el alcance de las reivindicaciones de la patente que se muestran más adelante.

20

En esta descripción, se hace referencia a las aleaciones identificadas por números AA y otras denominaciones relacionadas, tales como "serie" o "6xxx". Para comprender el sistema de denominación numérica más usado comúnmente para nombrar e identificar el aluminio y sus aleaciones, véase el documento "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys" o "Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical Compositions Limits for Aluminum Alloys in the Form of Castings and Ingot", ambos publicados por The Aluminum Association.

25

Como se usa en este documento, el significado de "un", "una" y "el/la" incluye las referencias en singular y plural, a menos que el contexto dicte claramente lo contrario.

30

Como se usa en este documento, una placa, en general, tiene un espesor superior a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, una placa puede referirse a un producto de aluminio que tiene un espesor de más de 15 mm, más de 20 mm, más de 25 mm, más de 30 mm, más de 35 mm, más de 40 mm, más de 45 mm, más de 50 mm o más de 100 mm.

35

Como se usa en este documento, una plancha (también conocida como palastro) tiene, en general, un espesor de aproximadamente 4 mm a aproximadamente 15 mm. Por ejemplo, una plancha puede tener un espesor de 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, 12 mm, 13 mm, 14 mm o 15 mm.

40

Como se usa en este documento, una chapa, en general, se refiere a un producto de aluminio que tiene un espesor de menos de aproximadamente 4 mm. Por ejemplo, una chapa puede tener un espesor de menos de 4 mm, menos de 3 mm, menos de 2 mm, menos de 1 mm, menos de 0,5 mm, menos de 0,3 mm o menos de 0,1 mm.

45

En esta solicitud se hace referencia al revenido o condición de la aleación. Para comprender las descripciones de los revenidos de aleación usados más comúnmente, véase el documento "American National Standards (ANSI) H35 on Alloy and Temper Designation Systems". Una condición o revenido F se refiere a una aleación de aluminio tal como se fabrica. Una condición o revenido O se refiere a una aleación de aluminio después del recocido. Una condición o revenido T1 se refiere a una aleación de aluminio enfriada desde el trabajo en caliente y envejecida naturalmente (por ejemplo, a temperatura ambiente). Una condición o revenido T2 se refiere a una aleación de aluminio enfriada desde el trabajo en caliente, trabajada en frío y envejecida naturalmente. Una condición o revenido T3 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización, trabajada en frío y envejecida naturalmente. Una condición o revenido T4 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización y envejecida naturalmente. Una condición o revenido T5 se refiere a una aleación de aluminio enfriada desde el trabajo en caliente y envejecida artificialmente (a temperaturas elevadas). Una condición o revenido T6 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización y envejecida artificialmente. Una condición o revenido T7 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización y sobre-envejecida artificialmente. Una condición o revenido T8 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización, trabajada en frío y envejecida artificialmente. Una condición o revenido T9 se refiere a una aleación de aluminio con tratamiento térmico de solubilización, envejecida artificialmente y trabajada en frío.

50

55

60

Como se usan en este documento, las expresiones, tales como "producto de metal colado", "producto colado", "producto de aleación de aluminio colado" y similares son intercambiables y se refieren a un producto producido

65

mediante colada de enfriamiento directo (incluyendo la colada conjunta de enfriamiento directo) o colada semicontinua, colada continua (incluyendo, por ejemplo, mediante el uso de una máquina de colada de doble banda, una máquina de colada de doble rodillo, una máquina de colada de bloque o cualquier otra máquina de colada continua), colada electromagnética, colada superior en caliente o cualquier otro método de colada.

5

Como se usa en este documento, el significado de "temperatura ambiente" puede incluir una temperatura de aproximadamente 15 °C a aproximadamente 30 °C, por ejemplo, de aproximadamente 15 °C, de aproximadamente 16 °C, de aproximadamente 17 °C, de aproximadamente 18 °C, de aproximadamente 19 °C, de aproximadamente 20 °C, de aproximadamente 21 °C, de aproximadamente 22 °C, de aproximadamente 23 °C, de aproximadamente 24 °C, de aproximadamente 25 °C, de aproximadamente 26 °C, de aproximadamente 27 °C, de aproximadamente 28 °C, de aproximadamente 29 °C o de aproximadamente 30 °C.

10

Se ha de entender que todos los intervalos divulgados en este documento abarcan todos y cada uno de los subintervalos incluidos en los mismos. Por ejemplo, se debe considerar que un intervalo establecido de "1 a 10" incluye todos y cada uno de los subintervalos entre (e incluidos) el valor mínimo de 1 y el valor máximo de 10; es decir, todos los subintervalos que comienzan con un valor mínimo de 1 o más, por ejemplo, de 1 a 6,1 y que terminan con un valor máximo de 10 o menos, por ejemplo, de 5,5 a 10.

15

En los siguientes ejemplos, las aleaciones de aluminio se describen en términos de su composición elemental en porcentaje en peso (% en peso). En cada aleación, el resto es aluminio si no se indica lo contrario. En algunos ejemplos, las aleaciones divulgadas en este documento tienen un porcentaje en peso máximo del 0,15 % para la suma de todas las impurezas.

20

Composición de aleación

25

Las aleaciones descritas en este documento son aleaciones de aluminio de la serie 6xxx novedosas. Las aleaciones de aluminio presentan un alto límite elástico y capacidad de flexión, junto con una resistencia a la corrosión inesperadamente alta en los límites de grano. Las propiedades de las aleaciones de aluminio se consiguen gracias a las composiciones y/o métodos para fabricar las aleaciones.

30

En algunos ejemplos, la aleación de aluminio tiene la composición elemental expuesta en la Tabla 1.
Tabla 1

Elemento	Porcentaje en peso (% en peso)
Si	0,4 - 0,7
Mg	0,4 - 1,6
Cu	0,2 - 1,5
Fe	0 - 0,5
Ti	0 - 0,1
Cr	0 - 0,1
Zr	0,02 - 0,2
Mn	0 - 0,25
V	0 - 0,05
Otros	0 - 0,2 (cada uno)
	0 - 0,5 (total)
Al	Resto (al menos 95,0)

35

Las composiciones de aleación descritas en este documento incluyen del 0,4 % al 0,7 % de silicio (Si). En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,4 %, aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 % o aproximadamente el 0,7 %. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

40

Las composiciones de aleación descritas en este documento incluyen del 0,4 % al 1,6 % de magnesio (Mg). Por ejemplo, las composiciones de aleación pueden incluir Mg en una cantidad de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 1,2 %, de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 1,0 %, de aproximadamente el 0,5 % a aproximadamente el 1,2 %, de aproximadamente el 0,5 % a aproximadamente el 1,0 % o de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 0,7 % de Mg. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,4 %, aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 %,

45

aproximadamente el 0,7 %, aproximadamente el 0,8 %, aproximadamente el 0,9 %, aproximadamente el 1,0 %, aproximadamente el 1,1 %, aproximadamente el 1,2 %, aproximadamente el 1,3 %, aproximadamente el 1,4 % de Mg o aproximadamente el 1,5 % de Mg. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

5 Las composiciones de aleación descritas en este documento incluyen del 0,2 % al 1,5 % de cobre (Cu). Por ejemplo, las composiciones de aleación pueden incluir Cu en una cantidad de aproximadamente el 0,3 % a aproximadamente el 1,1 %, de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 1,0 %, de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 0,9 %, de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 0,8 % o de aproximadamente el 0,4 % a aproximadamente el 0,7 %. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación
10 pueden incluir aproximadamente el 0,2 %, aproximadamente el 0,3 %, aproximadamente el 0,4 %, aproximadamente el 0,5 %, aproximadamente el 0,6 %, aproximadamente el 0,7 %, aproximadamente el 0,8 %, aproximadamente el 0,9 %, aproximadamente el 1,0 %, aproximadamente el 1,1 %, aproximadamente el 1,2 % de Cu, aproximadamente el 1,3 % de Cu, aproximadamente el 1,4 % de Cu o aproximadamente el 1,5 % de Cu. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

15 Las composiciones de aleación descritas en este documento incluyen hasta el 0,5 % de hierro (Fe). Por ejemplo, las composiciones de aleación pueden incluir Fe en una cantidad del 0 % a aproximadamente el 0,4 %, del 0 % a aproximadamente el 0,3 %, de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 0,5 % o de aproximadamente el 0,1 % a aproximadamente el 0,3 %. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir
20 aproximadamente el 0,1 %, aproximadamente el 0,2 %, aproximadamente el 0,3 %, aproximadamente el 0,4 % o aproximadamente el 0,5 % de Fe. En algunos casos, el Fe no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

25 Las composiciones de aleación descritas en este documento incluyen hasta el 0,1 % de titanio (Ti). Por ejemplo, las composiciones de aleación pueden incluir Ti en una cantidad del 0 % a aproximadamente el 0,07 %, del 0 % a aproximadamente el 0,05 %, de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,1 %, de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,07 % o de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,05 %. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el
30 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 % o aproximadamente el 0,10 %. En algunos casos, el Ti no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

35 Las composiciones de aleación incluyen del 0 al 0,1 % de Cr. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Cr en una cantidad del 0 % a aproximadamente el 0,07 %, del 0 % a aproximadamente el 0,05 %, de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,1 %, de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,07 % o de aproximadamente el 0,01 a aproximadamente el 0,05 %. En algunos de tales casos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el
40 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 % o aproximadamente el 0,10 % de Cr. En algunos casos, el Cr no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

45 En algunos ejemplos divulgados en este documento, tales como los expuestos en la Tabla 1, la composición de aleación tiene un exceso de circonio (Zr) por encima de lo que puede ser habitual para una aleación de aluminio de la serie 6xxx. Las composiciones de aleación incluyen del 0,02 % al 0,2 % de Zr. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Zr en una cantidad de aproximadamente el 0,04 % a aproximadamente el 0,18 %, de aproximadamente el 0,06 % a aproximadamente el 0,16 %, de aproximadamente el 0,07 % a aproximadamente el 0,16 % o de aproximadamente el 0,08 % a aproximadamente el 0,16 %. En algunos de tales casos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el
50 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Zr. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

55 Las composiciones de aleación comprenden del 0 % al 0,25 % de Mn. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Mn en una cantidad del 0 % a aproximadamente el 0,23 %, del 0 % a aproximadamente el 0,21 %, de aproximadamente el 0,05 % a aproximadamente el 0,23 %, de aproximadamente el 0,05 % a aproximadamente el 0,21 % o de aproximadamente el 0,10 % a aproximadamente el 0,23 %. En algunos de tales casos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el
60 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Mn. Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 %, aproximadamente el 0,20 %, aproximadamente el 0,21 %, aproximadamente el 0,22 %, aproximadamente el 0,23 %, aproximadamente el 0,24 % o aproximadamente el 0,25 % de Mn. En algunos casos, el Mn no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

Las composiciones de aleación comprenden del 0 % al 0,05 % de V. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir V en una cantidad del 0 % a aproximadamente el 0,02 % o de aproximadamente el 0,01 % a aproximadamente el 0,02 %. En algunos de tales casos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 % o aproximadamente el 0,02 %. En algunos casos, el V no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

Opcionalmente, las composiciones de aleación divulgadas en este documento pueden tener cantidades minoritarias de otros elementos, incluyendo escandio (Sc), estaño (Sn), cinc (Zn) y níquel (Ni).

En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Sc en una cantidad del 0 % al 0,20 %, del 0 % a aproximadamente el 0,15 % o del 0 % a aproximadamente el 0,10 %. En algunos de tales ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Sc. En algunos casos, el Sc no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Sn en una cantidad del 0 % al 0,20 %, del 0 % a aproximadamente el 0,15 % o del 0 % a aproximadamente el 0,10 %. En algunos de tales ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Sn. En algunos casos, el Sn no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Zn en una cantidad del 0 % al 0,20 %, del 0 % a aproximadamente el 0,15 % o del 0 % a aproximadamente el 0,10 %. En algunos de tales ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Zn. En algunos casos, el Zn no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir Ni en una cantidad del 0 % al 0,20 %, del 0 % a aproximadamente el 0,15 % o del 0 % a aproximadamente el 0,10 %. En algunos de tales ejemplos, las composiciones de aleación pueden incluir aproximadamente el 0,01 %, aproximadamente el 0,02 %, aproximadamente el 0,03 %, aproximadamente el 0,04 %, aproximadamente el 0,05 %, aproximadamente el 0,06 %, aproximadamente el 0,07 %, aproximadamente el 0,08 %, aproximadamente el 0,09 %, aproximadamente el 0,10 %, aproximadamente el 0,11 %, aproximadamente el 0,12 %, aproximadamente el 0,13 %, aproximadamente el 0,14 %, aproximadamente el 0,15 %, aproximadamente el 0,16 %, aproximadamente el 0,17 %, aproximadamente el 0,18 %, aproximadamente el 0,19 % o aproximadamente el 0,20 % de Ni. En algunos casos, el Ni no está presente en la aleación (es decir, es el 0 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

Opcionalmente, las composiciones de aleación divulgadas en este documento, incluyendo las expuestas en la Tabla 1, pueden incluir, además, otros elementos minoritarios, a los que en ocasiones se hace referencia como impurezas, en cantidades del 0,05 % o menos, del 0,04 % o menos, del 0,03 % o menos, del 0,02 % o menos o del 0,01 % o menos. Estas impurezas pueden incluir, pero sin limitación, Ga, Ca, Bi, Na, Pb o combinaciones de los mismos. Por consiguiente, el Ga, Ca, Bi, Na o Pb pueden estar presentes en las aleaciones en cantidades del 0,05 % o menos, del 0,04 % o menos, del 0,03 % o menos, del 0,02 % o menos o del 0,01 % o menos. La

suma de todas las impurezas no excede el 0,15 % (por ejemplo, el 0,10 %). Todos los porcentajes se expresan en % en peso.

- 5 Las composiciones de aleación divulgadas en este documento tienen aluminio (Al) como componente principal, normalmente en una cantidad de al menos el 95,0 %. En algunos ejemplos, las composiciones de aleación tienen al menos el 95,5 %, al menos el 96,0 %, al menos el 96,5 %, al menos el 97,0 % o al menos el 97,5 % de Al.

Métodos para preparar productos de aleación de aluminio

- 10 En ciertos aspectos, las composiciones de aleación divulgadas son un producto de un método divulgado. Sin pretender limitar la invención, las propiedades de la aleación de aluminio están parcialmente determinadas por la formación de microestructuras durante la preparación de la aleación.

- 15 Las aleaciones descritas en este documento se pueden colar usando un método de colada conocido por los expertos en la materia. Por ejemplo, el proceso de colada puede incluir un proceso de colada de enfriamiento directo (DC). Opcionalmente, los productos de aleación de aluminio colados DC (por ejemplo, lingotes) se pueden descamar superficialmente antes de su procesamiento posterior. Opcionalmente, el proceso de colada puede incluir un proceso de colada continua (CC). Los productos de aleación de aluminio colados se pueden someter, a continuación, a etapas de procesamiento adicionales. En un ejemplo no limitativo, el método de
20 procesamiento incluye homogeneización, laminación en caliente, tratamiento térmico de solubilización y temple. En algunos casos, las etapas de procesamiento incluyen, además, recocido y/o laminación en frío, si se desea.

Homogeneización

- 25 La etapa de homogeneización puede incluir el calentamiento de un producto de aleación de aluminio preparado a partir de una composición de aleación descrita en este documento para alcanzar una temperatura máxima del metal (PMT, por sus siglas en inglés) de al menos aproximadamente 450 °C (por ejemplo, al menos aproximadamente 450 °C, al menos aproximadamente 460 °C, al menos aproximadamente 470 °C, al menos aproximadamente 480 °C, al menos aproximadamente 490 °C, al menos aproximadamente 500 °C, al menos
30 aproximadamente 510 °C, al menos aproximadamente 520 °C, al menos aproximadamente 530 °C, al menos aproximadamente 540 °C, al menos aproximadamente 550 °C, al menos aproximadamente 560 °C, al menos aproximadamente 570 °C o al menos aproximadamente 580 °C). Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede calentar hasta una temperatura de aproximadamente 520 °C a aproximadamente 580 °C, de aproximadamente 530 °C a aproximadamente 575 °C, de aproximadamente 535 °C a aproximadamente 570 °C,
35 de aproximadamente 540 °C a aproximadamente 565 °C, de aproximadamente 545 °C a aproximadamente 560 °C, de aproximadamente 530 °C a aproximadamente 560 °C o de aproximadamente 550 °C a aproximadamente 580 °C. En algunos casos, la velocidad de calentamiento hasta la PMT puede ser de aproximadamente 100 °C/hora o menos, 75 °C/hora o menos, 50 °C/hora o menos, 40 °C/hora o menos, 30 °C/hora o menos, 25 °C/hora o menos, 20 °C/hora o menos o 15 °C/hora o menos. En otros casos, la
40 velocidad de calentamiento hasta la PMT puede ser de aproximadamente 10 °C/min a aproximadamente 100 °C/min (por ejemplo, de aproximadamente 10 °C/min a aproximadamente 90 °C/min, de aproximadamente 10 °C/min a aproximadamente 70 °C/min, de aproximadamente 10 °C/min a aproximadamente 60 °C/min, de aproximadamente 20 °C/min a aproximadamente 90 °C/min, de aproximadamente 30 °C/min a aproximadamente 80 °C/min, de aproximadamente 40 °C/min a aproximadamente 70 °C/min o de aproximadamente 50 °C/min a
45 aproximadamente 60 °C/min).

- Se deja que el producto de aleación de aluminio se estabilice (es decir, se mantenga a la temperatura indicada) durante un período de tiempo. De acuerdo con un ejemplo no limitativo, se deja que el producto de aleación de aluminio se estabilice durante hasta aproximadamente 6 horas (por ejemplo, de aproximadamente 30 minutos a
50 aproximadamente 6 horas, inclusive). Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede estabilizar a una temperatura de al menos 500 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas o 6 horas, o cualquier punto intermedio.

Laminación en caliente

- 55 Después de la etapa de homogeneización, se puede realizar una etapa de laminación en caliente. En ciertos casos, los productos de aleación de aluminio se depositan y laminan en caliente con un intervalo de temperatura de entrada de aproximadamente 500 °C - 540 °C. La temperatura de entrada puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 505 °C, 510 °C, 515 °C, 520 °C, 525 °C, 530 °C, 535 °C o 540 °C. En ciertos casos, la
60 temperatura de salida de la laminación en caliente puede variar de aproximadamente 250 °C a 380 °C (por ejemplo, de aproximadamente 330 °C a 370 °C). Por ejemplo, la temperatura de salida de la laminación en caliente puede ser de aproximadamente 255 °C, 260 °C, 265 °C, 270 °C, 275 °C, 280 °C, 285 °C, 290 °C, 295 °C, 300 °C, 305 °C, 310 °C, 315 °C, 320 °C, 325 °C, 330 °C, 335 °C, 340 °C, 345 °C, 350 °C, 355 °C, 360 °C, 365 °C, 370 °C, 375 °C o 380 °C.

65

En ciertos casos, las muestras homogeneizadas se enfriaron por inmersión de 560 °C a 350 °C (por ejemplo, hasta por debajo de la temperatura de recristalización) usando una pulverización de agua a temperatura ambiente. A continuación, las muestras se laminaron en caliente a una temperatura de entrada de la laminación en caliente de entre 340 °C y 360 °C para suprimir la precipitación de elementos solutos (por ejemplo, Mg, Si, Cu, etc.). La temperatura de la laminación en caliente relativamente baja ayudó a mantener la chapa sin recrystalizar y a maximizar la energía almacenada del proceso de laminación. La temperatura de la laminación en caliente de acabado estaba entre 270 °C y 310 °C. Inmediatamente después de la laminación en caliente, las muestras se templaron con agua inmediatamente sin ningún retraso en la salida de la laminación en caliente, con agua a temperatura ambiente. Se realizó el temple inmediato con agua a temperatura ambiente para evitar la precipitación en los límites de grano de las muestras y para maximizar la cantidad de elementos solutos en la solución sólida que se separarían por precipitación como una fase de fortalecimiento durante el envejecimiento artificial.

En ciertos ejemplos, el producto de aleación de aluminio se lamina en caliente hasta un calibre de aproximadamente 4 mm a aproximadamente 15 mm de espesor (por ejemplo, un calibre de aproximadamente 5 mm a aproximadamente 12 mm de espesor), lo que se conoce como plancha. Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre de aproximadamente 15 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 14 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 13 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 12 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 11 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 10 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 9 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 8 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 7 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 6 mm de espesor o un calibre de aproximadamente 5 mm de espesor.

En otros ejemplos, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre de más de 15 mm de espesor (es decir, una placa). Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre de aproximadamente 25 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 24 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 23 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 22 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 21 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 20 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 19 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 18 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 17 mm de espesor o un calibre de aproximadamente 16 mm de espesor.

En otros casos, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre inferior a 4 mm (es decir, una chapa). En algunos ejemplos, el producto de aleación de aluminio se lamina en caliente hasta un calibre de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 4 mm de espesor. Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre de aproximadamente 4 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 3 mm de espesor, un calibre de aproximadamente 2 mm de espesor o un calibre de aproximadamente 1 mm de espesor. El revenido de las placas, planchas y chapas tal como se han laminado se conoce como revenido F.

Etapas de procesamiento opcionales: etapa de recocido y etapa de laminación en frío

En ciertos aspectos, la aleación se somete a etapas de procesamiento adicionales después de la etapa de laminación en caliente y antes de cualquier etapa posterior (por ejemplo, antes de una etapa de tratamiento térmico de solubilización). Entre las etapas de procesamiento adicionales pueden figurar un procedimiento de recocido y una etapa de laminación en frío.

La etapa de recocido puede dar como resultado una aleación con componentes de textura mejorada (por ejemplo, una aleación de T4 mejorada) con anisotropía reducida durante las operaciones de formación, tales como estampación, trefilado o doblado. Al aplicar la etapa de recocido, la textura en el revenido modificado se controla/diseña para que sea más aleatoria y se reduzcan los componentes de textura (TC, por sus siglas en inglés) que puedan producir una fuerte anisotropía de formabilidad (por ejemplo, Goss, Goss-ND o Cube-RD). Esta textura mejorada puede reducir potencialmente la anisotropía de flexión y puede mejorar la formabilidad en la formación cuando se trata de un proceso de trefilado o estampación circunferencial, ya que actúa para reducir la variabilidad de las propiedades en diferentes direcciones.

La etapa de recocido puede incluir el calentamiento de la aleación de temperatura ambiente a una temperatura de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 500 °C (por ejemplo, de aproximadamente 405 °C a aproximadamente 495 °C, de aproximadamente 410 °C a aproximadamente 490 °C, de aproximadamente 415 °C a aproximadamente 485 °C, de aproximadamente 420 °C a aproximadamente 480 °C, de aproximadamente 425 °C a aproximadamente 475 °C, de aproximadamente 430 °C a aproximadamente 470 °C, de aproximadamente 435 °C a aproximadamente 465 °C de aproximadamente 440 °C a aproximadamente 460 °C, de aproximadamente 445 °C a aproximadamente 455 °C, de aproximadamente 450 °C a aproximadamente 460 °C, de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 450 °C, de aproximadamente 425 °C a aproximadamente 475 °C o de aproximadamente 450 °C a aproximadamente 500 °C).

El producto de aleación de aluminio (por ejemplo, placa, plancha o chapa) se puede estabilizar a esa temperatura durante un período de tiempo. En un ejemplo no limitativo, se deja que la aleación de aluminio se estabilice durante hasta aproximadamente 2 horas (por ejemplo, de aproximadamente 15 a aproximadamente 120 minutos, inclusive). Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede estabilizar a la temperatura

5 de aproximadamente 400 °C a aproximadamente 500 °C durante 15 minutos, 20 minutos, 25 minutos, 30 minutos, 35 minutos, 40 minutos, 45 minutos, 50 minutos, 55 minutos, 60 minutos, 65 minutos, 70 minutos, 75 minutos, 80 minutos, 85 minutos, 90 minutos, 95 minutos, 100 minutos, 105 minutos, 110 minutos, 115 minutos o 120 minutos, o cualquier punto intermedio.

10 En ciertos aspectos, la aleación no se somete a una etapa de recocido.

Opcionalmente, se puede aplicar una etapa de laminación en frío a la aleación antes de la etapa de tratamiento térmico de solubilización. En algunos ejemplos, el producto laminado de la etapa de laminación en caliente (por ejemplo, la placa, plancha o chapa) se puede laminar en frío hasta una plancha de calibre fino (por ejemplo, de aproximadamente 4,0 a 4,5 mm). En otros ejemplos, el producto laminado se lamina en frío a aproximadamente

15 4,5 mm, aproximadamente 4,4 mm, aproximadamente 4,3 mm, aproximadamente 4,2 mm, aproximadamente 4,1 mm o aproximadamente 4,0 mm. En otros ejemplos, el producto laminado se lamina a aproximadamente 3,9 mm, aproximadamente 3,8 mm, aproximadamente 3,7 mm, aproximadamente 3,6 mm, aproximadamente 3,5 mm, aproximadamente 3,4 mm, aproximadamente 3,3 mm, aproximadamente 3,2 mm, aproximadamente

20 3,1 mm, aproximadamente 3,0 mm, aproximadamente 2,9 mm, aproximadamente 2,8 mm, aproximadamente 2,7 mm, aproximadamente 2,6 mm, aproximadamente 2,5 mm, aproximadamente 2,4 mm, aproximadamente 2,3 mm, aproximadamente 2,2 mm, aproximadamente 2,1 mm, aproximadamente 2,0 mm, aproximadamente 1,9 mm, aproximadamente 1,8 mm, aproximadamente 1,7 mm, aproximadamente 1,6 mm, aproximadamente

25 1,5 mm, aproximadamente 1,4 mm, aproximadamente 1,3 mm, aproximadamente 1,2 mm, aproximadamente 1,1 mm o aproximadamente 1,0 mm.

Tratamiento térmico de solubilización

La etapa de tratamiento térmico de solubilización puede incluir el calentamiento del producto de aleación de aluminio de temperatura ambiente a una temperatura de aproximadamente 520 °C a aproximadamente 590 °C (por ejemplo, de aproximadamente 520 °C a aproximadamente 580 °C, de aproximadamente 530 °C a aproximadamente 570 °C, de aproximadamente 545 °C a aproximadamente 575 °C, de aproximadamente 550 °C a aproximadamente 570 °C, de aproximadamente 555 °C a aproximadamente 565 °C, de aproximadamente 540 °C a aproximadamente 560 °C, de aproximadamente 560 °C a aproximadamente 580 °C

35 o de aproximadamente 550 °C a aproximadamente 575 °C). El producto de aleación de aluminio se puede estabilizar a esa temperatura durante un período de tiempo. En ciertos aspectos, se deja que el producto de aleación de aluminio se estabilice durante hasta aproximadamente 2 horas (por ejemplo, de aproximadamente 10 segundos a aproximadamente 120 minutos, inclusive). Por ejemplo, el producto de aleación de aluminio se puede estabilizar a la temperatura de aproximadamente 525 °C a aproximadamente 590 °C durante 20

40 segundos, 25 segundos, 30 segundos, 35 segundos, 40 segundos, 45 segundos, 50 segundos, 55 segundos, 60 segundos, 65 segundos, 70 segundos, 75 segundos, 80 segundos, 85 segundos, 90 segundos, 95 segundos, 100 segundos, 105 segundos, 110 segundos, 115 segundos, 120 segundos, 125 segundos, 130 segundos, 135 segundos, 140 segundos, 145 segundos o 150 segundos, 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 20 minutos, 25 minutos, 30 minutos, 35 minutos, 40 minutos, 45 minutos, 50 minutos, 55 minutos, 60 minutos, 65 minutos, 70

45 minutos, 75 minutos, 80 minutos, 85 minutos, 90 minutos, 95 minutos, 100 minutos, 105 minutos, 110 minutos, 115 minutos o 120 minutos, o cualquier punto intermedio.

En ciertos aspectos, el tratamiento térmico de solubilización se realiza inmediatamente después de la etapa de laminación en caliente o en frío. En ciertos aspectos, el tratamiento térmico de solubilización se realiza después

50 de una etapa de recocido.

Temple

En ciertos aspectos, el producto de aleación de aluminio se puede enfriar, a continuación, hasta una temperatura de aproximadamente 25 °C a una velocidad de temple que puede variar entre aproximadamente 50 °C/s y 400 °C/s en una etapa de temple, en función del calibre seleccionado. Por ejemplo, la velocidad de temple puede ser de aproximadamente 50 °C/s a aproximadamente 375 °C/s, de aproximadamente 60 °C/s a aproximadamente 375 °C/s, de aproximadamente 70 °C/s a aproximadamente 350 °C/s, de aproximadamente 80 °C/s a aproximadamente 325 °C/s, de aproximadamente 90 °C/s a aproximadamente 300 °C/s, de

60 aproximadamente 100 °C/s a aproximadamente 275 °C/s, de aproximadamente 125 °C/s a aproximadamente 250 °C/s, de aproximadamente 150 °C/s a aproximadamente 225 °C/s o de aproximadamente 175 °C/s a aproximadamente 200 °C/s.

En la etapa de temple, el producto de aleación de aluminio se temple rápidamente con un líquido (por ejemplo, agua) y/o un gas u otro medio de temple seleccionado. En ciertos aspectos, el producto de aleación de aluminio

65

se puede templar rápidamente con agua. En ciertos aspectos, el producto de aleación de aluminio se temple con aire.

Envejecimiento

5

El producto de aleación de aluminio se puede envejecer naturalmente durante un período de tiempo para dar como resultado el revenido T4. En ciertos aspectos, el producto de aleación de aluminio en el revenido T4 se puede envejecer artificialmente (AA, por sus siglas en inglés) a entre aproximadamente 180 °C y 225 °C (por ejemplo, 185 °C, 190 °C, 195 °C, 200 °C, 205 °C, 210 °C, 215 °C, 220 °C o 225 °C) durante un período de tiempo para dar como resultado el revenido T6. Opcionalmente, el producto de aleación de aluminio se puede trabajar en frío y envejecer artificialmente durante un período de aproximadamente 15 minutos a aproximadamente 8 horas (por ejemplo, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas, 7 horas u 8 horas, o cualquier punto intermedio) para dar como resultado el revenido T8.

10

Producción de bobinas

15

La etapa de recocido durante la producción también se puede aplicar para producir el producto de aleación de aluminio en forma de bobina para mejorar la productividad o la formabilidad. Por ejemplo, un producto de aleación de aluminio en forma de bobina se puede suministrar en el revenido O, usando una etapa de laminación en caliente o en frío y una etapa de recocido, después de la etapa de laminación en caliente o en frío. La formación se puede producir en el revenido O, que va seguido de un tratamiento térmico en solución, temple y envejecimiento artificial/cocción de la pintura.

20

En ciertos aspectos, para producir un producto de aleación de aluminio en forma de bobina y con alta formabilidad en comparación con el revenido F, se puede aplicar a la bobina una etapa de recocido, como se describe en este documento. Sin pretender limitar la invención, el fin del recocido y los parámetros de recocido pueden incluir (1) liberar el endurecimiento por trabajo en el material para ganar formabilidad; (2) recristalizar o recuperar el material sin causar un crecimiento de grano significativo; (3) diseñar o convertir la textura para que sea apropiada para la formación y para la reducción de la anisotropía durante la formabilidad; y (4) evitar el engrosamiento de partículas de precipitación preexistentes.

25

30

Productos de aluminio y propiedades de los mismos

En algunos ejemplos no limitativos, los productos de aleación de aluminio que incluyen las aleaciones de aluminio divulgadas en este documento tienen un alto límite elástico y capacidad de flexión y una excelente resistencia a la corrosión en comparación con las aleaciones de la serie 6xxx convencionales.

35

En algunos ejemplos, una chapa de aleación de aluminio preparada a partir de las aleaciones divulgadas en este documento tiene un límite elástico de tracción de al menos aproximadamente 265 MPa, cuando la chapa está en el revenido T6, y el límite elástico de tracción se mide de acuerdo con la Prueba de la ASTM n.º B557 (2015) con GL de 5,08 cm (2"). Por ejemplo, el límite elástico puede ser de al menos aproximadamente 275 MPa o al menos aproximadamente 280 MPa. En algunos otros ejemplos, el límite elástico varía de aproximadamente 265 MPa a aproximadamente 400 MPa, de aproximadamente 270 MPa a aproximadamente 375 MPa o de aproximadamente 275 MPa a aproximadamente 350 MPa.

40

45

Una chapa de aleación de aluminio preparada a partir de las aleaciones divulgadas en este documento puede tener un ángulo de flexión de al menos 55°, donde la chapa de aleación de aluminio está en el revenido T6 y el ángulo de flexión se mide de acuerdo con la prueba expuesta en la Prueba n.º 238-100 de la Asociación Alemana de la Industria del Automóvil (VDA, por sus siglas en alemán Verband der Automobilindustrie), con la excepción de que la prueba se realizó sin tensión previa. En algunos casos, la chapa de aleación de aluminio tiene un ángulo de flexión de al menos 56°, al menos 57°, al menos 58°, al menos 59°, al menos 60°, al menos 61° o al menos 62°. En algunos otros ejemplos, la chapa de aleación de aluminio tiene un ángulo de flexión que varía de 55° a 75°, de 57° a 72° o de 60° a 70°.

50

Las chapas de aleación de aluminio preparadas a partir de las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad promedio de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de aproximadamente 145 µm, cuando se mide usando la prueba de la norma ISO 11846B (1995) con una exposición de 24 horas. En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio que comprenden las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad promedio de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de 140 µm, no mayor de 135 µm, no mayor de 130 µm, no mayor de 125 µm, no mayor de 120 µm, no mayor de 115 µm, no mayor de 110 µm, no mayor de 105 µm, no mayor de 100 µm, no mayor de 95 µm, no mayor de 90 µm, no mayor de 85 µm, no mayor de 80 µm, no mayor de 75 µm, no mayor de 70 µm, no mayor de 65 µm, no mayor de 60 µm, no mayor de 55 µm, no mayor de 50 µm, no mayor de 45 µm, no mayor de 40 µm, no mayor de 35 µm, no mayor de 30 µm o no mayor de 25 µm.

55

60

65

En algunos ejemplos, las chapas de aleación de aluminio preparadas a partir de las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad máxima de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de aproximadamente 215 µm, cuando se mide usando la prueba de la norma ISO 11846B (1995) con una exposición de 24 horas. En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio que comprenden las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad máxima de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de 210 µm, no mayor de 205 µm, no mayor de 200 µm, no mayor de 195 µm, no mayor de 190 µm, no mayor de 185 µm, no mayor de 180 µm, no mayor de 175 µm, no mayor de 170 µm, no mayor de 165 µm, no mayor de 160 µm, no mayor de 155 µm, no mayor de 150 µm, no mayor de 145 µm, no mayor de 140 µm, no mayor de 135 µm, no mayor de 130 µm, no mayor de 125 µm, no mayor de 120 µm, no mayor de 115 µm, no mayor de 110 µm, no mayor de 105 µm, no mayor de 100 µm, no mayor de 95 µm, no mayor de 90 µm, no mayor de 85 µm, no mayor de 80 µm, no mayor de 75 µm, no mayor de 70 µm, no mayor de 65 µm, no mayor de 60 µm, no mayor de 55 µm, no mayor de 50 µm, no mayor de 45 µm, no mayor de 40 µm, no mayor de 35 µm, no mayor de 30 µm o no mayor de 25 µm.

En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio preparadas a partir de las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad máxima de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor que el tamaño promedio de grano de los granos de la superficie probada, donde la profundidad de la picadura se mide usando la prueba de la norma ISO 11846B (1995) con una exposición de 24 horas y el tamaño promedio de grano se calcula midiéndolo mediante el método de la ASTM E112 (2004). En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio que comprenden las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad máxima de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de 0,9 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,8 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,7 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,6 veces el tamaño promedio de grano o no mayor de 0,5 veces el tamaño promedio de grano.

En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio preparadas a partir de las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad promedio de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor que el tamaño promedio de grano de los granos de la superficie probada, donde la profundidad de la picadura se mide usando la prueba de la norma ISO 11846B (1995) con una exposición de 24 horas y el tamaño promedio de grano se calcula midiéndolo mediante el método de la ASTM E112 (2004). En algunos ejemplos adicionales, las chapas de aleación de aluminio que comprenden las aleaciones divulgadas en este documento tienen una resistencia a la corrosión que proporciona una profundidad promedio de ataque de corrosión intergranular (IGC) no mayor de 0,9 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,8 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,7 veces el tamaño promedio de grano, no mayor de 0,6 veces el tamaño promedio de grano o no mayor de 0,5 veces el tamaño promedio de grano.

Las propiedades mecánicas de los productos de aleación de aluminio se pueden controlar mediante diversas condiciones de envejecimiento según el uso deseado. Como ejemplo, los productos de aleación de aluminio se pueden producir (o proporcionar) en el revenido T4, el revenido T6 o el revenido T8. Se pueden proporcionar placas, planchas o chapas de T4, que se refieren a placas, planchas y chapas tratadas térmicamente en solución y envejecidas naturalmente. Opcionalmente, estas placas, planchas y chapas de T4 se pueden someter según se reciben a uno o más tratamientos de envejecimiento adicionales para satisfacer los requisitos de resistencia. Por ejemplo, las placas, planchas y chapas se pueden suministrar en otros revenidos, tales como el revenido T6 o el revenido T8, sometiendo el material de aleación de T4 al tratamiento de envejecimiento apropiado, como se describe en este documento o como conocen de otro modo los expertos en la materia.

Como se ha divulgado con más detalle anteriormente, los productos de aleación de aluminio descritos en este documento en forma de placas, extrusiones, piezas coladas y forjadas u otros productos adecuados se pueden fabricar usando técnicas conocidas por los expertos en la materia. Por ejemplo, las placas que incluyen las aleaciones de aluminio que se describen en este documento se pueden preparar procesando un producto de aleación de aluminio en una etapa de homogeneización, seguida de una etapa de laminación en caliente. En la etapa de laminación en caliente, el producto de aleación de aluminio se puede laminar en caliente hasta un calibre de 200 mm de espesor o menos (por ejemplo, de 1 mm a 200 mm).

Artículos de fabricación

La divulgación proporciona un artículo de fabricación que incluye un producto de aleación de aluminio divulgado en este documento. En algunos ejemplos, el artículo de fabricación comprende un producto de aleación de aluminio laminado. Los ejemplos de tales artículos de fabricación incluyen, pero sin limitación, un automóvil, un camión, un remolque, un tren, un vagón de ferrocarril, un avión, un panel de carrocería o una pieza para cualquiera de los anteriores, un puente, una conducción, una tubería, un tubo, un bote, un barco, un contenedor de almacenamiento, un tanque de almacenamiento, un mueble, una ventana, una puerta, una barandilla, una

pieza arquitectónica funcional o decorativa, una barandilla de tubería, un componente eléctrico, un conducto, un recipiente para bebidas, un recipiente para alimentos o una lámina.

Los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento se pueden usar en aplicaciones de automoción y/o transporte, incluyendo aplicaciones de vehículos de motor, aeronaves y ferrocarriles, o en cualquier otra aplicación deseada. En algunos ejemplos, los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento se pueden usar para preparar productos de piezas de carrocería de vehículos de motor, tales como parachoques, vigas laterales, vigas de techo, vigas transversales, refuerzos de pilares (por ejemplo, pilares A, pilares B y pilares C), paneles interiores, paneles exteriores, paneles laterales, interiores de capó, exteriores de capó o paneles de la tapa del maletero. Las aleaciones de aluminio y los métodos descritos en este documento también se pueden usar en aplicaciones de vehículos aéreos o ferroviarios, para preparar, por ejemplo, paneles externos e internos.

Los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento también se pueden usar en aplicaciones electrónicas. Por ejemplo, los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento se pueden usar para preparar carcasas para dispositivos electrónicos, incluyendo teléfonos móviles y tabletas. En algunos ejemplos, las aleaciones se pueden usar para preparar carcasas para la cubierta exterior de teléfonos móviles (por ejemplo, teléfonos inteligentes) y el armazón de la parte inferior de las tabletas.

Los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento también se pueden usar en aplicaciones industriales. Por ejemplo, los productos de aleación de aluminio divulgados en este documento se pueden usar para preparar productos para el mercado de distribución general.

Los siguientes ejemplos sirven para ilustrar adicionalmente ciertas realizaciones de la presente divulgación sin que, al mismo tiempo, sin embargo, constituyan ninguna limitación de la misma. Por el contrario, se ha de entender claramente que se puede recurrir a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de las mismas que, después de leer la descripción de este documento, pueden sugerirse a los expertos en la materia sin apartarse del espíritu de la divulgación.

EJEMPLO 1 - Composiciones de aleación

Se prepararon cinco aleaciones de aluminio (A1/aleación 1 (comparativa), A2/aleación 2 (comparativa), A3/aleación 3 (comparativa), A4/aleación 4 y A5/aleación 5 (comparativa)), cuyas composiciones elementales se exponen en la siguiente Tabla 2. Las aleaciones A1, A2, A3, A4 y A5 se prepararon de acuerdo con los métodos descritos en este documento. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso.

Tabla 2

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ti	Zr	Al
A1	0,60	0,22	0,54	0,21	0,70	0,07	0,03	0,001	resto
A2	0,59	0,22	0,39	0,20	0,70	0,07	0,03	0,001	resto
A3	0,50	0,22	0,55	0,20	0,70	0,07	0,03	0,001	resto
A4	0,60	0,22	0,56	0,20	0,70	0,07	0,03	0,125	resto
A5	0,62	0,21	0,54	0,19	0,70	0,12	0,04	0,001	resto
Todos expresados en % en peso.									

EJEMPLO 2 - Pruebas de resistencia y capacidad de flexión

Las aleaciones A1-A4 (Tabla 2) se colaron continuamente, se homogeneizaron a 560 °C durante 6 horas y, a continuación, se laminaron hasta un espesor de 2 mm, preparándose cada una de ellas de acuerdo con un revenido T4 y un revenido T6. La FIG. 1 muestra los resultados de las pruebas de límite elástico y capacidad de flexión. El gráfico muestra los resultados de las pruebas de límite elástico de acuerdo con la Prueba de la ASTM n.º B557 (2015) con GL de 5,08 cm (2") para los revenidos T4 y T6 para cada aleación, que se representan contra el eje x. El gráfico también muestra el ángulo para la prueba de flexión de VDA n.º 238-100 (con la excepción de que la prueba se realizó sin tensión previa), que se representa contra el eje y.

EJEMPLO 3 - Prueba de corrosión intergranular

Se prepararon chapas de aleación de aluminio de las aleaciones A1-A4 (Tabla 2) como se ha descrito anteriormente en el Ejemplo 2 en el revenido T6. La FIG. 2 muestra micrografías ópticas de las cuatro muestras después de ser sometidas a la prueba de corrosión expuesta en la norma ISO 11846B (1995), con un tiempo de exposición de 24 horas. La FIG. 3 muestra los resultados de las mediciones de la profundidad de picadura en las

muestras tratadas, donde, para cada muestra, se indica la profundidad de picadura máxima y promedio (en μm) de las picaduras que tienen una profundidad de más de 10 μm . El diamante indica el número de picaduras que tienen una profundidad de más de 10 μm dentro de la superficie de prueba.

5 EJEMPLO 4 - Efecto de la homogeneización

Se preparó una chapa de aleación de aluminio de la aleación A4 como se ha descrito anteriormente en el Ejemplo 2 en el revenido T6, excepto por las diferencias en el tratamiento previo a la laminación de la muestra. Se usaron cuatro condiciones de preparación diferentes, como se indica en la FIG. 4: (a) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 450 °C sin estabilización; (b) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 500 °C sin estabilización; (c) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 540 °C sin estabilización; y (d) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 560 °C con una estabilización de 6 horas después de la homogeneización. La FIG. 4 muestra micrografías ópticas de las cuatro muestras después de ser sometidas a la prueba de corrosión expuesta en la norma ISO 11846B (1995), con un tiempo de exposición de 24 horas.

La cantidad de corrosión disminuyó a medida que aumentaban el tiempo y la temperatura de homogeneización. Para la muestra preparada con la condición (d), casi no se observaron picaduras por corrosión después de 24 horas de exposición en un entorno corrosivo. La homogeneización más larga se usó para precipitar dispersoides de Zr que fijarían el límite de grano para dar como resultado un límite de grano de ángulo bajo (baja energía, menos precipitación en el límite de grano) y actuar como sitios de precipitación heterogéneos que reducen/eliminan la precipitación en el límite de grano. Los límites de grano libres de precipitaciones dieron como resultado potenciales de corrosión similares a los de los núcleos de grano y proporcionaron una resistencia a la corrosión superior en comparación con las otras muestras.

25 EJEMPLO 5 - Efecto del método de colada

Se prepararon chapas de aleación de aluminio de las aleaciones A1-A4 como se ha descrito anteriormente en el Ejemplo 2 y se sometieron a homogeneización a 560 °C, seguido de la estabilización durante 6 horas, excepto por las diferencias en el método de colada. Las muestras se prepararon en el revenido T6. Se usaron diferentes métodos de colada para las diferentes muestras, como se indica en la FIG. 5: (a) una aleación de aluminio de la serie 6xxx estándar (A1) colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A1_CC"); (b) A2 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A2_CC"); (c) A3 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A3_CC"); (d) A4 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A4_CC") y (e) A1 colada mediante colada de enfriamiento directo ("A1_DC"). La FIG. 5 muestra micrografías ópticas de las cinco muestras después de ser sometidas a la prueba de corrosión expuesta en la norma ISO 11846B (1995), con un tiempo de exposición de 24 horas.

La muestra A4_CC casi no mostró picaduras por corrosión en comparación con las otras muestras (A1_CC, A2_CC, A3_CC y A1_DC). Las muestras A1_CC y A1_DC, que tenían composiciones similares, mostraron diferentes morfologías de corrosión debido a sus diferentes métodos de colada y procesamiento. La ruta del proceso de CC permitió que la mayor parte del soluto en solución sólida se distribuyera uniformemente en comparación con la ruta del proceso de DC, donde el proceso dio como resultado una microsegregación desde el límite del grano hasta el núcleo del grano que deterioró el rendimiento/la resistencia a la corrosión. La reducción del contenido de Cu (A2_CC) también mejoró la resistencia a la corrosión en comparación con A1_CC, ya que redujo los precipitados de fortalecimiento totales que redujeron la fuerza impulsora global. La reducción del contenido de Si (A3_CC) también mejoró la resistencia a la corrosión en comparación con A1_CC por la misma razón. Sin embargo, Si tiene una mayor difusividad en comparación con Cu y, por lo tanto, la versión con bajo contenido de Si (A3_CC) mostró más resistencia a la corrosión en comparación con la versión baja en Cu (A2_CC). Finalmente, la versión que contenía Zr (A4_CC) mostró un rendimiento/una resistencia a la corrosión superior en comparación con A1_CC, A2_CC y A3_CC debido a una mayor densidad numérica de dispersoides de Zr que formaron límites de grano de ángulo bajo (baja energía, menos precipitación) y actuaron como sitios de nucleación heterogéneos para evitar la precipitación en el límite de grano y mejorar la resistencia a la corrosión.

Ilustraciones de aleaciones, productos y métodos adecuados

Como se usa a continuación, cualquier referencia a una serie de aleaciones, productos o métodos ilustrativos se ha de entender como una referencia a cada una de esas aleaciones, productos o métodos de manera disyuntiva (por ejemplo, las "ilustraciones 1-4" se han de entender como la "ilustración 1, 2, 3 o 4").

La ilustración 1 es una aleación de aluminio que comprende: del 0,4 al 0,7 por ciento en peso de Si; (b) del 0,4 al 1,6 por ciento en peso de Mg; (c) del 0,2 al 1,5 por ciento en peso de Cu; (d) no más del 0,5 por ciento en peso de Fe; (e) no más del 0,1 por ciento en peso de Cr; (f) no más del 0,25 por ciento en peso de Mn; (g) no más del 0,05 por ciento en peso de V; (h) del 0,02 al 0,2 por ciento en peso de Zr; (i) hasta el 0,1 por ciento en peso de

Ti; (j) no más del 0,2 por ciento en peso de Sn, no más del 0,2 por ciento en peso de Zn, no más del 0,2 por ciento en peso de Ni y no más del 0,2 por ciento en peso de Sc, con no más del 0,5 por ciento en peso en total; y (k) impurezas en cantidades del 0,05 por ciento en peso o menos, en donde la suma de todas las impurezas no excede el 0,15 por ciento en peso, con el resto de aluminio en una cantidad de al menos el 95,0 por ciento en peso.

La ilustración 2 es un producto de aleación que comprende la aleación de aluminio de cualquier ilustración anterior o posterior.

La ilustración 3 es un producto de aleación de cualquier ilustración 2, en donde el producto de aleación de aluminio es un producto de aleación de aluminio laminado que comprende una superficie laminada.

La ilustración 4 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 2-3, en donde el producto de aleación de aluminio es una chapa de aleación de aluminio que tiene un espesor no mayor de 7 mm.

La ilustración 5 es un producto de aleación de la ilustración 4, en donde, cuando se somete a las condiciones de prueba expuestas en la norma ISO 11846B (1995) durante un período de exposición de 24 horas, la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor de 140 µm.

La ilustración 6 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 4-5, en donde la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor que su tamaño promedio de grano, donde el tamaño promedio de grano se mide mediante el método de la ASTM E112 (2004).

La ilustración 7 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 4-6, que, cuando se lamina a un espesor de 2 mm y se prepara con un revenido T6, tiene un límite elástico de al menos 260 MPa, cuando se mide de acuerdo con la Prueba de la ASTM n.º B557 (2015), y un ángulo de flexión de al menos 55°, cuando se mide de acuerdo con la Prueba n.º 238-100 de la Asociación Alemana de la Industria del Automóvil (VDA), con la excepción de que la prueba se realizó sin tensión previa.

La ilustración 8 es un método para fabricar un producto de aleación de aluminio que, comprende: proporcionar una aleación de aluminio de la ilustración 1, en donde la aleación de aluminio se proporciona en un estado fundido como una aleación de aluminio fundido; y colar continuamente o colar por enfriamiento directo la aleación de aluminio fundido para formar un producto de aleación de aluminio.

La ilustración 9 es un método de la ilustración 8, que comprende, además, homogeneizar el producto de aleación de aluminio para formar un producto de aleación de aluminio homogeneizado, en donde la homogeneización se lleva a cabo a una temperatura máxima de al menos 540 °C.

La ilustración 10 es un método de la ilustración 8, que comprende, además, laminar en caliente el producto de aleación de aluminio homogeneizado para formar una chapa de aleación de aluminio que tiene un primer espesor no mayor de 7 mm.

La ilustración 11 es un método de cualquiera de las ilustraciones 8-10, en donde el producto de aleación de aluminio se forma sin usar la laminación en frío.

EJEMPLO 4 - Efecto de la homogeneización

Se preparó una chapa de aleación de aluminio de la aleación A4 como se ha descrito anteriormente en el Ejemplo 2 en el revenido T6, excepto por las diferencias en el tratamiento previo a la laminación de la muestra. Se usaron cuatro condiciones de preparación diferentes, como se indica en la FIG. 4: (a) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 450 °C sin estabilización; (b) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 500 °C sin estabilización; (c) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 540 °C sin estabilización; y (d) homogeneización con un aumento de temperatura de 50 °C/h a un máximo de 560 °C con una estabilización de 6 horas después de la homogeneización. La FIG. 4 muestra micrografías ópticas de las cuatro muestras después de ser sometidas a la prueba de corrosión expuesta en la norma ISO 11846B (1995), con un tiempo de exposición de 24 horas.

La cantidad de corrosión disminuyó a medida que aumentaban el tiempo y la temperatura de homogeneización. Para la muestra preparada con la condición (d), casi no se observaron picaduras por corrosión después de 24 horas de exposición en un entorno corrosivo. La homogeneización más larga se usó para precipitar dispersoides de Zr que fijarían el límite de grano para dar como resultado un límite de grano de ángulo bajo (baja energía, menos precipitación en el límite de grano) y actuar como sitios de precipitación heterogéneos que reducen/eliminan la precipitación en el límite de grano. Los límites de grano libres de precipitaciones dieron como resultado potenciales de corrosión similares a los de los núcleos de grano y proporcionaron una resistencia a la corrosión superior en comparación con las otras muestras.

EJEMPLO 5 - Efecto del método de colada

Se prepararon chapas de aleación de aluminio de las aleaciones A1-A4 como se ha descrito anteriormente en el Ejemplo 2 y se sometieron a homogeneización a 560 °C, seguido de la estabilización durante 6 horas, excepto por las diferencias en el método de colada. Las muestras se prepararon en el revenido T6. Se usaron diferentes métodos de colada para las diferentes muestras, como se indica en la FIG. 5: (a) una aleación de aluminio de la serie 6xxx estándar (A1) colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A1_CC"); (b) A2 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A2_CC"); (c) A3 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A3_CC"); (d) A4 colada mediante colada continua usando una máquina de colada de doble banda ("A4_CC") y (e) A1 colada mediante colada de enfriamiento directo ("A1_DC"). La FIG. 5 muestra micrografías ópticas de las cinco muestras después de ser sometidas a la prueba de corrosión expuesta en la norma ISO 11846B (1995), con un tiempo de exposición de 24 horas.

La muestra A4_CC casi no mostró picaduras por corrosión en comparación con las otras muestras (A1_CC, A2_CC, A3_CC y A1_DC). Las muestras A1_CC y A1_DC, que tenían composiciones similares, mostraron diferentes morfologías de corrosión debido a sus diferentes métodos de colada y procesamiento. La ruta del proceso de CC permitió que la mayor parte del soluto en solución sólida se distribuyera uniformemente en comparación con la ruta del proceso de DC, donde el proceso dio como resultado una microsegregación desde el límite del grano hasta el núcleo del grano que deterioró el rendimiento/la resistencia a la corrosión. La reducción del contenido de Cu (A2_CC) también mejoró la resistencia a la corrosión en comparación con A1_CC, ya que redujo los precipitados de fortalecimiento totales que redujeron la fuerza impulsora global. La reducción del contenido de Si (A3_CC) también mejoró la resistencia a la corrosión en comparación con A1_CC por la misma razón. Sin embargo, Si tiene una mayor difusividad en comparación con Cu y, por lo tanto, la versión con bajo contenido de Si (A3_CC) mostró más resistencia a la corrosión en comparación con la versión baja en Cu (A2_CC). Finalmente, la versión que contenía Zr (A4_CC) mostró un rendimiento/una resistencia a la corrosión superior en comparación con A1_CC, A2_CC y A3_CC debido a una mayor densidad numérica de dispersoides de Zr que formaron límites de grano de ángulo bajo (baja energía, menos precipitación) y actuaron como sitios de nucleación heterogéneos para evitar la precipitación en el límite de grano y mejorar la resistencia a la corrosión.

Ilustración de aleaciones, productos y métodos que no son de acuerdo con la presente invención

Como se usa a continuación, cualquier referencia a una serie de aleaciones, productos o métodos ilustrativos se ha de entender como una referencia a cada una de esas aleaciones, productos o métodos de manera disyuntiva (por ejemplo, las "Ilustraciones 1-4" se han de entender como la "Ilustración 1, 2, 3 o 4").

La ilustración 1 es una aleación de aluminio, que comprende: del 0,2 al 1,5 por ciento en peso de Si; (b) del 0,4 al 1,6 por ciento en peso de Mg; (c) del 0,2 al 1,5 por ciento en peso de Cu; (d) no más del 0,5 por ciento en peso de Fe; (e) uno o más elementos de aleación adicionales seleccionados del grupo que consiste en: (e1) del 0,08 al 0,20 por ciento en peso de Cr; (e2) del 0,02 al 0,20 por ciento en peso de Zr; (e3) del 0,25 al 1,0 por ciento en peso de Mn; y (e4) del 0,01 al 0,20 por ciento en peso de V; y (f) con el resto de aluminio.

La ilustración 2 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende del 0,08 al 0,20 por ciento en peso de Cr.

La ilustración 3 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende: no más del 0,02 por ciento en peso de Zr; no más del 0,25 por ciento en peso de Mn y no más del 0,02 por ciento en peso de V.

La ilustración 4 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende del 0,02 al 0,20 por ciento en peso de Zr.

La ilustración 5 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende: no más del 0,10 por ciento en peso de Cr; no más del 0,25 por ciento en peso de Mn; y no más del 0,02 por ciento en peso de V.

La ilustración 6 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende del 0,25 al 1,0 por ciento en peso de Mn.

La ilustración 7 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende: no más del 0,10 por ciento en peso de Cr; no más del 0,02 por ciento en peso de Zr; y no más del 0,02 por ciento en peso de V.

La ilustración 8 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende del 0,01 al 0,20 por ciento en peso de V.

La ilustración 9 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, que comprende: no más del 0,10 por ciento en peso de Cr; no más del 0,02 por ciento en peso de Zr; y no más del 0,25 por ciento en peso de Mn.

La ilustración 10 es una aleación de cualquier ilustración anterior o posterior, en donde la aleación de aluminio comprende no más del 0,20 por ciento en peso de Sr, no más del 0,20 por ciento en peso de Hf, no más del 0,20 por ciento en peso de Er o no más del 0,20 por ciento en peso de Sc.

- 5 La ilustración 11 es un producto de aleación que comprende la aleación de aluminio de cualquier ilustración anterior o posterior.

La ilustración 12 es un producto de aleación de cualquier ilustración 11, en donde el producto de aleación de aluminio es un producto de aleación de aluminio laminado que comprende una superficie laminada.

- 10 La ilustración 13 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 11-12, en donde el producto de aleación de aluminio es una chapa de aleación de aluminio que tiene un espesor no mayor de 7 mm.

- 15 La ilustración 14 es un producto de aleación de la ilustración 13, en donde, cuando se somete a las condiciones de prueba expuestas en la norma ISO 11846B (1995) durante un período de exposición de 24 horas, la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor de 140 µm.

- 20 La ilustración 15 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 13-14, en donde la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor que su tamaño promedio de grano, donde el tamaño promedio de grano se mide mediante el método de la ASTM E112 (2004).

- 25 La ilustración 16 es un producto de aleación de cualquiera de las ilustraciones 13-15, que, cuando se lamina a un espesor de 2 mm y se prepara con un revenido T6, tiene un límite elástico de al menos 260 MPa, cuando se mide de acuerdo con la Prueba de la ASTM n.º B557 (2015), y un ángulo de flexión de al menos 55°, cuando se mide de acuerdo con la Prueba n.º 238-100 de la Asociación Alemana de la Industria del Automóvil (VDA), con la excepción de que la prueba se realizó sin tensión previa.

- 30 La ilustración 17 es un método para fabricar un producto de aleación de aluminio, que comprende: proporcionar una aleación de aluminio de cualquiera de las ilustraciones 1-10, en donde la aleación de aluminio se proporciona en un estado fundido como una aleación de aluminio fundido; y colar continuamente o colar por enfriamiento directo la aleación de aluminio fundido para formar un producto de aleación de aluminio.

- 35 La ilustración 18 es un método de la ilustración 17, que comprende, además, homogeneizar el producto de aleación de aluminio para formar un producto de aleación de aluminio homogeneizado, en donde la homogeneización se lleva a cabo a una temperatura máxima de al menos 540 °C.

- 40 La ilustración 19 es un método de la ilustración 17, que comprende, además, laminar en caliente el producto de aleación de aluminio homogeneizado para formar una chapa de aleación de aluminio que tiene un primer espesor no mayor de 7 mm.

La ilustración 20 es un método de cualquiera de las ilustraciones 17-19, en donde el producto de aleación de aluminio se forma sin usar la laminación en frío.

La invención se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de aluminio, que comprende:
 - (a) del 0,4 al 0,7 por ciento en peso de Si;
 - (b) del 0,4 al 1,6 por ciento en peso de Mg;
 - (c) del 0,2 al 1,5 por ciento en peso de Cu;
 - (d) no más del 0,5 por ciento en peso de Fe;
 - (e) no más del 0,1 por ciento en peso de Cr;
 - (f) no más del 0,25 por ciento en peso de Mn;
 - (g) no más del 0,05 por ciento en peso de V;
 - (h) del 0,02 al 0,2 por ciento en peso de Zr;
 - (i) hasta el 0,1 por ciento en peso de Ti;
 - (j) no más del 0,2 por ciento en peso de Sn, no más del 0,2 por ciento en peso de Zn, no más del 0,2 por ciento en peso de Ni y no más del 0,2 por ciento en peso de Sc, con no más del 0,5 por ciento en peso en total;
 - (k) impurezas en cantidades del 0,05 por ciento en peso o menos, en donde la suma de todas las impurezas no excede el 0,15 por ciento en peso, con el resto de aluminio en una cantidad de al menos el 95,0 por ciento en peso.
2. Un producto de aleación de aluminio que comprende una aleación de aluminio de la reivindicación 1.
3. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 2, en donde el producto de aleación de aluminio es un producto de aleación de aluminio laminado que comprende una superficie laminada y/o en donde el producto de aleación de aluminio es una chapa de aleación de aluminio que tiene un espesor no mayor de 7 mm.
4. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 3, en donde, cuando se somete a las condiciones de prueba expuestas en la norma ISO 11846B (1995) durante un período de exposición de 24 horas, la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor de 140 μm y, en particular, en donde la superficie laminada tiene una profundidad de picadura máxima no mayor que su tamaño promedio de grano, en donde el tamaño promedio de grano se mide mediante el método de la ASTM E112 (2004).
5. El producto de aleación de aluminio de la reivindicación 3, que, cuando se lamina a un espesor de 2 mm y se prepara con un revenido T6, tiene un límite elástico de al menos 260 MPa, cuando se mide de acuerdo con la Prueba de la ASTM n.º B557 (2015), y un ángulo de flexión de al menos 55°, cuando se mide de acuerdo con la Prueba n.º 238-100 de la Asociación Alemana de la Industria del Automóvil (VDA, por sus siglas en alemán Verband der Automobilindustrie), con la excepción de que la prueba se realizó sin tensión previa.
6. Un método para fabricar un producto de aleación de aluminio, que comprende:
 - proporcionar una aleación de aluminio de la reivindicación 1, en donde la aleación de aluminio se proporciona en un estado fundido como una aleación de aluminio fundido; y
 - colar continuamente o colar por enfriamiento directo la aleación de aluminio fundido para formar un producto de aleación de aluminio.
7. El método de la reivindicación 6, que comprende además homogeneizar el producto de aleación de aluminio para formar un producto de aleación de aluminio homogeneizado, en donde la homogeneización se lleva a cabo a una temperatura máxima de al menos 540 °C, y/o que comprende además laminar en caliente el producto de aleación de aluminio homogeneizado para formar una chapa de aleación de aluminio que tiene un primer espesor no mayor de 7 mm y/o en donde el producto de aleación de aluminio se forma sin usar la laminación en frío.

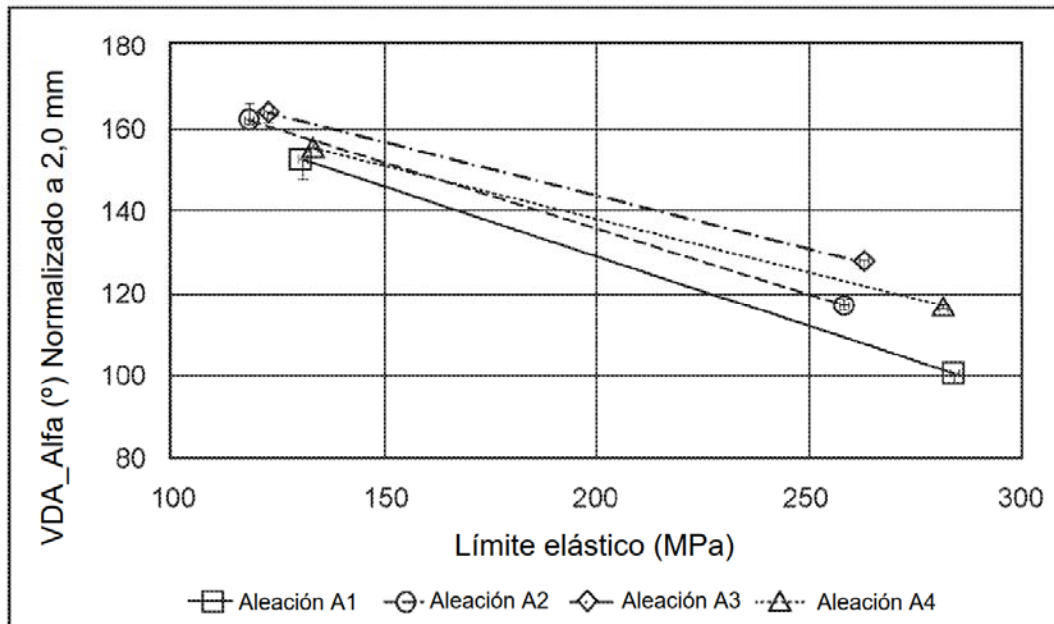


FIG. 1

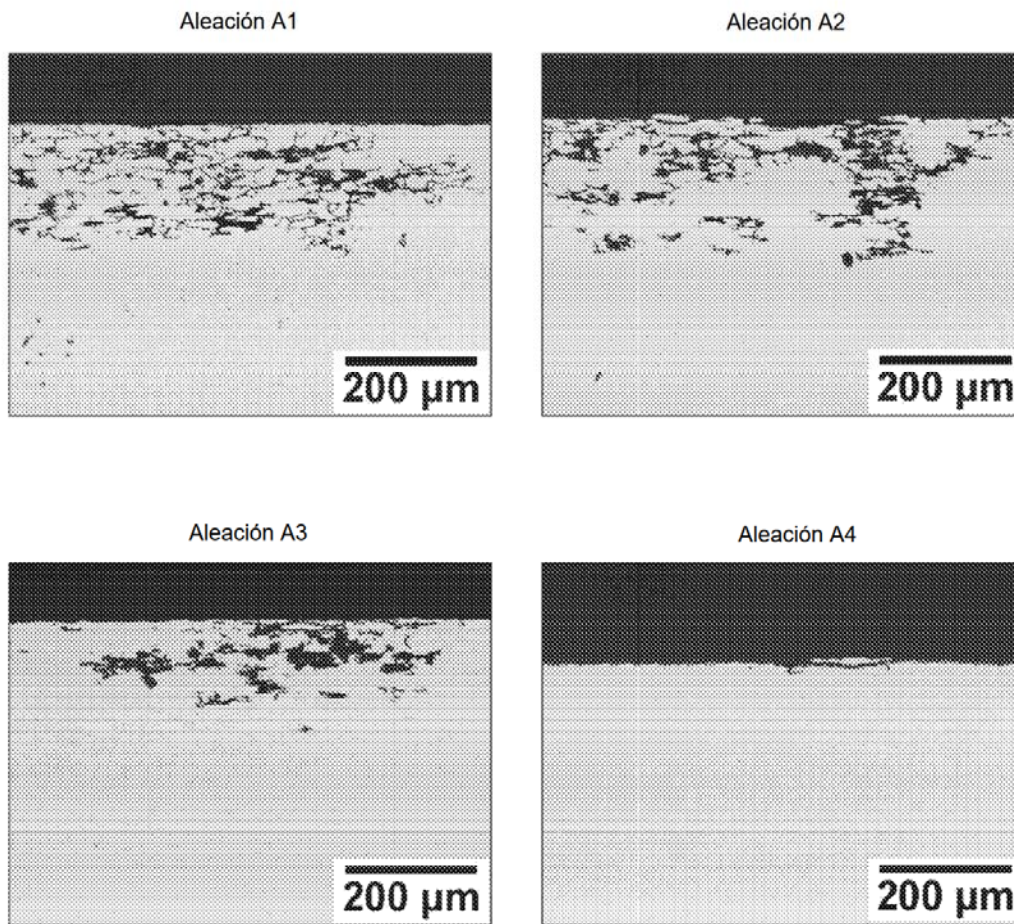


FIG. 2

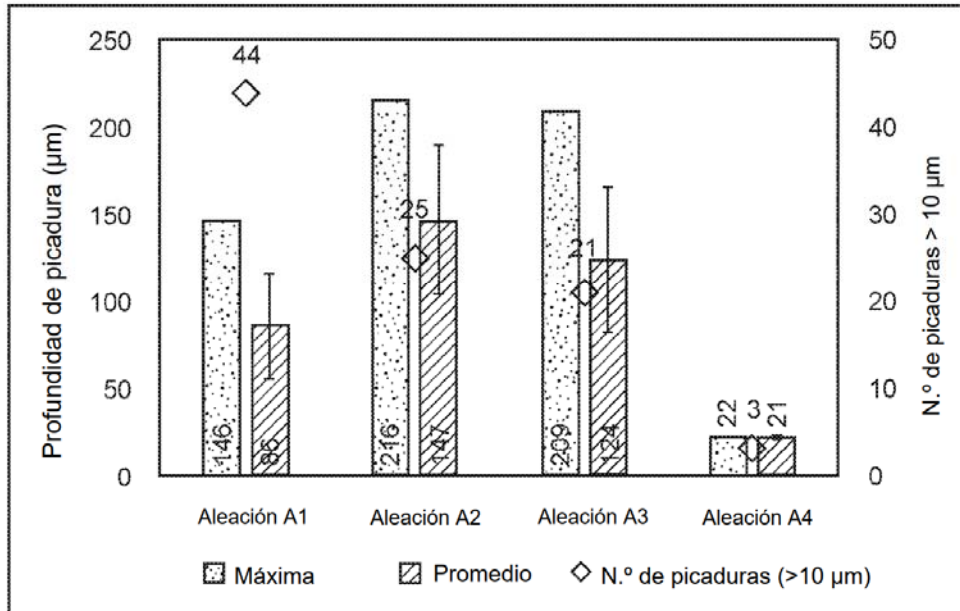
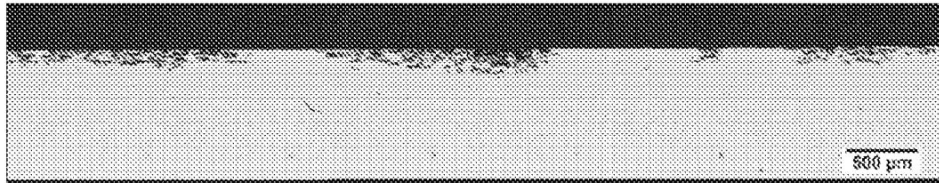
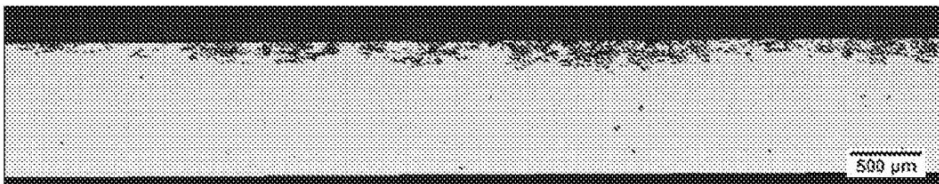


FIG. 3

50 °C/h → 450 °C sin estabilización



50 °C/h → 500 °C sin estabilización



50 °C/h → 540 °C sin estabilización



50 °C/h → 560 °C + 6 h de estabilización a 560 °C

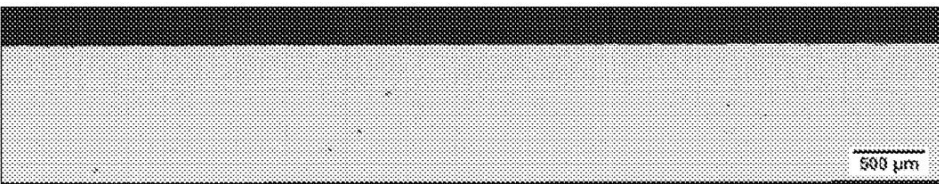
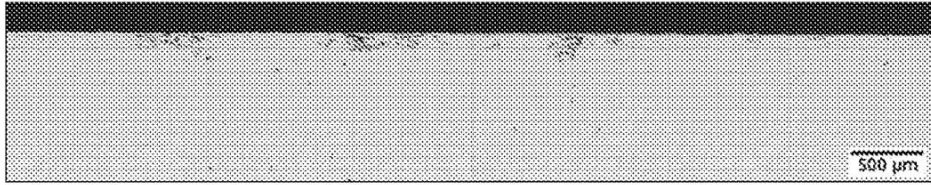


FIG. 4

Aleación A1_CC



Aleación A2_CC



Aleación A3_CC



Aleación A4_CC



Aleación A1_DC

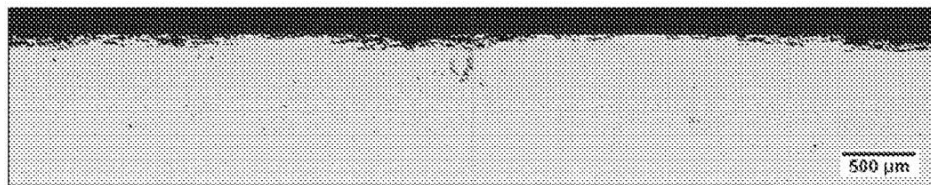


FIG. 5