



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 278 093**

(51) Int. Cl.:

C22C 21/00 (2006.01)

C22C 21/12 (2006.01)

C22F 1/057 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Número de solicitud europea: **03015053 .6**

(86) Fecha de presentación : **30.01.1998**

(87) Número de publicación de la solicitud: **1359232**

(87) Fecha de publicación de la solicitud: **05.11.2003**

(54) Título: **Método para mejorar la tenacidad en aleaciones de aluminio-litio.**

(30) Prioridad: **31.01.1997 US 36329**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.08.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.08.2007

(73) Titular/es:
Alcan Rolled Products - Ravenswood, L.L.C.
Route 2 South
Ravenswood, West Virginia 26164, US

(72) Inventor/es: **Cho, Alex;**
Skillingberg, Michael;
Greene, Richard y
Niedzinski, Michael

(74) Agente: **Gallego Jiménez, José Fernando**

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

Método para mejorar la tenacidad en aleaciones de aluminio-litio.

5 Ámbito de la invención

La presente invención se refiere a un método para mejorar la tenacidad en sentido corto longitudinal en aleaciones de aluminio-litio y en un producto derivado de ellas, particularmente, a un método que regula los niveles de cobre, manganeso, litio y circonio en las aleaciones con el fin de obtener una mejor tenacidad.

10 Situación de la técnica

Es bien sabido que la adición de litio como elemento de aleación a aleaciones de aluminio resulta en la obtención de propiedades mecánicas ventajosas.

Las aleaciones de aluminio-litio presentan mejoras en rigidez y resistencia, y al mismo tiempo una disminución de densidad. Por consiguiente, estos tipos de aleaciones son de utilidad como materiales estructurales en aplicaciones de aviación y aeroespaciales. Entre las aleaciones de aluminio-litio conocidas se cuentan AA2097 y AA2197. Las composiciones químicas de estas aleaciones se presentan en la Tabla 1 más abajo.

Las aleaciones de aluminio-litio presentan problemas, particularmente en chapas gruesas de aproximadamente 3 pulgadas (76,2 mm) o más, en términos de tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L).

Los valores de la resistencia en este sentido tienden a ser significativamente más bajos que los valores de la resistencia en otros sentidos tales como el sentido longitudinal (L-T) o el sentido largo transversal (T-L).

Dado los inconvenientes de las aleaciones de aluminio-litio con respecto a la tenacidad, se sintió la necesidad de proporcionar un método para mejorar la tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L) para estos tipos de aleaciones. En respuesta a dicha necesidad, la presente invención proporciona un método y un producto de ella que aumenta de manera significativa la tenacidad en las aleaciones de aluminio-litio en sentido corto longitudinal (S-L), haciéndolas así más adecuadas a un rango más amplio de aplicaciones comerciales.

Resumen de la invención

Un primer objeto de la invención es mejorar la tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L) en las aleaciones de aluminio-litio.

Otro objeto de la invención es proporcionar un método para hacer una aleación de aluminio-litio con una mejor tenacidad en sentido corto longitudinal.

Aún otro objeto de la presente invención es utilizar una aleación de aluminio-litio con cantidades reguladas de cobre, litio, manganeso, zinc y circonio para mejorar la tenacidad.

Aún otro objeto de la presente invención es proporcionar un producto de aleación de aluminio-litio con mejor tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L) y con una resistencia en sentido corto transversal aceptable.

Otros objetos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes a medida que se desarrolle su descripción.

De conformidad con los objetos y ventajas precedentes, la presente invención proporciona un método para mejorar la tenacidad en sentido longitudinal corto (S-L) en un artículo de aleación de aluminio-litio que comprende las etapas donde se proporciona una aleación de aluminio que se compone principalmente, en porcentaje en peso, (todos los siguientes niveles de aleación se dan en porcentaje en peso salvo que se indique lo contrario: de 2,7 a 3,0% de cobre, 0,8% a menos de 1,3% de litio, 0,05 a 0,8% de manganeso, 0,04% a 0,18% de circonio, y el resto de aluminio e inevitables impurezas. La aleación de aluminio también puede contener por lo menos un elemento del refinado del grano, tal como boro, titanio, vanadio, manganeso, hafnio, escandio y cromo. Preferentemente, la aleación de aluminio tiene sólo niveles de impureza de zinc, de manera que está principalmente libre de zinc, por ejemplo menos de 0,05 en porcentaje en peso de zinc, más preferentemente menos o igual a 0,02%.

El contenido de litio está preferentemente mantenido entre aproximadamente 1,2 y 1,28 en porcentaje en peso para proporcionar un producto de baja densidad con una buena tenacidad en sentido corto longitudinal. El manganeso se encuentra preferentemente entre 0,3 y 0,32 en porcentaje en peso, siendo el circonio de aproximadamente 0,10 en porcentaje en peso. Sería preferente que, a parte de las cantidades de litio y de cobre, las cantidades de los elementos de aleación pudiesen encontrarse en los intervalos descritos en el párrafo anterior.

En una modificación de la composición descrita en el párrafo anterior, el contenido de litio se sitúa entre aproximadamente el 0,8% y menos del 1,2 y el contenido de cobre se encuentra entre aproximadamente el 2,8 y el 3%. Esta composición debería proporcionar propiedades combinadas de tenacidad y de resistencia aún superiores, con una

densidad ligeramente superior. En este intervalo de composición, precipitarían partículas precipitadas theta (Al_2Cu) adicionales además de las partículas precipitadas T1 (Al_2CuLi) en el contorno de los granos. Esto aumentaría las propiedades combinadas de resistencia y de tenacidad en sentido corto longitudinal.

5 Si se desea, se puede añadir manganeso en una cantidad que no exceda 0,25 en porcentaje en peso. Pequeñas cantidades de manganeso pueden ser ventajosas en términos de resistencia y de disminución de densidad. En cambio, cantidades excesivas pueden crear una susceptibilidad a la fisuración por corrosión bajo tensión y ya no proporcionar ventajas en términos de resistencia y de disminución de densidad.

10 La aleación de aluminio se moldea para formar un lingote y se homogeniza durante un periodo determinado de tiempo. Luego el lingote homogeneizado se trabaja en caliente hasta lograr una forma tal como de chapa y se somete a un tratamiento térmico de solubilización por un periodo determinado de tiempo. Luego el perfil sometido a tratamiento térmico de solubilización se temple, preferentemente en agua, se trabaja en frío, preferentemente por estirado, y se envejece por un periodo determinado de tiempo. Con este tratamiento, el perfil trabajado en frío (estirado) y envejecido
15 presenta resistencias equivalentes, pero resistencias a la fractura en sentido corto longitudinal (S-L) mayores que las aleaciones de aluminio similares con contenidos de litio mayores que 1,38.

Las temperaturas de homogeneización y de tratamiento térmico de solubilización se sitúan entre aproximadamente 940°F (505°C) y 975°F (524°C), y las temperaturas de tratamiento térmico de solubilización se situarán entre
20 aproximadamente 975°F (524°C) y 1000°F (538°C). La temperatura preferida a menudo depende de la composición específica de aleación particular como lo entenderá un experto en la materia. Los tiempos de homogeneización pueden ser aproximadamente de 8 a 48 horas, preferentemente aproximadamente de 24 a aproximadamente 36 horas. Los tiempos de tratamiento térmico de solubilización pueden situarse entre aproximadamente 1 a 10 horas, preferentemente aproximadamente de 1 hora a 6 horas, más preferentemente aproximadamente 2 horas, una vez que el metal alcanza
25 la temperatura deseada. La chapa puede ser envejecida artificialmente sin ningún tratamiento en frío. Sin embargo, se prefiere someterla a entre aproximadamente 4 y 8 tratamientos en frío, preferentemente por estirado. La chapa es preferentemente y artificialmente envejecida a entre aproximadamente 300 y 350°F (149 a 177°C) por entre aproximadamente 4 y aproximadamente 48 horas, preferentemente entre aproximadamente 12 y aproximadamente 36 horas, siendo el tiempo de envejecimiento función de la temperatura de envejecimiento.

30 Utilizando el tratamiento de la invención, se obtiene un artículo de aleación de aluminio-litio con una tenacidad ampliamente mejorada en sentido corto longitudinal (S-L). El valor de la tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L) es por lo menos aproximadamente 689 del valor de la tenacidad en sentido largo transversal (T-L). Al mismo tiempo que presentan una mejor tenacidad en sentido longitudinal corto (S-L), los artículos de aleación de aluminio-litio de
35 la invención presentan un límite de resistencia a la tracción que sobrepasa aproximadamente 54 KSI.

Breve descripción de los dibujos

40 En adelante se hace referencia a los dibujos de la presente invención:

la figura 1 compara la invención con la técnica anterior en términos de límite de resistencia a la tracción en sentido transversal corto y de tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L);

45 la figura 2 compara productos de aleación de la técnica anterior con productos de aleación de la invención con respecto al contenido de litio y a la tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L); y

la figura 3 compara productos de aleación de la técnica anterior con productos de aleación de la invención con respecto al contenido de cobre y a la tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L).

50 Descripción del modo preferido

La presente invención resuelve un problema significativo en el campo de los materiales de aluminio-litio para aplicaciones estructurales tales como las encontradas en la industria aeroespacial y de aviación. A saber, regulando las cantidades de composición de cobre, litio, manganeso y circonio en estos tipos de aleaciones, se obtiene una tenacidad
55 aceptable en sentido corto longitudinal (S-L) con una resistencia aceptable en sentido corto transversal (ST). Esta imprevista mejora de la tenacidad en sentido S-L permite el uso de estos tipos de aleaciones en una amplia gama de aplicaciones estructurales que requieren bajo peso, alta resistencia y rigidez y buena tenacidad.

Según la presente invención, los elementos de aleación de cobre, litio, manganeso y circonio están limitados a los
60 intervalos siguientes para lograr una mejor tenacidad: de aproximadamente 2,7 a 3,0 en porcentaje en peso de cobre, de aproximadamente 0,8 a menos de aproximadamente 1,2 o 1,3 en porcentaje en peso de litio, de aproximadamente 0,05 a 0,8 en porcentaje en peso de manganeso, de aproximadamente 0,04 a 0,16 en porcentaje en peso de circonio, con el resto de aluminio e inevitables impurezas. También puede añadirse uno o más elementos del refinado del grano a la composición de aluminio-litio descrita más arriba. Los elementos del refinado del grano pueden elegirse del grupo
65 que se compone de titanio en una cantidad que no exceda 0,2 en porcentaje en peso, boro en una cantidad que no exceda 0,2 en porcentaje en peso, vanadio en una cantidad que no exceda 0,2 en porcentaje en peso, hafnio en una cantidad que no exceda 0,2 en porcentaje en peso, escandio en una cantidad que no exceda 0,5 en porcentaje en peso, y cromo en una cantidad que no exceda 0,3 en porcentaje en peso. Preferentemente el aluminio está libre de zinc. En

ES 2 278 093 T3

otras palabras, el zinc está presente solamente como impureza y a niveles menores de 0,05 en porcentaje en peso. Se cree que el zinc a niveles mayores que los de la impureza afecta adversamente las propiedades mecánicas de estos tipos de aleaciones de aluminio-litio.

5 El contenido de cobre debería mantenerse superior a 2,7 en porcentaje en peso para alcanzar una alta resistencia pero inferior a 3,0 en porcentaje en peso para evitar partículas sin disolver durante el tratamiento térmico de solubilización.

Se prefieren niveles de cobre más elevados debido a los niveles de litio más bajos en la aleación.

10 El contenido de litio debería mantenerse superior a 0,8 en porcentaje en peso para alcanzar una buena resistencia y una baja densidad pero inferior a 1,3 en porcentaje en peso para evitar una pérdida de tenacidad en sentido corto longitudinal (S-L). El contenido de manganeso debería mantenerse inferior a 0,8 en porcentaje en peso para evitar partículas gruesas sin disolver que serían perjudiciales para la tenacidad. El manganeso debería ser superior a 0,05
15 en porcentaje en peso para regular el tamaño del grano y el comportamiento de deslizamiento homogéneo durante el proceso de deformación plástica.

Más preferentemente, el contenido de litio debería mantenerse entre 1,2 y menos de 1,3 en porcentaje en peso. Aun más preferentemente, en un modo, el contenido de litio es mantenido a menos de 1,2 en porcentaje en peso. El
20 manganeso es más preferente entre 0,3 y 0,32 en porcentaje en peso con el nivel de cobre entre aproximadamente 2,7 y 3,0 en porcentaje en peso.

Si se desea, se puede añadir manganeso en una cantidad preferentemente que no exceda 0,25 en porcentaje en peso. Pequeñas cantidades de manganeso pueden ser ventajosas en términos de resistencia y de disminución de la densidad.
25 Sin embargo, cantidades excesivas pueden crear una susceptibilidad a la fisuración por corrosión bajo tensión y no proporcionar ventajas adicionales en términos de resistencia y de disminución de densidad.

Junto con la especificación de la composición de la aleación en la composición de la aleación de aluminio-litio más arriba, la aleación se somete a las etapas de colado, homogeneización, trabajo en caliente (por ejemplo, por laminado,
30 forjado, extrusión y sus combinaciones), tratamiento térmico de solubilización, temple, trabajo en frío (por ejemplo, por estirado) y envejecimiento para formar un artículo de aluminio-litio que presente una mejor tenacidad en sentido S-L.

Como parte del tratamiento, la aleación de aluminio-litio descrita más arriba se moldea para formar un lingote,
35 tocho u otro perfil para proporcionar materia prima adecuada para las operaciones subsiguientes del tratamiento. Una vez que se moldea el perfil, éste puede someterse a un relevado de esfuerzos como se conoce en la técnica antes de la homogeneización. Luego el perfil moldeado se homogeniza a temperaturas entre 940°F y 975°F, 505°C y 524°C, por un periodo de tiempo suficiente para que se disuelvan los elementos solubles y se homogenice la estructura interna del metal. Un tiempo de residencia de homogeneización preferido se encuentra entre 1 y 36 horas, mientras que
40 tiempos más largos normalmente no afectan adversamente el artículo. La homogeneización puede llevarse a cabo a una temperatura o en varias etapas utilizando varias temperaturas.

Después de la homogeneización, el perfil moldeado se trabaja en caliente con el fin de producir materia prima tal como la chapa, extrusiones u otras materias primas dependiendo del uso final deseado del artículo de aleación de
45 aluminio-litio. Por ejemplo, un lingote que presenta una sección transversal de forma rectangular podría ser trabajado en caliente hasta lograr una forma de chapa. Debido a que esta etapa de trabajo en caliente es clásica en la técnica, se estima que, para la comprensión de la invención, no es necesario seguir con su descripción.

Después de la etapa de trabajo en caliente, el perfil trabajado en caliente se somete a un tratamiento térmico de solubilización y a temple. Preferentemente, se somete el perfil trabajado en caliente a un tratamiento térmico de solubilización entre 975°F y 1000°F (524°C y 538°C) por un tiempo comprendido entre menos de 1 hora y varias
50 horas. Este perfil sometido a un tratamiento térmico de solubilización es preferentemente rápidamente sometido a temple, por ejemplo sometido a temple en agua a temperatura ambiente, para prevenir o minimizar la precipitación no regulada de fases de refuerzo en la aleación.

55 El temple rápido también puede comprender una etapa posterior de enfriamiento por aire, si se desea.

Luego, preferentemente, se estira el perfil templado hasta el 8% y se envejece artificialmente a una temperatura comprendida entre 150° y 400°F (66° y 204°C) por un tiempo suficiente para que aumente aún más el límite de elasticidad, por ejemplo, hasta 100 horas, dependiendo de la temperatura, por ejemplo, 24 horas a 300°F (149°C). El
60 perfil estirado y envejecido está entonces listo para usar en cualquier aplicación, particularmente en una aplicación aeroespacial o de aviación. Alternativamente, antes del envejecimiento, el perfil puede trabajarse hasta formar un artículo y luego envejecerse.

65 Para demostrar las mejoras imprevistas asociadas con la presente invención, se realizó una comparación entre las propiedades de artículos compuestos de aleaciones de aluminio-litio de la técnica anterior y artículos compuestos de aleaciones de aluminio-litio según la invención. En esta comparación, se eligieron cuatro químicas de la técnica anterior y cuatro químicas según la invención. De cada una de las ocho químicas se realizó un baño fundido de

ES 2 278 093 T3

aleación de aluminio que se moldeó, homogeneizó, sometió a un tratamiento térmico de solubilización, templó, estiró y envejeció para producir un artículo o producto de aleación de aluminio-litio. Los artículos de aleación de aluminio-litio se sometieron a un ensayo de tenacidad y de tracción para comparar las propiedades mecánicas de las químicas de la técnica anterior con las correspondientes a la presente invención.

En adelante se describe en detalle el tratamiento utilizado y los métodos de ensayo para comparar las propiedades mecánicas de la técnica anterior y los artículos de aleación de aluminio-litio de la invención. En la comparación, los artículos de la técnica anterior son los Ejemplos 1-4, y los artículos de la invención son los Ejemplos 5-8.

Se debe entender que las variables del tratamiento y las químicas expuestas en los Ejemplos 5-8 son los modos preferidos de la invención.

TABLA 1

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Ti	Li
AA2097	0,12	0,15	2,5 - 3,1	0,10 - 0,6	0,35	0,35	0,08 - 0,16	0,15	1,2 - 1,8
AA2197	0,1	0,1	2,5 - 3,1	0,1 - 0,5	0,25	0,05	0,08 - 0,15	0,12	1,3 - 1,7

Notas de la Tabla 1

1. Las composiciones químicas se expresan en porcentaje en peso máximo salvo que se indique un intervalo.

2. Además de los elementos enumerados, cada aleación puede contener otros elementos, con una cantidad máxima de cada uno de los otros elementos que no exceda 0,05% en porcentaje en peso y con un total de los demás elementos que no exceda 0,15% en porcentaje en peso.

Ejemplo 1

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,84 Cu - 1,36 Li - 0,32 Mn - 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 2.

ES 2 278 093 T3

TABLA 2
Química (% en peso)

Cu	Li	Mn	Zr
2,84	1,36	0,32	0,1

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	62,7	54,3	3,6	S-L	18,4
LT	67,2	60,0	6,5	T-L	28
L	67,7	62,1	10	L-T	32

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 2

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,71 Cu - 1,37 Li - 0,32 Mn - 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 3.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 3

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,71	1,37	0,32	0,1

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	66,8	59,8	4,7	S-L	15,8
LT	68,1	61,9	6,5	T-L	29,1
L	70,4	65,8	9,5	L-T	32,7

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 3

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,77 Cu - 1,33 Li - 0,32 Mn - 0,11 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E26 6 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 4.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 4

Química (% en peso)

Cu	Li	Mn	Zr
2,77	1,33	0,32	0,11

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	65,6	56,7	3,5	S-L	15,5
LT	68,7	62,0	6,0	T-L	26,8
L	70,7	65,5	11	L-T	28,1

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 4

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,89 Cu - 1,36 Li - 0,32 Mn - 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 5.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 5

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,89	1,36	0,32	0,10

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	63,6	56,3	2,1	S-L	20,4
LT	64,7	57,2	8,0	T-L	30,8
L	76,5	60,7	10	L-T	32,2

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 5

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,78 Cu - 1,21 Li - 0,31 Mn - 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 8% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 6.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 6

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,78	1,21	0,31	0,1

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	62,5	54,7	3,6	S-L	26,6
LT	65,1	58	8,5	T-L	31,5
L	64,4	59,1	11,5	L-T	37,5

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 6

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,86 Cu - 1,28 Li - 0,3 Mn - 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 7.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 7

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,86	1,28	0,30	0,10

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	64	57,3	4,1	S-L	26,3
LT	66,4	59,4	7,5	T-L	34,2
L	66,4	61,3	9,5	L-T	40,1

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 7

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,73 Cu - 1,28 Li - 0,3 Mn- 0,1 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 8.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 8

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,73	1,28	0,30	0,1

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	64,4	55,9	3,6	S-L	22,7
LT	65,4	58,8	7,5	T-L	33,1
L	64	59	12	L-T	38,5

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

Ejemplo 8

Una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de 2,83 Cu - 1,26 Li - 0,32 Mn - 0,11 Zr, el resto aluminio e impurezas, se moldeó para formar un lingote con una sección transversal de 16" (406,4 mm) y 45" (1143 mm) de ancho. El lingote se homogeneizó a 950°F (510°C) durante 36 horas, luego se trabajó en caliente hasta obtener una chapa de 4" (101,6 mm) de espesor. Luego, la chapa se sometió a un tratamiento térmico de solubilización en un horno de tratamiento térmico a una temperatura de 990°F (532°C) durante 2 horas y luego se templó en agua. Luego la chapa se estiró del 6% en sentido longitudinal a temperatura ambiente. Para el envejecimiento artificial, las muestras estiradas se envejecieron en un horno a 320°F (160°C) durante 24 horas. Las propiedades de tracción se determinaron en el plano T/4 según ASTM B-557. En los ensayos de tracción en sentido longitudinal y en sentido largo transversal se utilizaron probetas de tracción cilíndricas de 0,5" (12,7 mm) de diámetro y 1" (25,4 mm) de distancia entre marcas. Los ensayos de tracción en sentido corto transversal se llevaron a cabo con probetas de tensión cilíndricas de 0,16" (4,1 mm) de diámetro y 0,5" (12,7 mm) de distancia entre marcas. La tenacidad se determinó en el plano T/4 según la norma ASTM E266 utilizando probetas de tensión compactas de W = 1,5" (38,1 mm) para el sentido corto longitudinal (S-L) y probetas de tensión compactas de W = 2" (50,8 mm) para los sentidos L-T y T-L. Los resultados de estos ensayos se muestran en la Tabla 9.

(Tabla pasa a página siguiente)

ES 2 278 093 T3

TABLA 9

Química (% en peso)

<u>Cu</u>	<u>Li</u>	<u>Mn</u>	<u>Zr</u>
2,83	1,26	0,32	0,11

Propiedades mecánicas

Sentido del ensayo	Resistencia a la rotura (KSI) *	Límite elástico (KSI)	Alargamiento %	Sentido del ensayo	Tenacidad KSI $\sqrt{in}$ **
ST	63,9	55,9	3,6	S-L	22,7
LT	65,4	58,8	7,5	T-L	33,1
L	64,0	59	12	L-T	38,5

*KSI = 6,894757 MPa

**KSI $\sqrt{in}$ = 1,0988434 Mpa $\sqrt{m}$

La ventaja de la presente invención se muestra en la Figura 1 donde se comparan los valores de la tenacidad en las Tablas 2-9 en sentido S-L con los límites elásticos de tensión en sentido S-T. Como resulta evidente a partir de la Figura 1, no se transige en lo que se refiere a los límites elásticos de tensión entre los ejemplos de la técnica anterior y los ejemplos de la invención. Más específicamente, los valores de los límites elásticos de tensión de la técnica anterior se sitúan ligeramente por encima de 54 KSI y casi 60 KSI. En comparación, los límites elásticos de tensión de los ejemplos según la invención se sitúan ligeramente por debajo de 55 KSI y ligeramente por encima de 57 KSI. La Figura 1 demuestra que los artículos hechos de la presente invención proporcionan una mejor tenacidad en sentido S-L significativa, manteniendo al mismo tiempo niveles de resistencia aceptables en sentido S-T.

La figura 2 ilustra las mejoras imprevistas de tenacidad en sentido S-L con respecto a la técnica anterior. Los valores indicados en la figura 2 demuestran que la tenacidad en sentido S-L para los Ejemplos 5-8 es ampliamente superior a la mostrada para los ejemplos 1-4. Esta mejora, que está relacionada con el contenido de litio, es muy imprevista en vista de la técnica anterior.

La figura 3 resalta el hecho de que las mejoras de tenacidad están relacionadas con el contenido de litio de las aleaciones. La figura 3 demuestra que la tenacidad no varía extensamente con respecto al contenido de cobre. Para los ejemplos 5-8, la tenacidad resulta permanecer relativamente igual con el aumento o la disminución de las cantidades de cobre. De la misma manera, la tenacidad de los ejemplos 1-4 no varía extensamente con el aumento o la disminución del contenido de cobre.

Haciendo nuevamente referencia a la figura 2, se cree que el contenido de litio puede ser tan bajo como 0,8 en porcentaje en peso y seguir mejorando la tenacidad y manteniendo una resistencia aceptable en sentido corto transversal. Se cree aún que se pueden obtener los mismos resultados si se practica el tratamiento de la invención de conformidad con los valores generales de parámetros de tratamiento descritos más arriba.

Por consiguiente, se presenta una invención en términos de modos preferidos de la misma que cumplen con cada uno de los objetos de la presente invención como se expone más arriba y proporciona un método nuevo y mejorado para mejorar la tenacidad en sentido corto longitudinal de aleaciones de aluminio-litio.

REIVINDICACIONES

1. Un método para hacer un artículo de aleación de aluminio-litio que comprende las etapas de:

a) obtención de una aleación de aluminio que se compone, en porcentaje en peso, de:

2,7 a 3% de cobre,

0,8 a menos de 1,3% de litio,

0,05 a 0,8% de manganeso,

hasta 0,25% de magnesio,

0,04 a 0,18% de circonio,

Opcionalmente uno o más elementos del refinado del grano elegidos del grupo que se compone de hasta 0,2% de titanio, hasta 0,2% de boro, hasta 0,2% de vanadio, hasta 0,2% de hafnio, hasta 0,5% de escandio, y hasta 0,3% de cromo, el resto de aluminio e inevitables impurezas;

b) el moldeo de la aleación de aluminio para formar un lingote

c) la homogeneización del lingote a entre 940°F y 975°F (505°C a 534°C);

d) el trabajo en caliente del lingote homogeneizado hasta lograr un perfil trabajado en caliente;

e) el tratamiento térmico de solubilización del perfil trabajado en caliente a entre 975° y 1000°F (524 a 538°C);

f) el temple del perfil sometido a tratamiento térmico de solubilización; y

g) el trabajo en frío y el envejecimiento del perfil templado.

2. Un método según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el perfil se estira entre 4 y 8% y luego se envejece entre 150 y 400°F (66 a 204°C), y preferentemente entre aproximadamente 300 y 350°F (149 a 177°C).

3. Un método según las reivindicaciones 1 o 2 **caracterizado** porque el contenido de litio es menor que 1,2 en porcentaje en peso.

4. Un método según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el contenido de litio se sitúa entre 1,2 y 1,28%.

5. Un método según la reivindicación 1 **caracterizado** porque el contenido de litio es menor que 1,2 en porcentaje en peso y el contenido de cobre es mayor que 2,8 en porcentaje en peso.

6. Un método según la reivindicación 4 **caracterizado** porque el circonio se sitúa entre 0,04 y 0,16%.

7. Un método según las reivindicaciones de 1 a 6 **caracterizado** porque la aleación de aluminio está principalmente libre de zinc.

8. Un método según las reivindicaciones 1 a 7 **caracterizado** porque dicho artículo de aluminio-litio es una chapa gruesa.

9. Un método según la reivindicación 1 **caracterizado** porque la tenacidad de la chapa en sentido corto longitudinal (S-L) es por lo menos aproximadamente 68,5% de la tenacidad de la chapa en sentido largo transversal (T-L).

TYS en función de K_{ic} en sentido S-L

4" de distancia entre marcas 2197 – Chapa T8

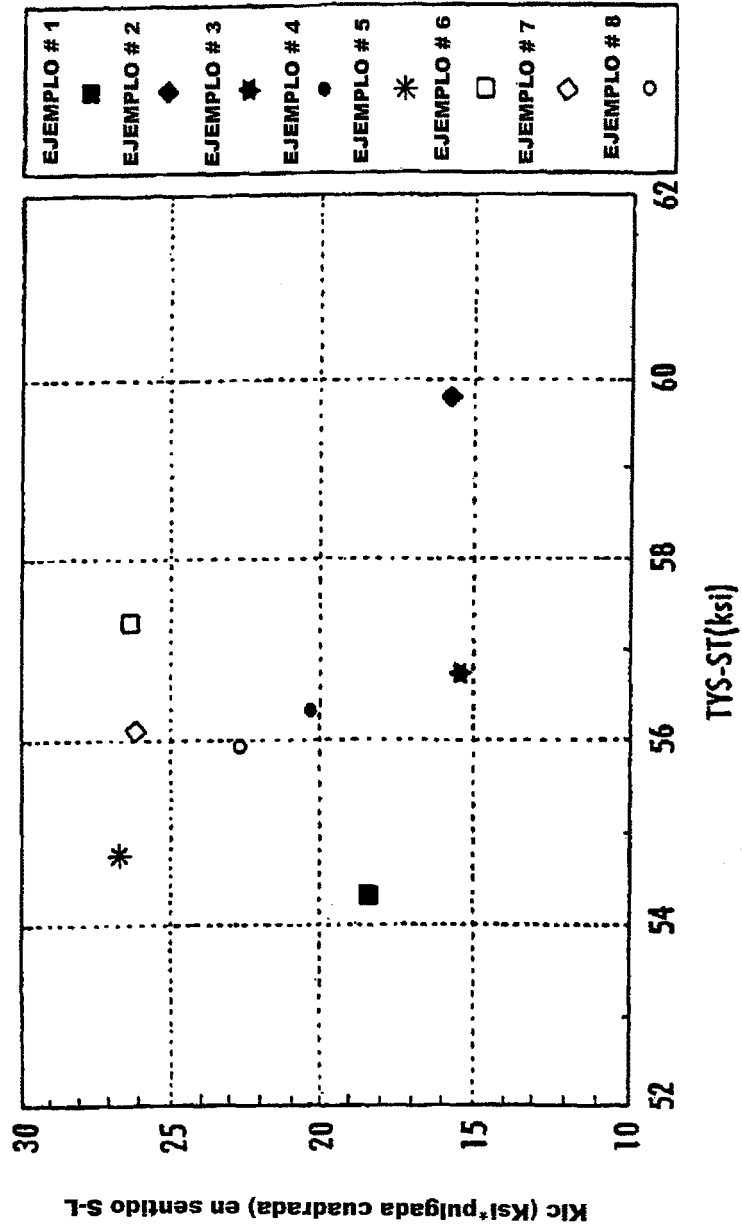


Figura 1

Tenacidad en sentido S-L en función del contenido de litio

4" de distancia entre marcas 2197 – Chapa T8

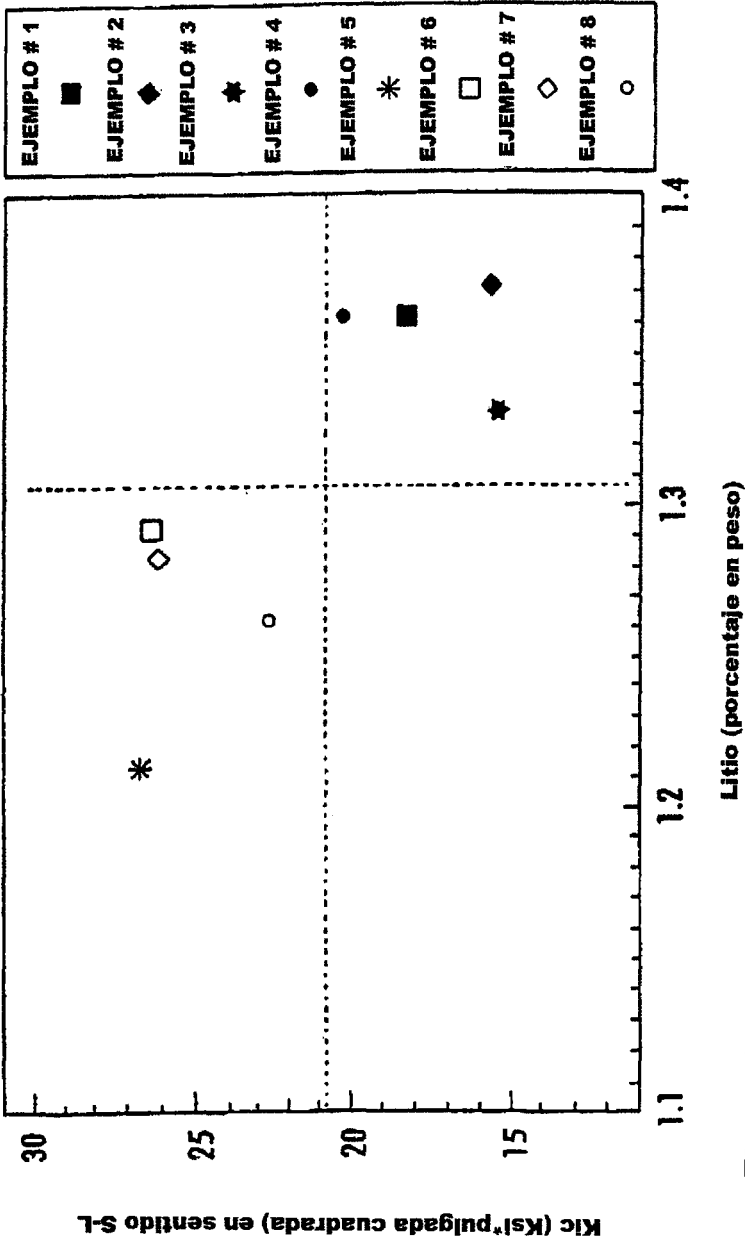


Figura 2

Tenacidad en sentido S-L en función del cobre

4" de distancia entre marcas 2197 - Chapa T8

