

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 728**

51 Int. Cl.:

C22C 21/00 (2006.01)

B22D 17/00 (2006.01)

B22D 25/02 (2006.01)

B22D 7/00 (2006.01)

C22F 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.09.2013 PCT/CA2013/050722**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.03.2014 WO14043816**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.09.2013 E 13838474 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.04.2018 EP 2898107**

54 Título: **Composición de aleación de aluminio y procedimiento**

30 Prioridad:

21.09.2012 US 201261704211 P

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

15.06.2018

73 Titular/es:

**RIO TINTO ALCAN INTERNATIONAL LIMITED
(100.0%)
1188 Sherbrooke Street West
Montréal, QC H3A 3G2, CA**

72 Inventor/es:

**PARSON, NICHOLAS CHARLES;
MALTAIS, ALEXANDRE y
GUAY, RAYNALD**

74 Agente/Representante:

ILLESCAS TABOADA, Manuel

ES 2 672 728 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

Composición de aleación de aluminio y procedimiento

5 **CAMPO TÉCNICO**

La invención se refiere, en general, a una composición de aleación de aluminio y procedimientos de fabricación y/o homogeneización que pueden usarse con la composición y, más específicamente, a una composición de aleación de Al-Mn-Si-Ti con buena resistencia a la corrosión y capacidad de ser extruída, así como tolerancia a niveles de impurezas de Ni aumentados.

10 **ANTECEDENTES**

El uso de aluminio en intercambiadores de calor está hoy muy extendido en aplicaciones tales como automoción, equipamiento todoterreno y sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). A menudo se usa un tubo extruídos debido a la capacidad de producir geometrías de pared fina complejas tales como un tubo Microport mini (MMP) que mejora la transferencia de calor. Dichos tubos están normalmente conectados a aletas y cabezales/colectores para crear el intercambiador de calor usando soldadura reforzada en atmósfera controlada (CAB). La resistencia al fallo por corrosión por picadura es una propiedad importante de estas unidades que pueden estar sometidas a entornos corrosivos tales como sal para deshielo en carreteras, entornos costeros y contaminantes industriales. Al mismo tiempo, las expectativas en términos de vidas útiles de las unidades y garantías al cliente se incrementan y existe una necesidad continua de mejorar el rendimiento en corrosión de dichos sistemas. El tubo extruído es normalmente el componente de pared más fina de dichos intercambiadores de calor y el que, más probablemente, falle por corrosión en primer lugar. A menudo, los tubos están recubiertos de zinc bien mediante pulverización por arco térmico o mediante revestimiento por cilindro de laminación con un flujo que contiene zinc que añade una medida de protección galvánica contra la corrosión. Sin embargo, la inherente resistencia a la corrosión del material del tubo subyacente sigue siendo un componente clave del mecanismo de protección, particularmente cuando la capa rica en Zn galvánico ha sido retirada por corrosión.

30 Se han desarrollado una serie de "aleaciones de vida larga" en un intento de abordar este problema. El documento US 6.939.417 describe controlar los niveles de Cu y Ni cuando se usan aleaciones de aluminio de la serie AA3000 y AA1000 para mejorar la resistencia a la corrosión. Esta patente se incorpora como referencia en el presente documento en su totalidad y se ha convertido en parte del presente documento.

35 El documento US 5.286.316 proporciona una composición de aleación a base de aluminio esencialmente libre de cobre útil en aplicaciones en automoción, en particular, tubo y aletas planas (*finstock*) de intercambiador de calor.

El documento US 6.638.376 se refiere a un material de tuberías de aleación de aluminio que muestra buena resistencia a la corrosión y que tiene una excelente maleabilidad tal como capacidad de formación de abombamientos en los extremos de la tubería.

El documento US 7.781.071 se refiere a tubos extruídos para intercambiadores de calor que tienen resistencia a la corrosión mejorada cuando se usan en solitario y cuando son parte de un conjunto de intercambiador de calor soldado por soldadura reforzada con aletas planas compatibles. Esta patente se incorpora como referencia en el presente documento en su totalidad y se ha convertido en parte del presente documento.

El documento US 8.025.748 describe un lingote de aleación de aluminio extruíble con 0,90-1,30 de Mn, 0,05-0,25 de Fe, 0,05-0,25 de Si, 0,01-0,02 de Ti, menos de 0,01 de Cu, menos de 0,01 de Ni y menos de 0,05 de magnesio, con la palanquilla de aleación de aluminio homogeneizada a una temperatura que varía entre 550 y 600°C. Este producto ha sido exitoso comercialmente, pero se requieren mejoras adicionales en resistencia a la corrosión para el exigente mercado de HVAC. Al mismo tiempo, la disponibilidad de aluminio primario con bajo contenido de Ni está disminuyendo globalmente, causando una degradación general de resistencia a la corrosión por picadura.

La solicitud internacional WO 2004/057261 A1 divulga una aleación de aluminio que ha sido desarrollada para uso en la fabricación de tubos y aletas en aplicaciones de intercambiador de calor y que ofrece resistencia a la corrosión mejorada después de la soldadura reforzada.

Se proporciona la presente composición y procedimiento para abordar los problemas descritos anteriormente y otros problemas, y para proporcionar ventajas y aspectos no proporcionados por composiciones y procedimientos de este tipo anteriores. Una discusión completa sobre las características y ventajas de la presente invención se presenta en la siguiente descripción detallada, que prosigue con referencia a los dibujos adjuntos.

BREVE RESUMEN

5 A continuación, se presenta un resumen general de aspectos de la divulgación con el fin de proporcionar una comprensión básica de la divulgación y diversos aspectos de ésta. Este resumen no pretende limitar el alcance de la divulgación de ninguna manera, sino que simplemente proporciona una visión de conjunto general y un contexto para la descripción más detallada que sigue.

Aspectos de la invención se refieren a una composición de aleación de aluminio que comprende, en porcentaje en peso:

- 10 0,7-1,10 de manganeso;
 0,05-0,25 de hierro;
 0,21-0,30 de silicio;
 0,005-0,020 de níquel;
 0,10-0,20 de titanio;
 15 0,014 de máximo de cobre; y
 0,05 de máximo de zinc,

con el resto siendo aluminio e impurezas inevitables. Las impurezas pueden estar presentes en hasta el 0,05% en peso cada una y el 0,15% en peso total, de acuerdo con un aspecto. La aleación puede tolerar contenidos de níquel más elevados que las aleaciones existentes, mientras proporciona resistencia a la corrosión aumentada, así como capacidad de ser extruida, resistencia y rendimiento similares. La aleación puede tolerar contenidos de níquel del 0,008-0,020% en peso, de acuerdo con otro aspecto. De acuerdo con aspectos adicionales, la aleación puede incluir un contenido de silicio del 0,21-0,26% en peso, un contenido de titanio del 0,10-0,16% en peso, y/o un contenido de manganeso del 0,75-1,05% en peso.

25 Aspectos adicionales de la invención se refieren a un procedimiento para procesar una palanquilla de una aleación de aluminio tal como se ha descrito anteriormente. La palanquilla se homogeneiza a una temperatura de homogeneización de 590-640°C y a continuación se refrigera de forma controlada después de homogeneizar a una velocidad menor de 250°C por hora. La palanquilla homogeneizada y refrigerada de forma controlada puede extruirse a continuación para formar un producto de aleación de aluminio extruido, tal como un tubo intercambiador de calor.

De acuerdo con un aspecto, la temperatura de homogeneización puede ser de 600-640°C o 610-640°C, y la palanquilla puede homogeneizarse durante hasta ocho horas.

35 De acuerdo con otro aspecto, la palanquilla homogeneizada y refrigerada de forma controlada tiene una tensión de deformación a 500°C, a una velocidad de deformación de 0,1/s, de 22 MPa o menos.

De acuerdo con un aspecto adicional, la velocidad de la refrigeración controlada es menor de 200°C por hora, y la palanquilla puede refrigerarse de forma controlada hasta que alcanza temperatura ambiente o hasta que alcanza entre 300 y 400°C.

45 Aspectos adicionales de la invención se refieren a un producto, tal como un tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruido, formado al menos parcialmente de una aleación de aluminio tal como se ha descrito anteriormente. El tubo extruido intercambiador de calor de aleación de aluminio se extruye a partir de una palanquilla de la aleación de aluminio y se homogeneiza a una temperatura de homogeneización de 590-640°C antes de la extrusión. La palanquilla puede experimentar una refrigeración controlada a una velocidad menor de 250°C por hora después de la homogeneización. Dicho tubo intercambiador de calor también puede tener una capa de difusión de zinc aplicada en la superficie externa, por ejemplo, mediante pulverización por arco térmico (por ejemplo, a medida que la extrusión emerge de la boquilla) o un flujo de soldadura reforzada que contiene zinc aplicado a la superficie del tubo después de la extrusión (por ejemplo, mediante revestimiento con cilindro de laminación). La aleación puede estar adicionalmente o como alternativa revestida con una aleación de soldadura reforzada.

De acuerdo con un aspecto, el tubo presenta una post-soldadura reforzada con tamaño del grano en sentido del espesor, de 100 micrómetros o menos. El tamaño del grano puede ser de 75 micrómetros o menos, o aproximadamente 50 micrómetros, de acuerdo con otros aspectos.

De acuerdo con aspectos adicionales, el tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruido puede tener una resistencia a la tracción post-soldadura reforzada de al menos 70 MPa.

60 Otras características y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La **figura 1** es una representación gráfica de los datos de corrosión en la tabla 3 del ejemplo 2; y

5 La **figura 2** muestra las estructuras de grano transversales después de dimensionamiento y simulación por soldadura reforzada de las aleaciones A, B, C y D del ejemplo 3.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

10 En general, se proporciona una composición de aleación de Al-Mn-Si-Ti resistente a la corrosión, que puede extruirse en un tubo intercambiador de calor mientras que al mismo tiempo muestra tolerancia a niveles aumentados de impurezas de Ni. La aleación de aluminio permite una resistencia aumentada a la corrosión de tubos intercambiadores de calor extruídos y soldados por soldadura reforzada. También se proporciona un procedimiento de fabricación de un tubo intercambiador de calor u otro artículo a partir de dicha composición de aleación, que incluye homogeneizar la composición de aleación antes de la extrusión.

15 La composición de aleación de aluminio extruible comprende, en porcentaje en peso:

20 Cu 0,014 máximo;
Fe 0,05 - 0,25;
Mn 0,7 - 1,1;
Ni 0,005-0,020% o 0,001-0,020;
Si 0,21 - 0,30; y
Ti 0,10 - 0,20;

25 con el resto siendo aluminio e impurezas inevitables. Cada impureza inevitable está presente en menos del 0,05% en peso y el contenido de impurezas totales es menor del 0,15% en peso.

El zinc puede estar presente en la aleación en menos del 0,05% en peso, y en otras realizaciones, el contenido de zinc puede ser menor del 0,03% en peso o menor del 0,01% en peso. En otra realización, la aleación está libre o esencialmente libre de zinc, y/o puede no tener ninguna adición intencionada o deliberada de zinc.

30 En una realización, el contenido de cobre de la aleación puede ser menor del 0,010% en peso. En otra realización, la aleación puede estar libre o esencialmente libre de cobre, y/o puede no tener ninguna adición intencionada o deliberada de cobre.

35 En una realización, el contenido de hierro de la aleación puede ser del 0,05 - 0,15% en peso. Adicionalmente, en una realización, el contenido de manganeso de la aleación puede ser del 0,75 - 1,05 o 0,75 - 0,95% en peso.

Además, en una realización, el contenido de titanio de la aleación puede ser del 0,10 - 0,17 o 0,10 - 0,16% en peso. En otra realización, el contenido de titanio puede ser del 0,14 - 0,20% en peso.

40 Tal como se ha mencionado anteriormente, la aleación puede tener una tolerancia incrementada a los niveles de impurezas de Ni en comparación con otras aleaciones. El contenido de níquel de la aleación es del 0,005 - 0,020% o 0,005 - 0,015% en peso. En otra realización más, el límite inferior para Ni en la aleación es del 0,008% en peso, y el contenido de Ni puede ser del 0,008-0,020% en peso, o 0,008-0,015% en peso. En una realización adicional, el límite inferior para el Ni en la aleación es del 0,010 % en peso, y el contenido de Ni puede ser del 0,010-0,020% en peso, o 0,010-0,015% en peso.

45 En otra realización, el contenido de silicio de la aleación puede ser del 0,21-0,28% en peso, 0,21-0,26% en peso, o 0,21-0,25% en peso. En una realización adicional, el contenido de silicio de la aleación puede ser del 0,26-0,30% en peso.

50 La composición de aleación de aluminio de acuerdo con algunas realizaciones es particularmente adecuada para fabricar un tubo intercambiador de calor extruído.

55 Un procedimiento para fabricar un tubo intercambiador de calor u otro artículo a partir de una composición de aleación tal como se ha descrito anteriormente puede incluir la homogeneización de la aleación antes de la extrusión en un tubo intercambiador de calor. La aleación puede usarse en la formación de una variedad de artículos diferentes, y puede producirse inicialmente como una palanquilla. El término "palanquilla", tal como se usa en el presente documento, puede referirse a palanquillas tradicionales, así como lingotes y otros productos intermedios que pueden producirse mediante diversas técnicas, incluyendo técnicas de colada tales como colada continua o semicontinua y otros.

60 La composición de aleación de aluminio, en, por ejemplo, forma de una palanquilla o lingote, se homogeneiza a

temperaturas de 590 a 640°C. En otra realización, la temperatura de homogeneización puede ser de 600 a 640°C o 610 a 640°C. La homogeneización puede llevarse a cabo durante hasta 8 horas en una realización o hasta 4 horas en otra realización. La homogeneización puede llevarse a cabo durante al menos 1 hora en una realización.

5 Después de la homogeneización, la palanquilla homogeneizada experimenta una refrigeración controlada a una velocidad menor de 250°C/h en una realización, menor de 200°C/h en otra realización, o menor de 150°C/h en una realización adicional. Esta refrigeración controlada puede realizarse hasta que la palanquilla alcanza temperatura ambiente en una realización, o hasta que la palanquilla alcanza 300°C o 400°C en otras realizaciones.

10 La conductividad eléctrica de la palanquilla después de la homogeneización puede ser el 33-40% IACS o el 33-38% IACS (estándar internacional del cobre recocido) en una realización.

En una realización, la palanquilla después de la homogeneización tiene una tensión de deformación a 500°C a una velocidad de deformación de 0,1/s de 22 MPa o menos, o 21 MPa o menos en otra realización.

15 Después de la homogeneización, la palanquilla puede formarse en un artículo de fabricación usando diversas técnicas de procesamiento de metal, tales como extrusión, forjado, laminado, maquinado, colada, etc. Por ejemplo, pueden producirse artículos extruídos extruyendo la palanquilla para formar el artículo extruído. Se entiende que un artículo extruído puede tener una sección transversal constante en una realización, y puede procesarse adicionalmente para cambiar la conformación o forma del artículo, tal como cortando, mecanizando, conectando otros componentes, u otras técnicas. Tal como se ha descrito anteriormente, la palanquilla puede extruirse para formar un tubo intercambiador de calor u otro tubo en una realización, y el tubo puede tener una capa superficial de difusión aplicada o estar revestido con diversos metales más. Por ejemplo, el tubo puede tener una capa de difusión de zinc, por ejemplo, aplicada bien por pulverización por arco térmico o un flujo que contiene zinc, o puede estar revestido con una aleación de soldadura reforzada, u otros materiales de revestimiento. El tubo puede ser soldado por soldadura reforzada o soldado a otro componente del intercambiador de calor.

25 En una realización, los tubos post-soldadura reforzada hechos de la aleación de la presente invención tienen una resistencia a la tracción post-soldadura reforzada de al menos 70 MPa.

30 Las aleaciones de acuerdo con las realizaciones descritas anteriormente utilizan una adición de titanio para mejorar la resistencia a la corrosión a través de un mecanismo de estratificación por segregación peritética. Durante la solidificación, los átomos de titanio se segregan preferentemente hacia los centros de dendrita, dando como resultado una distribución de composición a través de la microestructura que incluye áreas alternas de contenido de Ti más alto y más bajo, en la escala de la separación de los brazos de dendrita, por ejemplo, 20-80 micrómetros en una realización (que puede depender del diámetro de la palanquilla). Las mediciones realizadas en la estructura de la palanquilla indican que los niveles de titanio pueden variar desde casi cero en áreas de la concentración más baja hasta aproximadamente el 0,40% en peso en áreas de la concentración más alta dentro de la aleación. La extrusión de esta estructura da como resultado bandas alternas o láminas de material de concentración de titanio alta y baja paralelas a la superficie del tubo. Generalmente, las bandas o láminas pueden tener espesores y separación que son significativamente menores que la separación de los brazos de dendrita, dependiendo de la relación de extrusión. Sin estar limitados por la teoría, se cree que esto inhibe picaduras promovidas por un ataque lateral paralelo a la superficie del tubo, cuando se usa como tubo intercambiador de calor. Sin embargo, la adición de titanio está principalmente en solución sólida en la microestructura. Esto puede aumentar significativamente la tensión de deformación a la temperatura de extrusión y limitar la velocidad de extrusión y la vida de la boquilla. Se descubrió que una combinación de la adición de silicio y el tratamiento de homogeneización descrito anteriormente proporciona una tensión de deformación y procesabilidad similar a aleaciones comerciales actuales de tubo de vida larga. La aleación/homogeneización modificada también produce una estructura de grano fino después de la soldadura reforzada, que es beneficiosa para la resistencia a la corrosión. En una realización, la aleación después de la extrusión y la soldadura reforzada muestra un tamaño del grano en sentido del espesor de 100 micrómetros o menos. En otras realizaciones, el tamaño del grano en sentido del espesor puede ser de 75 micrómetros o menos, o aproximadamente 50 micrómetros. El procedimiento de intercepción lineal es un procedimiento adecuado para determinar este tamaño del grano.

55 Se llevaron a cabo varios experimentos que incluyen aleaciones de acuerdo con aspectos y realizaciones descritos en el presente documento. Dichos experimentos se describen en los ejemplos 1-4.

Ejemplo 1 - Tensión de deformación a alta temperatura

60 Las aleaciones en la tabla 1 se fundieron por colada DC como lingotes de extrusión de 101 mm de diámetro. Se homogeneizaron cortes de lingote durante 4 horas a 580 o 620°C (tal como se indica en la tabla 2) y se refrigeraron a <250°C/h hasta 300°C.

Tabla 1
Composiciones de aleación

	A	B	C	D
Si	0,07	0,09	0,23	0,23
Fe	0,12	0,11	0,11	0,11
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mn	0,99	0,98	1,01	0,78
Mg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ni	0,001	0,008	0,006	0,006
Zn	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Ti	0,02	0,02	0,16	0,17

(Las aleaciones A y B no están dentro del alcance de la invención)

5 Muestras de 10 mm de diámetro y 15 mm de longitud se mecanizaron y se ensayaron bajo compresión de deformación plana a una velocidad de deformación aplicada de 0,1/s y una temperatura de ensayo de 500°C. La carga máxima se capturó y la tensión de deformación máxima se calculó. La tensión de deformación es un indicador de la presión de extrusión que, a su vez, es un indicador de la facilidad de extrusión. Una aleación con una tensión de deformación más baja puede extruirse más rápido para una prensa de extrusión y perfil de tubo dados. La mayoría del trabajo realizado en extrusión se convierte en calor que eleva la temperatura del perfil extruido y del mecanizado. Un material con una tensión de deformación más baja da como resultado una temperatura superficial menor para el producto extruido y la boquilla, dando de este modo un mejor acabado superficial y una vida de la boquilla más larga. La conductividad eléctrica del lingote homogeneizado se midió mediante una sonda de corriente parásita. Los valores de tensión de deformación y conductividad se muestran en la tabla 2, donde los datos se ordenan en términos de tensión de deformación creciente.

Tabla 2
Datos de tensión de deformación y conductividad

Aleación	Mn	Fe	Si	Ti	Temp. de Homog. °C	σ_f (MPa)	$\Delta\sigma_f$ %	IACS %
D	0,78	0,11	0,23	0,17	620	20,3	-1,5	36,2
A control	0,99	0,12	0,07	0,02	580	20,6	0	35,6
C	1,01	0,11	0,23	0,16	620	21,2	2,9	35,6
D	0,78	0,11	0,23	0,17	580	21,9	6,3	40,3
C	1,01	0,11	0,23	0,16	580	23,6	14,6	38,3

σ_f = tensión de deformación

$\Delta\sigma_f$ = % de diferencia en tensión de deformación frente a aleación A control

25 La aleación A (control) es un ejemplo de una aleación de vida larga exitosa actualmente en uso comercial para un tubo intercambiador de calor extruido, tal como se describe mediante el documento US 8.025.748. La aleación se homogeneiza normalmente por debajo de 600°C para producir una distribución en fase dispersa de Al-Mn-Si fina que da una tensión de deformación reducida e inhibe la recristalización durante la soldadura reforzada, de modo que pueda producirse una pared de tubo con un tamaño del grano fino, lo que es beneficioso para la resistencia a la corrosión. La aleación tiene una tensión de deformación suficientemente baja para permitirle ser extruida en perfiles MMP de pared fina con productividad y vida de la boquilla aceptables. Cualquier aleación alternativa con rendimiento en corrosión mejorado necesitaría tener una tensión de deformación cercana a este valor. La aleación C con una adición del 0,16% en peso de Ti y el 0,23% en peso de Si, homogeneizada a 580°C, dio una tensión de deformación ~15% mayor que el control. Incluso reduciendo el contenido de Mn a -0,8% en peso, como para la aleación D, aún dio una tensión de deformación ~6% mayor que el control. Sin embargo, la combinación de la adición de Si en las aleaciones C y D combinadas con el uso de una temperatura de homogeneización >600°C, dio como resultado valores de tensión de deformación cercanos, o incluso por debajo de, a los de la aleación de control. La aleación B no se ensayó, dado que la composición era esencialmente la misma que la de la aleación de control, y no se espera que el ligero aumento del contenido de Ni afecte a la tensión de deformación, dado que este elemento se reparte ampliamente en las partículas constituyentes ricas en hierro.

Ejemplo 2 - Resistencia a la corrosión

Lingotes de las aleaciones A y B tal como se han descrito anteriormente se homogeneizaron durante 4 horas a 580°C, tal como se describe en la patente de Estados Unidos No. 8.025.748, expedida el 27 de septiembre de 2011, que se incorpora como referencia en el presente documento en su totalidad y se ha convertido en parte del presente documento. Los lingotes C y D tal como se han descrito anteriormente se homogeneizaron durante 4 h/620°C (lo que produjo resultados beneficiosos en la reducción de la tensión de deformación a alta temperatura en el ejemplo 1). Los lingotes se enfriaron a <250°C/h hasta 300°C Los lingotes se extruyeron a continuación en una prensa de extrusión de 780 toneladas usando una temperatura de lingote de 520°C y una velocidad de del cilindro de 4 mm/s en un perfil hueco de MMP con un espesor de pared de 0,35 mm a una relación de extrusión de 480/1. El tubo se enfrió con agua dejando que la boquilla simule la práctica industrial. El tubo se cortó en segmentos de 100 mm, que se desengrasaron y se laminaron en frío para dar una reducción de espesor del 4% (para simular la práctica de dimensionamiento comercial). A continuación, se aplicó un tratamiento térmico durante 120 segundos a 600°C para simular un ciclo de soldadura reforzada CAB típico. Los segmentos se expusieron a continuación en una cabina de corrosión a un entorno SWAAT (ASTM G85 A3). Un total de 12 segmentos por aleación se expusieron y 4 muestras de cada aleación se retiraron después de 5, 10 y 15 días de exposición. Los tubos se ensayaron por presión bajo el agua para identificar cualquier fuga y, una vez que las muestras habían fallado, se calculó la densidad de fugas por unidad de área. Los resultados de corrosión se presentan en la tabla 3, y gráficamente en la figura 1. Los resultados se ordenan en términos de resistencia a la corrosión decreciente en la tabla 3.

Tabla 3
Resultados de corrosión del tubo MMP

Aleación	Mn	Fe	Si	Ti	Temp. de homog. °C	Densidad de perf. (#/cm ²)		
						5 días	10 días	15 días
A control	0,99	0,12	0,07	0,02	580	0	0	0,09
D	0,78	0,11	0,23	0,17	620	0	0	0,14
C	1,01	0,11	0,23	0,16	620	0,02	0,11	0,23
B	0,98	0,11	0,09	0,02	580	0,03	0,23	0,52

La aleación A, que es el ejemplo de una aleación exitosa actual de vida larga, mostraba el mismo fallo a los 15 días y dio la densidad de perforaciones más baja. La aleación B, que es de la misma composición que la aleación A, pero con un nivel de impurezas de Ni elevado, falló a los 5 días y, en consecuencia, dio la densidad de perforaciones más alta, mostrando el efecto perjudicial de Ni sobre la corrosión por picadura. Las aleaciones C y D, que también contienen niveles de impurezas de Ni elevados, homogeneizadas en la práctica a alta temperatura, dieron un comportamiento de corrosión superior que la aleación B y estaban más cerca de la aleación A en términos de rendimiento. Éste era particularmente el caso para la aleación D.

Ejemplo 3 - Estructura del grano

Se prefiere una estructura del grano equiaxial fino después de la soldadura reforzada para una resistencia a la corrosión superior. La figura 2 muestra la estructura del grano transversal de los tubos trabajados en frío y soldados por soldadura reforzada antes de la exposición en el ensayo de corrosión. La tabla 4 a continuación ilustra los valores de tamaño del grano en sentido del espesor de pared medidos a partir de las micrografías en la figura 2 usando el procedimiento de intercepción lineal.

Tabla 4
Tamaño del grano

Aleación	Mn	Fe	Si	Ti	Temp. de homog. °C	Grosor del grano en espesor μ
B	0,98	0,11	0,09	0,02	580	51
A control	0,99	0,12	0,07	0,02	580	53
C	1,01	0,11	0,23	0,16	620	53
D	0,78	0,11	0,23	0,17	580	59
C	1,01	0,11	0,23	0,16	580	112

Las aleaciones A y B muestran la estructura del grano fina típica en la pared del tubo descrita en el documento US

8.025.748. Las bandas de tubo de las aleaciones A y B muestran grano grueso dado que el trabajo en frío desde el dimensionamiento está concentrado en estas regiones, causando de este modo recristalización durante el ciclo de soldadura reforzada. El grano fino en la pared del tubo es la estructura residual, tal como se extruyó, y esta estructura sobrevive al ciclo de soldadura reforzada debido a la presencia de la estructura de manganeso en fase dispersa formada durante la homogeneización que "fija" los límites del grano e inhibe la recristalización. Sorprendentemente, las aleaciones C y D, homogeneizadas a 620°C, que produjeron tensión de deformación reducida en el ejemplo 1, también muestran la estructura del grano fina preferida. Sin embargo, la aleación C, cuando se homogeneizó a 580°C, mostró una estructura de grano grueso indeseable, ofreciendo una trayectoria menos intrincada a través del espesor de la pared para corrosión.

Ejemplo 4 - Propiedades mecánicas

Las propiedades de tracción para el tubo extruído, dimensionado y de soldadura reforzada tal como se ha descrito anteriormente se muestran en la tabla 5. Las aleaciones modificadas C y D dieron propiedades mecánicas similares a la aleación comercialmente exitosa A, lo que indica que son adecuadas para aplicaciones de transferencia de calor.

**Tabla 5
Propiedades de tracción**

Aleación	Temp. de homog. °C	Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento %
A control	580	35	90	34
C	620	36	93	38
D	620	31	88	37

Haciendo referencia a los ejemplos específicos anteriores, parece que las aleaciones C y D, cuando se combinan con homogeneización a 620°C, superan el problema de conseguir buena resistencia a la corrosión a niveles de impurezas de níquel más altos mientras se sigue manteniendo una buena capacidad extrusora, así como teniendo una estructura de grano fina post-soldadura reforzada y propiedades mecánicas aceptables para aplicaciones de transferencia de calor.

La composición de aleación de la presente invención puede usarse ventajosamente cuando se requiera resistencia a la corrosión, particularmente cuando se combina con el tratamiento de homogeneización tal como se ha descrito anteriormente. Esto incluye no solamente la producción de un tubo intercambiador de calor extruído y soldado por soldadura reforzada, sino también un tubo intercambiador de calor no soldado por soldadura reforzada y aplicaciones de extrusión generales, así como productos laminados, incluyendo un tubo fabricado a partir de lámina plegada, en diversas realizaciones. La aleación puede extruirse a velocidades de producción similares como las aleaciones de extrusión comercial existentes. La aleación también muestra tolerancia a niveles de impurezas de Ni aumentados. Aún otros beneficios y ventajas son reconocibles por los expertos en la materia.

Todas las composiciones en el presente documento se expresan en porcentaje en peso, a menos que se indique lo contrario.

REIVINDICACIONES

1. Una composición de aleación de aluminio que comprende, en porcentaje en peso:
 0,7-1,10 de manganeso;
 5 0,05-0,25 de hierro;
 0,21-0,30 de silicio;
 0,005-0,020 de níquel;
 0,10-0,20 de titanio;
 0,014 máximo de cobre; y
 10 0,05 máximo de zinc,
 con el resto siendo aluminio e impurezas inevitables.
2. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde el contenido de silicio, en porcentaje en peso, es 0,21-0,26.
- 15 3. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde el contenido de titanio, en porcentaje en peso, es 0,10-0,16.
4. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde el contenido de níquel, en porcentaje en peso, es 0,008-0,020.
- 20 5. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde la composición de aleación comprende, en porcentaje en peso, 0,21-0,26 de silicio, 0,10-0,16 de titanio y 0,008-0,020 de níquel.
- 25 6. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde el contenido de manganeso, en porcentaje en peso, es 0,75-1,05.
7. La composición de aleación de aluminio de acuerdo con la reivindicación 1, donde el contenido de impurezas, en porcentaje en peso, es no más de 0,05 por impureza y 0,15 en total.
- 30 8. Un procedimiento que comprende:
 fundir una palanquilla de una composición de aleación de aluminio que comprende, en porcentaje en peso,
 35 0,7-1,10 de manganeso, 0,05-0,25 de hierro, 0,21-0,30 de silicio, 0,005-0,020 de níquel, 0,10-0,20 de titanio,
 0,014 máximo de cobre y 0,05 máximo de zinc, con el resto siendo aluminio e impurezas inevitables;
 homogeneizar la palanquilla a una temperatura de homogeneización de 590-640°C;
 refrigerar de forma controlada la palanquilla después de homogeneizar a una velocidad menor de 250°C por
 hora;
 y
 40 extruir la palanquilla homogeneizada y refrigerada de forma controlada para formar un producto de aleación
 de aluminio extruído.
9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la temperatura de homogeneización es 610-640°C, y donde la palanquilla se homogeneiza durante hasta ocho horas.
- 45 10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la palanquilla homogeneizada y refrigerada de forma controlada tiene una tensión de deformación a 500°C, a una velocidad de deformación de 0,1/s, de 22 MPa o menos.
- 50 11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la palanquilla es refrigerada de forma controlada a temperatura ambiente o entre 300 y 400°C.
12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la composición de aleación comprende, en porcentaje en peso, 0,21-0,26 de silicio, 0,10-0,16 de titanio y 0,008-0,020 de níquel.
- 55 13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, donde la palanquilla homogeneizada tiene una conductividad eléctrica del 33-40% IACS.
- 60 14. Un tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruído formado al menos parcialmente por una aleación de aluminio que comprende, en porcentaje en peso, 0,7-1,10 de manganeso, 0,05-0,25 de hierro, 0,21-0,30 de silicio, 0,005-0,020 de níquel, 0,10-0,20 de titanio, 0,014 máximo de cobre y 0,05 máximo de zinc, con el resto siendo aluminio e impurezas inevitables.

15. El tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruído de acuerdo con la reivindicación 14, donde el tubo extruído intercambiador de calor de aleación de aluminio se extruye a partir de una palanquilla homogeneizada a una temperatura de homogeneización de 590-640°C antes de la extrusión.

5 16. El tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruído de acuerdo con la reivindicación 14, donde el tubo presenta post-soldadura reforzada un tamaño del grano en sentido del espesor de 100 micrómetros, 75 micrómetros o menos o aproximadamente 50 micrómetros.
10 tiene una resistencia a la tracción post-soldadura reforzada de al menos 70 MPa; o
tiene una microestructura con bandas alternas de material de contenido de titanio más alto y material de contenido de titanio más bajo orientadas paralelas a una superficie del tubo.

17. El tubo intercambiador de calor de aleación de aluminio extruído de acuerdo con la reivindicación 14, donde la aleación comprende, en porcentaje en peso, 0,21-0,26 de silicio, 0,10-0,16 de titanio y 0,008-0,020 de níquel.

15

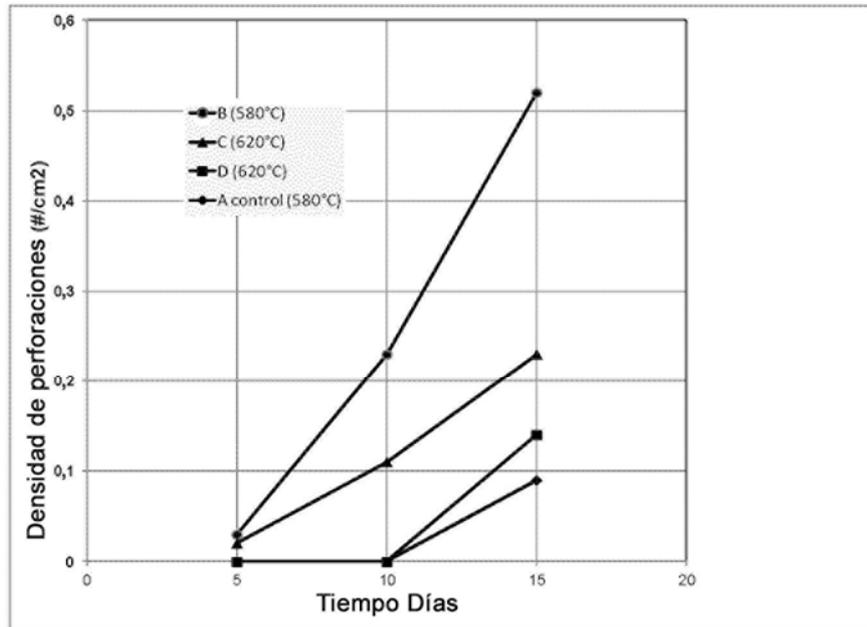
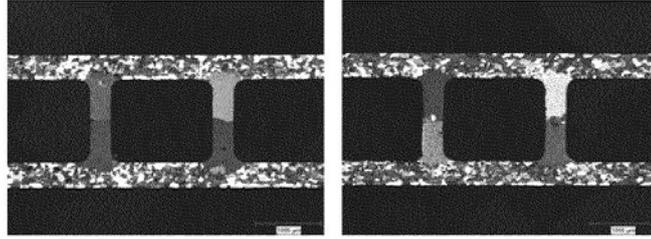
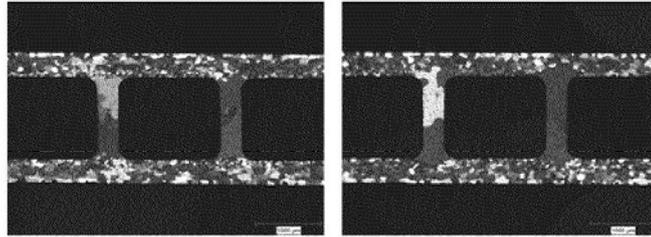


FIGURA 1



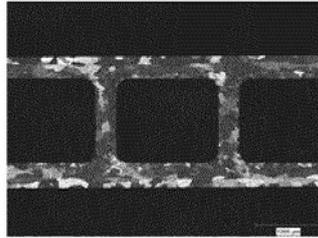
2a. Aleación A – 580°C

2b. Aleación B – 580°C



2c. Aleación C – 620°C

2d. Aleación D – 620°C



2e. Aleación C – 580°C

FIGURA 2

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 La lista de referencias citadas por el solicitante es, únicamente, para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Si bien se ha tenido gran cuidado al compilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP declina toda responsabilidad a este respecto.

Documentos de patente citados en la descripción

- US 6939417 B [0003]
- US 5286316 A [0004]
- US 6638376 B [0005]
- US 7781071 B [0006]
- US 8025748 B [0007] [0036] [0037] [0040]
- WO 2004057261 A1 [0007]

10