

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 813 824**

51 Int. Cl.:

C22C 21/12 (2006.01)
C22C 21/14 (2006.01)
C22C 21/16 (2006.01)
C22C 21/18 (2006.01)
C22F 1/00 (2006.01)
C22F 1/057 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2015** **E 15191323 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2020** **EP 3012338**

54 Título: **Aleaciones de aluminio y litio de alta resistencia, alta conformabilidad y bajo coste**

30 Prioridad:

26.10.2014 US 201414523931

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

25.03.2021

73 Titular/es:

**KAISER ALUMINUM FABRICATED PRODUCTS,
LLC (100.0%)
27422 Portola Parkway, Suite 200
Foothill Ranch, CA 92610-2831, US**

72 Inventor/es:

**LONG, ZHENG DONG;
LASSINCE, PHILIPPE;
BALDWIN, FLORENCE ANDREA;
MATUSKA, ROBERT A.;
LIU, YANSHENG;
NASH, ROY AUSTIN;
SCHEURING, JASON NICHOLAS y
HOLMESMITH, GARY D.**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 813 824 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 y litio de alta resistencia, alta conformabilidad y bajo coste

5 Antecedentes de la invención

Campo de la invención

10 La presente invención se refiere generalmente a productos de aleación a base de aluminio-cobre-litio-magnesio.

10 Descripción de la técnica relacionada

Con el fin de reducir agresivamente el peso de la aeronave para una mejor eficiencia del combustible, los fabricantes de fuselaje y los fabricantes de material de aluminio están persiguiendo firmemente las aleaciones de aluminio y litio de baja densidad.

15 Cuando se trata de productos laminados utilizados en aplicaciones de aeronaves, los diseñadores de aeronaves generalmente usan aleaciones de "resistencia media-alta tolerancia al daño" como la aleación AA2024 y sus derivados recientes como 2524 (véase, por ejemplo, la Patente de los Estados Unidos Núm. 5,213,639), o "alta resistencia-media tolerancia al daño" aleaciones como la aleación AA7075.

20 Para ambos tipos de aleaciones (es decir, aleaciones de tipo AA2024 o aleaciones de tipo AA7075), hay requisitos adicionales que deben cumplirse para ser usados por la industria aeronáutica. Por ejemplo, se requiere una mejor conformabilidad para producir las partes complejas necesarias en una aeronave y se desea una mejor resistencia a la corrosión que las aleaciones existentes para un menor coste de mantenimiento y operación de la aeronave.

25 Si ha habido una cantidad considerable de trabajos relacionados con alternativas de aleaciones de baja densidad, aleaciones de tipo Al-Li para aleaciones de tipo AA2024 (es decir, de resistencia media-alta tolerancia al daño), se ha desarrollado un producto limitado basado en Al-Li para proporcionar a los diseñadores de aeronaves mejores alternativas que la lámina 7075 de alta resistencia usada actualmente.

30 La resistencia de la lámina de Al-Li es crítica para las aplicaciones aeroespaciales. La mayor resistencia permite un menor diseño de componentes de peso total para una mejor eficiencia de combustible. Como referencia, el límite de elasticidad de la aleación de aluminio 7075-T6 de uso común con una lámina de aproximadamente 1,3 mm (0,05 ") de grosor es 468,8 MPa (68 ksi) basado en "Aluminium Standards and Data 2013" publicado por The Aluminum Association. La mayoría de las aleaciones de lámina de Al-Li actuales tienen una resistencia muy baja en comparación con la lámina de 7xxx.

35 También es bien sabido que es un desafío metalúrgico y técnico extremo producir productos de aluminio-litio (Al-Li), especialmente productos laminados muy delgados, en los que la resistencia del material, la conformabilidad, la resistencia a la fractura, la resistencia a la fatiga y la resistencia a la corrosión son requeridos simultáneamente.

40 Metalúrgicamente, la microestructura y textura deseadas, que afectan fuertemente las propiedades del producto final, son mucho más difíciles de controlar para las láminas, especialmente las láminas delgadas, productos de Al-Li. La microestructura y la textura se ven fuertemente afectadas por la composición química de la aleación y la mayoría de las etapas de fabricación, es decir, homogeneización, laminado en caliente y en frío, recocido, tratamiento térmico con solución y estiramiento. La lámina de Al-Li, especialmente la lámina delgada, es mucho más difícil de fabricar que la aleación convencional: las láminas de Al-Li son más sensibles al agrietamiento por rodadura, la oxidación de la superficie y la distorsión. Debido a estas limitaciones, hay una pequeña ventana de procesamiento que puede usarse para optimizar la microestructura y textura deseadas. Por lo tanto, este es un desafío importante para diseñar una aleación de lámina de aluminio y litio que logre la combinación deseada de propiedades (resistencia, conformabilidad, costo, con buena tolerancia al daño y resistencia a la corrosión). Estos desafíos técnicos de fabricación restringen mucho la producción de productos Al-Li de lámina delgada de alta resistencia.

45 Como consecuencia, solo hay una aleación de Al-Li, es decir, AA2090, registrada para productos laminados con un grosor inferior a 1,6 mm (0,063 "), y solo una aleación adicional, es decir, AA2198, registrada para productos laminados con un grosor inferior a 3,2 mm (0,125 "), y solo dos aleaciones adicionales, es decir, AA2195 y AA2199, registradas para productos de lámina/placa con un grosor inferior a 12,7 mm (0,5"), basado en el más reciente publicado (2011) "Registration Record Series - Tempers for Aluminum and Aluminum Alloys Production" por The Aluminum Association.

50 Estos desafíos metalúrgicos y técnicos para producir productos laminados delgada de alta resistencia también se reflejan en las patentes y solicitudes de patentes. De hecho, una cantidad significativa de patentes o solicitudes de patentes se relacionan principalmente con productos de lámina (>12,7 mm, (>0,5")), pero solo unos pocos con productos laminados.

55 El coste del producto de aleación Al-Li es otra preocupación. El elemento de plata (Ag) se adiciona a muchas

aleaciones de Al-Li de nueva generación para mejorar las propiedades del producto final, agregando costos de aleación significativos. Entre los cuatro productos laminados de aleaciones de Al-Li registrados mencionados anteriormente, dos de ellos (AA2198 y AA2195) son aleaciones que contienen Ag.

- 5 La patente de los Estados Unidos 7,744,704 describe una aleación de aluminio y litio para aplicaciones de láminas para fuselaje de aeronaves o placas de calibre ligero. Esta patente es la base de la aleación de lámina de Al-Li AA2198 registrada. Esta aleación comprende 0,1 a 0,8 % en peso de Ag, por lo que no se considera una aleación de bajo coste. Además, tiene una resistencia relativamente baja en comparación con las láminas 7075 T6.
- 10 La patente de Estados Unidos 7,438,772 describe una aleación de aluminio-cobre-magnesio que tiene adiciones auxiliares de litio. Esta patente es la base para la aleación AA2060 Al-Li registrada. El nivel reivindicado para el litio es solo del 0,01 al 0,8% en peso; debido a esta adición limitada de litio, no se considera que sea realmente una aleación de "baja densidad".
- 15 La patente de los Estados Unidos 8,118,950 describe aleaciones de aluminio-cobre-litio mejoradas. Esta patente es la base para la aleación AA2055 Al-Li registrada. Esta aleación comprende 0,3 a 0,7 % en peso de Ag, por lo que no se considera una aleación de bajo coste. Según lo proporcionado en la patente, la aleación se usa para extrusiones de alta resistencia.
- 20 La patente de Estados Unidos 7,229,509 describe una aleación con un amplio intervalo de composición química, que incluye de 0,2 a 0,8 % en peso de Ag, por lo que no se considera una aleación de bajo coste. Esta patente es la base para la aleación de placa AA2050 Al-Li registrada. Como se describió en el documento de "Aluminum-Copper-Lithium Alloy 2050 Developed for Medium to Thick Plate [Lequeu 2010]", AA2050 está diseñado para productos de placa de Al-Li de 12,7 mm (0,5 ") a 127 mm (5"). Similar a la patente US7229509, la solicitud de patente de "US20110209801 A2" incluye 0,15 a 0,35 % en peso de Ag. Además, esta aplicación reivindica específicamente que la aleación es adecuada para placas en un intervalo de grosor de 30 mm (1,2") a 100 mm (3,9").
- 25

Otras solicitudes de patentes que incluyen Ag y también se usan para placas gruesas son "US 2009/0142222 A1" y "US 2013/0302206".

- 30 La patente US5032359 describe una aleación que incluye 0,05 a 1,2 % en peso de Ag, por lo que no se considera una aleación de bajo coste. La principal ventaja de esta aleación es tener alta resistencia, ductilidad, excelente soldabilidad y respuesta natural al envejecimiento.
- 35 La solicitud de patente de "US 2014/0050936 A1" describe un producto de aleación de Al-Li que contiene 3,00 a 3,80% en peso de Cu, 0,05 a 0,35% en peso de Mg y 0,975 a 1,385 % en peso de Li. Esta es básicamente una versión Al-Li de aleación de aplicación de "alta tolerancia al daño - resistencia media", con una resistencia que no coincide con el rendimiento del AA7075.
- 40 El documento CN 101 967 588 describe una novedosa aleación de aluminio-litio resistente a daños y un método de preparación de la misma. La aleación comprende los siguientes componentes en porcentaje en peso: 2,8 a 4,0 por ciento de Cu, 0,8 a 1,9 por ciento de Li, 0,20 a 0,60 por ciento de Mn, 0,20 a 0,80 por ciento de Zn, 0,04 a 0,20 por ciento de Zr, 0,20 a 0,80 por ciento de Mg, 0,1 a 0,7 por ciento de Ag, menor o igual a 0,10 por ciento de Si, menor o igual a 0,10 por ciento de Fe, menor o igual a 0,12 por ciento de Ti, menor o igual a 0,15 por ciento de otras impurezas y el saldo de Al, en donde una impureza única representa menos o igual al 0,05 por ciento del peso de la aleación; y uno a cinco de los elementos de aleación Mn, Zn, Mg, Ag y Zr se pueden adicionar selectivamente.
- 45 El documento CN 102 021 457 describe una aleación de aluminio-litio de alta tenacidad y un método de preparación de la misma. La aleación comprende los siguientes componentes químicos en porcentaje en peso: 3,2 a 4,2 por ciento de Cu, 0,7 a 1,8 por ciento de Li, 0,20 a 0,60 por ciento de Mn, 0,20 a 0,60 por ciento de Zn, 0,06 a 0,20 por ciento de Zr, 0,20 a 0,80 porcentaje de Mg, 0,2 a 0,7 por ciento de Ag, menor o igual a 0,10 por ciento de Si, menor o igual a 0,10 por ciento de Fe, menor o igual a 0,12 por ciento de Ti, menor o igual a 0,15 por ciento de otras impurezas (una sola impureza es menor o igual a 0,05 por ciento) y el saldo de Al.
- 50 El documento US 2011 030 856 describe un producto forjado tal como un producto a base de aleación de aluminio extruido, laminado y/o forjado, que comprende, en % en peso: Cu: 3,0-3,9; Li: 0,8-1,3; Mg: 0,6-1,0; Zr: 0,05-0,18; Ag: 0,0-0,5; Mn: 0,0-0,5; Fe+Si: ≤0,20; Zn: ≤0,15; al menos un elemento entre: Ti: 0,01-0,15; Sc: 0,05-0,3; Cr: 0,05-0,3; Hf: 0,05-0,5; otros elementos ≤0,05 cada uno y ≤0,15 total, el resto aluminio.
- 55

- 60 En general, la técnica anterior relacionada con la técnica actual enseña que (1) existe una fuerte necesidad de alta resistencia, baja densidad, alta conformabilidad, bajo coste, junto con buenas propiedades de tolerancia al daño y corrosión, aleaciones de Al-Li capaces de producir productos laminados delgados; (2) es un desafío metalúrgico y técnico extremo producir tales productos; (3) el muy costoso Ag a menudo se adiciona para una mejor calidad metalúrgica, pero esta adición aumenta significativamente el coste del producto Al-Li.
- 65

Breve resumen de la invención

La presente invención proporciona una aleación de aluminio-litio de alta resistencia, alta conformabilidad y bajo coste, adecuada para su uso en la fabricación de componentes de transporte, tales como componentes estructurales aeroespaciales. La aleación de aluminio-litio de la presente invención comprende de 3,6 a 4,5 % en peso de Cu, 0,8 a 1,6 % en peso de Li, 0,9 a 1,5 % en peso de Mg, menos de 0,2 % en peso de Ag, de 0,03 a 0,6 % en peso de uno o más elementos de control de la estructura del grano seleccionados del grupo que consiste en Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de las tierras raras, y opcionalmente hasta 0,5 % en peso de Zn, opcionalmente hasta 1,0 % en peso de Mn, hasta 0,12 % en peso de Si, hasta 0,15 % en peso de Fe, hasta 0,15 % en peso de Ti, el resto es aluminio e impurezas inevitables.

Preferentemente, la aleación de aluminio-litio de la presente invención se usa para fabricar una lámina, extrusión o producto forjado que tiene un espesor de 0,25-6,3 mm (0,01-0,249 pulgadas), con mayor preferencia 0,25-3,17 mm (0,01-0,125 pulgadas) de grosor. Se ha descubierto sorprendentemente que la aleación de aluminio-litio de la presente invención que no tiene Ag, o cantidades muy bajas de Ag, y un alto contenido de Mg es capaz de producir productos laminados de 0,25-6,3 mm (0,01 a 0,249 pulgadas) de grosor con alta resistencia, baja densidad, bajo coste, excelente conformabilidad y buenas propiedades de tolerancia al daño y resistencia a la corrosión.

Otro aspecto de la presente invención es un método para fabricar láminas de aluminio-litio de la presente invención. El método se establece en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de la presente invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de una modalidad preferida de la misma, tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un gráfico que muestra el límite de elasticidad frente al calibre de lámina para la aleación de aluminio-litio de la presente invención y aleaciones registradas. El límite de elasticidad mínimo, en el eje y, se ilustra en ksi (50 ksi es 344,7 MPa) y el intervalo del calibre de lámina, en el eje x, está en pulgadas (0,1 pulgada es 2,54 mm);

La Figura 2 proporciona imágenes que muestran las condiciones de agrietamiento de la superficie de la lámina de temple de aleación A T3, una aleación de aluminio y litio de la presente invención. 1,6 t es 1,6 Mg;

La Figura 3 es un gráfico que muestra la curva de límite de formación (FLC) del temple T3 de la lámina de aleación A, una aleación de aluminio-litio de la presente invención;

La Figura 4 es un gráfico que muestra la resistencia efectiva a la grieta K_{Reff} en función de la extensión efectiva de la grieta (Da_{eff}) de la aleación A en temple T8 (una aleación de aluminio-litio de la presente invención), de 2198 en temple T8 y de la aleación 7075 en láminas de temple T6. K_{Reff} , en el eje y, se ilustra en ksi por pulgada cuadrada (100 ksi es 689,5 MPa) y Da_{eff} , en el eje x, se ilustra en pulgadas (0,4 pulgadas es 10,16 mm);

La Figura 5 es un gráfico que muestra da/dN en función del factor de intensidad de tensión de la aleación A (una aleación de aluminio y litio de la presente invención) y 2198 láminas de temple T8 en orientaciones TL y LT. da/dN , en el eje y, se ilustra en pulgadas por ciclo (1,0E-04 pulgadas es 0,00254 mm) y el factor de intensidad de tensión, en el eje x, se ilustra como ksi por pulgada cuadrada (20 ksi es 137,9 MPa);

La Figura 6 es una imagen que muestra las apariencias superficiales típicas después de 672 horas de tiempo de exposición de prueba MASTMASSIS tanto para la aleación A (una aleación de aluminio y litio de la presente invención) como para la aleación 2198 en la ubicación T/2; y

La Figura 7 muestra una imagen de la microestructura de las muestras después de 672 horas de tiempo de exposición al ensayo MASTMASSIS tanto para la aleación A (una aleación de aluminio y litio de la presente invención) como para la aleación 2198 en la ubicación T/2.

Descripción detallada de la invención

La presente invención está dirigida a aleaciones de aluminio-litio, específicamente aleaciones de aluminio-cobre-litio-magnesio. La aleación de aluminio-litio de la presente invención comprende de 3,6 a 4,5 % en peso de Cu, 0,8 a 1,6 % en peso de Li, 0,9 a 1,5 % en peso de Mg, menos de 0,2 % en peso de Ag, de 0,03 a 0,6 % en peso de al menos un elemento de control de la estructura del grano seleccionado del grupo que consiste en Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de las tierras raras, y opcionalmente hasta 0,5 % en peso de Zn, opcionalmente hasta 1,0 % en peso de Mn, hasta 0,12 % en peso de Si, hasta 0,15 % en peso de Fe, hasta 0,15 % en peso de Ti, el resto es aluminio e impurezas inevitables. La aleación de aluminio-litio de la presente invención no tiene más de 0,2 % en peso de Ag. Alternativamente, se prefiere que Ag no se adicione intencionalmente en la aleación de aluminio-litio. Como tal, la aleación de aluminio-litio puede incluir modalidades alternativas con menos del 0,1 % en peso de Ag, menos del 0,05 % en peso de Ag, o menos del 0,01 % en peso de Ag.

En una modalidad alternativa, la aleación de aluminio-litio comprende 3,6 a 4,2 % en peso de Cu, 0,9 a 1,5 % en peso de Li, 0,9 a 1,2 % en peso de Mg, un máximo de 0,05 % en peso de Si, un máximo de 0,08 % en peso de Fe. Adicionalmente, la aleación de aluminio-litio incluye menos del 0,2% en peso de Ag, o puede incluir menos del 0,1% en peso de Ag, menos del 0,05% en peso de Ag, o menos del 0,01 % en peso de Ag. En una modalidad preferida, no se adiciona Ag intencionalmente a la aleación de aluminio-litio.

La aleación de aluminio-litio de la presente invención puede usarse para producir productos forjados, preferentemente, que tienen un intervalo de grosor de 0,25 - 6,3 mm (0,01-0,249 pulgadas), con mayor preferencia en el intervalo de espesor de 0,25 - 3,17 mm (0,01-0,125 pulgada). Además de baja densidad y bajo coste, las aleaciones de aluminio-litio de la presente invención son productos forjados que tienen alta resistencia, excelente conformabilidad, buenas propiedades de tolerancia al daño y corrosión.

Dichos productos son adecuados para su uso en muchas aplicaciones estructurales, especialmente para componentes estructurales aeroespaciales como bastidores, zancas y fuselajes. La aleación de aluminio y litio de la presente invención puede usarse en varios procesos de fabricación en la fabricación de componentes de lámina metálica. Los métodos comunes son el modelado con rodillo, el modelado por estiramiento, modelado por martillado de goteo, estampado, modelado por dibujo, y el hidromodelado. Los componentes de ejemplo que se pueden hacer a partir de estos métodos de formación, pero no se limitan a ellos, son bastidores de fuselaje, tirantes de fuselaje, revestimientos de fuselaje contorneados, revestimientos de sección transversal constante, sujetador de arneses de cables eléctricos, soportes para cables usados en sistemas de control, puntos de acoplamiento para componentes interiores a estructuras primarias como bastidores de fuselaje, ataduras de cizallamiento para unir marcos de fuselaje a pieles de fuselaje, lazos de corte para unir costillas de ala a pieles de ala, costillas de ala, sujetadores para unir costillas de ala a largueros de ala, pieles de empenaje, costillas de empenaje, pieles de góndola, pieles de borde delantero de entrada del motor, pieles de mamparo de presión, pieles de pilón, soportes para unir la aviónica a los componentes estructurales, soportes para unir los sistemas de oxígeno del pasajero, recintos de aviónica, estanterías para componentes de la aviónica, etc.

Como se demuestra en la Figura 1, la aleación de aluminio-litio de la presente invención tiene una resistencia excepcionalmente alta y bajo coste y también es capaz de producir productos laminados muy delgados en comparación con otras aleaciones conocidas de aluminio-litio.

Los intervalos de composición de los principales elementos de aleación (cobre, litio, magnesio) de las aleaciones de aluminio-litio de la presente invención se enumeran en la Tabla 1:

Tabla 1			
Intervalos de composición de cobre, litio y magnesio			
	Cu	Li	Mg
Típico	3,6 - 4,5	0,8 - 1,6	0,9 - 1,5
Preferido	3,6 - 4,2	0,9 - 1,5	0,9 - 1,2

Se adiciona cobre a la aleación de aluminio-litio de la presente invención en el intervalo de 3,6 a 4,5 % en peso, principalmente para mejorar la resistencia y también para mejorar la combinación de resistencia, conformabilidad y resistencia a la fractura. Una cantidad excesiva de Cu, particularmente en el intervalo establecido de la aleación de aluminio y litio de la presente invención, podría dar como resultado partículas intermetálicas desfavorables que pueden afectar negativamente las propiedades del material, tales como la ductilidad, la conformabilidad y la resistencia a la fractura. También debe considerarse la interacción de Cu con otros elementos como Li y Mg. En una modalidad preferida, el Cu está en el intervalo de 3,6 a 4,2 % en peso. Se entiende que, dentro del intervalo de 3,6 a 4,5 % en peso de Cu, el límite superior o inferior para la cantidad de Cu puede seleccionarse entre 3,7, 3,8, 3,9, 4,0, 4,1, 4,2, 4,3 y 4,4 % en peso de Cu.

Se adiciona litio a la aleación de aluminio-litio de la presente invención en el intervalo de 0,8 a 1,6 % en peso. El principal beneficio para agregar elemento Li es reducir la densidad y aumentar el módulo elástico. Combinado con otros elementos como Cu, Li también es crítico para mejorar la resistencia, la tolerancia al daño y el rendimiento de corrosión. Sin embargo, un contenido de Li demasiado alto puede afectar negativamente la resistencia a la fractura, la anisotropía de las propiedades de tracción y las propiedades de conformabilidad. En una modalidad preferida, Li está en el intervalo de 0,9 a 1,5 % en peso. Se entiende que, dentro del intervalo de 0,8 a 1,6 % en peso de Li, el límite superior o inferior para la cantidad de Li se puede seleccionar entre 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4 y 1,5 % en peso de Li.

Se adiciona Mg a la aleación de aluminio-litio de la presente invención en el intervalo de 0,9 a 1,5 % en peso. El propósito principal de agregar Mg es mejorar la resistencia con el propósito secundario de reducir ligeramente la densidad. Sin embargo, una cantidad demasiado alta de Mg puede reducir la solubilidad del Li en la matriz, por lo tanto, afecta significativamente y negativamente la cinética de envejecimiento para una mayor resistencia. En una

modalidad preferida, el Mg está en el intervalo de 0,9 a 1,2 % en peso. Se entiende que, dentro del intervalo de 0,9 a 1,5 % en peso de Mg, el límite superior o inferior para la cantidad de Mg puede seleccionarse entre 1,0, 1,1, 1,2, 1,3 y 1,4 % en peso de Mg.

- 5 La adición de un bajo nivel de Zn a la aleación de aluminio y litio de la presente invención tiene como objetivo mejorar la resistencia a la corrosión. En una modalidad, la adición de Zn es opcional y puede ser de hasta 0,5 % en peso. Se entiende que el límite superior para la cantidad de Zn se puede seleccionar entre 0,1, 0,2, 0,3 y 0,4 % en peso de Zn.

- 10 En una modalidad, Ag no se adiciona intencionalmente en la aleación de aluminio-litio de la presente invención. Puede existir Ag en la aleación como resultado de un elemento adicionado no intencionalmente. El Ag es inferior al 0,2 % en peso. La aleación de aluminio-litio puede incluir modalidades alternativas que tienen menos del 0,1 % en peso de Ag, o menos del 0,05 % en peso de Ag. Se cree que Ag mejora las propiedades del producto final y, por lo tanto, se incluye en muchas aleaciones de aluminio y litio, así como también en muchas patentes y solicitudes de patentes. Sin embargo, Ag aumenta significativamente el coste de las aleaciones. En la modalidad preferida de la aleación de aluminio-litio de la presente invención, Ag no se incluye intencionalmente para reducir el costo. Es sorprendente encontrar que la aleación de aluminio-litio de la presente invención, sin la adición de Ag para proporcionar un bajo coste, puede usarse para producir productos laminados de alto rendimiento, alta conformabilidad, excelente resistencia a la corrosión y buena tolerancia al daño, adecuados para aplicaciones estructurales particularmente aplicaciones estructurales aeroespaciales.

- 20 En una modalidad, Mn puede incluirse opcionalmente hasta 1,0 % en peso. En una modalidad, el nivel de Mn es de al menos 0,1 % en peso. Se entiende que el límite superior o inferior para la cantidad de Mn puede seleccionarse entre 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8 y 0,9 % en peso de Mn. El Mn puede ayudar a mejorar las estructuras de grano para una mejor anisotropía mecánica y conformabilidad.

- 25 Se puede adicionar Ti hasta un 0,15 % en peso. El propósito de agregar Ti es principalmente para el refinado de granos. Se entiende que el límite superior para la cantidad de Ti se puede seleccionar de 0,01, 0,02, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,10, 0,11, 0,12, 0,13 y 0,14 % en peso de Ti.

- 30 Además de aluminio, cobre, litio, magnesio, opcionalmente zinc, opcionalmente manganeso y titanio, la aleación de aluminio-litio de la presente invención contiene al menos uno de los elementos de control de la estructura del grano seleccionados del grupo que consiste en Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de las tierras raras en una cantidad total de 0,03 a 0,6 % en peso. En una modalidad, dicho elemento de control de la estructura del grano tiene que ser al menos de 0,05 % en peso. Se entiende que el límite superior o inferior para la cantidad total de los elementos de control de la estructura del grano puede seleccionarse de 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,5 % en peso.

- 35 Si y Fe pueden estar presentes en la aleación de aluminio-litio de la presente invención como impurezas, pero no se adicionan intencionalmente. Cuando están presentes, su contenido debe ser de hasta el 0,12 % en peso para Si, y hasta el 0,15 % en peso para Fe. Si, preferentemente con $\leq 0,05$ % en peso de Si. En una modalidad, la aleación de aluminio-litio de la presente invención incluye un contenido máximo de 0,05 % en peso para Si, y 0,08 % en peso para Fe.

- 40 La aleación de aluminio-litio de la presente invención también puede incluir un bajo nivel de "elementos incidentales" que no se incluyen intencionalmente, en el conocimiento general común se les conoce como "impurezas inevitables". Los "elementos incidentales" significan cualquier otro elemento excepto los descritos anteriormente Al, Cu, Li, Mg, Zn, Mn, Ag, Fe, Si, Ti, Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de las tierras raras.

- 45 La aleación Al-Li de alta resistencia y bajo coste de la presente invención puede usarse para producir productos forjados. En una modalidad, la aleación de aluminio-litio de la presente invención es capaz de producir productos laminados, preferentemente, un producto en lámina o bobina en el intervalo de grosor de 0,25 - 6,32 mm (0,01-0,249 pulgadas), con mayor preferencia en el intervalo de 0,25 - 3,17 mm (0,01-0,125 pulgadas).

- 50 Los productos laminados pueden fabricarse mediante el uso procesos conocidos tales como fundición, homogeneización, enrollado al calor, opcionalmente laminado en frío, tratamiento térmico con solución y templeado, opcionalmente estiramiento y nivelación, y tratamientos de envejecimiento. El lingote se puede colar mediante el método tradicional de colado por enfriamiento directo (DC). El lingote se homogeneiza a temperaturas de 454 a 549 °C (850 a 1020 °F), preferentemente de 482 a 543 °C (900 a 1010 °F), y con mayor preferencia de 496 a 538 °C (925 a 1000 °F). La temperatura del laminado en caliente es de 343 a 499 °C (650 a 930 °F), preferentemente de 357 a 482 °C (675 a 900 °F), y con mayor preferencia de 371 a 466 °C (700 a 870 °F). La laminación en frío opcional puede ser necesaria particularmente para los calibres más delgados. La reducción del trabajo en frío es del 20 % al 95 %, preferentemente del 40 % al 90 %. Los productos se tratan térmicamente en solución en un intervalo de temperatura de 454 a 543 °C (850 a 1010 °F), preferentemente de 482 a 538 °C (900 a 1000 °F), y con mayor preferencia de 493 a 532 °C (920 a 990 °F). Los productos forjados son templados con agua fría a temperatura ambiente y pueden estirarse opcionalmente o trabajarse en frío hasta un 15 %, preferentemente del 2 al 8 %. El producto templado se somete a todas las prácticas de envejecimiento conocidas por los expertos en la técnica, que incluyen, pero no se limitan a, las prácticas de envejecimiento en un solo paso que producen un temple final conveniente, como el temple

T8, para una mejor combinación de fuerza, resistencia a la fractura y resistencia a la corrosión que son altamente convenientes por los miembros aeroespaciales. La temperatura de envejecimiento está en el intervalo de 121 a 205 °C (250 a 400 °F) preferentemente de 135 a 193 °C (275 a 380 °F), y con mayor preferencia de 149 a 182 °C (300 a 360 °F) y el tiempo de envejecimiento está en el rango de 2 a 60 horas, preferentemente de 10 a 48 horas.

Muchas piezas aeroespaciales, como los bastidores, necesitan formarse según la geometría diseñada para las aplicaciones finales. Por lo tanto, la conformabilidad también es una consideración crítica junto con las propiedades del material estático y dinámico. La conformabilidad normalmente se evalúa mediante un método de prueba de flexión simple y/o un método más sofisticado de diagrama de límite de formación (FLD). La conformabilidad de la lámina de temple T3 se centra principalmente para la aleación de aluminio y litio de la presente invención. Para láminas de aleación 7xxx y 2xxx de alta resistencia, el temple O se proporciona comúnmente por el fabricante del producto de aluminio (fábrica de aluminio) al fabricante del fuselaje. La lámina de temple O se procesa de diferentes maneras, como la formación, la disolución, el temple con agua fría y el envejecimiento. La lámina de temple T3 proporcionada tiene una ventaja de coste significativa ya que elimina el proceso de disolución y las etapas del proceso de templado con agua fría en el fuselaje.

Los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 6,3 mm (0,249") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 468,8 MPa (68 ksi). Alternativamente, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 6,3 mm (0,249") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 510,2 MPa (74 ksi). Además, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 6,3 mm (0,249") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un radio de curvatura mínimo de 1,88*t en la dirección longitudinal. Adicionalmente, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 6,32 mm (0,249") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 468,8 MPa (68 ksi) o 510,2 MPa (74 ksi), y un radio de curvatura mínimo de 1,88*t en la dirección longitudinal.

Los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 0,32 mm (0,125") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 468,8 MPa (68 ksi). Alternativamente, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 0,32 mm (0,125") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 510,2 MPa (74 ksi). Además, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 0,32 mm (0,125") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un radio de curvatura mínimo de 1,88*t en la dirección longitudinal. Adicionalmente, los productos laminados que incluyen la aleación de aluminio y litio de la presente invención que tienen un grosor máximo de 0,32 mm (0,125") pueden exhibir en una solución tratada térmicamente, templada, estirada y envejecida artificialmente un límite de elasticidad longitudinal mínimo de 468,8 MPa (68 ksi) o 510,2 MPa (74 ksi), y un radio de curvatura mínimo de 1,88*t en la dirección longitudinal.

Los siguientes ejemplos ilustran varios aspectos de la invención y no pretenden limitar el alcance de la invención.

Ejemplo 1: Estudio del producto basado en lingotes de molde de libro

Once lingotes de molde para libros con una dimensión aproximada de 31,7 x 152 x 305 mm (1,25"x6"x12") se fundieron y procesaron en productos laminados de 1,3 mm (0,05"). La Tabla 2 proporciona las composiciones químicas de estos 11 lingotes de molde de libros. Entre estas 11 químicas, el #5 no está en el intervalo de la composición química de la invención debido al contenido muy bajo de Mg. Los lingotes #6 al #11 tienen aproximadamente 0,3 % en peso de Ag, por lo tanto, no están en el intervalo de composición química de la invención.

Tabla 2

Identificación de la muestra	Aleación de la invención?	Composiciones de aleación, % en peso					
		Cu	Li	Mg	Ag	Zr	Zn
1	Invención	3,7	1,2	1,0		0,07	0,38
2	Invención	3,8	1,0	1,3		0,07	0,36
3	No invención	4,0	1,3	0,8		0,07	0,39
4	No invención	4,0	1,0	0,8		0,05	0,38

(continuación)

Identificación de la muestra	Aleación de la invención?	Composiciones de aleación, % en peso					
		Cu	Li	Mg	Ag	Zr	Zn
5							
6	No invención	3,3	1,0	1,3		0,07	0,36
7	No invención	3,6	1,1	1,0	0,29	0,08	0,00
8	No invención	3,9	1,3	1,1	0,28	0,07	0,00
9	No invención	3,9	1,3	1,1	0,29	0,00	0,00
10	No invención	4,1	1,4	1,4	0,29	0,08	0,00
11	No invención	4,1	1,4	0,8	0,28	0,07	0,00
12	No invención	4,2	1,1	0,8	0,29	0,06	0,00
13	No invención	4,2	1,1	1,3	0,29	0,08	0,00

Los lingotes de los moldes de libros se cortaron en la superficie, se homogeneizaron, laminaron en caliente, se laminaron en frío, se trataron con solución caliente, se templaron, se estiraron y se envejecieron hasta un acabado final de láminas de temple T8 de 1,3 mm (0,05") de grosor.

Los lingotes se homogeneizaron a temperaturas de 496 a 538 °C (925 a 1000 °F). Las temperaturas de laminado en caliente estaban en el intervalo de 399 a 466 °C (750 a 870 °F). Los lingotes se laminaron en caliente por múltiples pases en láminas de 1,5 a 5,1 mm (0,06 a 0,20") de grosor. Aunque el laminado en frío es opcional, todas las láminas de molde de libros de ejemplo se laminaron en frío hasta 1,5 mm (0,05") de grosor. Las láminas laminadas en frío se trataron térmicamente con solución a un intervalo de temperatura de 493 a 532 °C (920 a 990 °F). Las láminas se templaron con agua fría a temperatura ambiente. Aunque el estiramiento o el trabajo en frío es opcional, todas las láminas de ejemplo se estiraron entre un 2 a 6 % aproximadamente. Las láminas estiradas se envejecieron hasta un temple T8 en el intervalo de temperatura de 166 °C (330 °F) durante 24 horas. Se evaluó la conformabilidad de las láminas de temple T3 y se evaluaron las propiedades de tracción para las láminas de temple T8.

La Tabla 3 muestra las propiedades de tracción de lámina en el temple T8 (envejecido). El desplazamiento 0,2% del límite de elasticidad (TYS) y la resistencia a la tracción final (UTS) a lo largo de la dirección de rodadura (L) se midieron según la especificación ASTM B557. La química # 5, que no está dentro del intervalo de la química de la invención, tiene una resistencia mucho menor debido al bajo contenido de Mg. Las muestras #6 a la #11, que no son de la invención, aleaciones que contienen Ag, tienen altas resistencias, como se esperaba. Sin embargo, es sorprendente ver que las aleaciones #1 a #2, las de la invención, aleaciones que no contienen Ag, tienen también alta resistencia, muy cercana a la de las aleaciones que contienen Ag.

La Tabla 3 incluye el mínimo requerido en las especificaciones AMS de la industria para las láminas 7075 T62 y las hojas 2024 T3. Las aleaciones de la invención están al nivel de 7075 T62, y mucho más altas que las mínimas de 2024 T3.

La Tabla 3 también incluye el límite de elasticidad específico, es decir, la resistencia, el límite de elasticidad dividido por la densidad: las aleaciones de la invención son mucho más altas que la aleación 7075 T62 existente.

Tabla 3

Identificación de la muestra	Aleación de la invención?	Propiedades de tracción de la lámina de temple T8				
		L UTS, MPa (ksi)	L TYS, MPa (ksi)	L EL, % (lbs/in ³)	Densidad, g/cm ³ (lbs/in ³)	L TYS, MPa / g/cm ³ (ksi / lb/in ³) específico
1	Invención	531 (77,0)	514 (74,6)	3,5	2,667 (0,097)	192 (771)
2	Invención	535 (77,6)	516 (74,8)	4,5	2,691 (0,097)	192 (769)
3	No invención	557 (80,7)	544 (78,9)	1,8	2,675 (0,097)	203 (816)
4	No invención	535 (77,5)	515 (74,7)	4,0	2,699 (0,0980)	191 (766)
5	No invención	506 (73,4)	489 (70,9)	6,0	2,679 (0,097)	183 (733)
6	No invención	529 (76,7)	514 (74,6)	6,0	2,686 (0,097)	192 (768)
7	No invención	541 (78,4)	522 (75,7)	6,3	2,673 (0,097)	195 (784)
8	No invención	539 (78,1)	525 (76,1)	5,3	2,670 (0,096)	197 (789)
9	No invención	553 (80,2)	534 (77,4)	5,0	2,665 (0,096)	200 (804)
10	No invención	575 (83,3)	554 (80,3)	4,5	2,670 (0,096)	208 (833)
11	No invención	581 (84,3)	563 (81,6)	5,0	2,698 (0,097)	209 (837)

(continuación)

Identificación de la muestra	Aleación de la invención?	Propiedades de tracción de la lámina de temple T8				
		L UTS, MPa (ksi)	L TYS, MPa (ksi)	L EL, % (lbs/in ³)	Densidad, g/cm ³ (lbs/in ³)	L TYS, MPa / g/cm ³ (ksi / lb/in ³) específico
11	No invención	555 (80,4)	540 (78,3)	3,5	2,693 (0,097)	201 (805)
Especificación 2024-T3 (AMS4037)		435 (63,0)	290 (42,0)	15,0	2,798 (0,101)	415 (415)
Especificación 7075-T62 (AMS4045)		538 (78,0)	476 (69,0)	9,0	2,832 (0,102)	676 (676)

El rendimiento de flexión de la lámina de temple T3 también se evaluó según ASTM 290-09. Un extremo del espécimen de lámina junto con la matriz de soporte de troquel se mantuvo unido con un tornillo de banco. Se aplicó una fuerza en el otro extremo de la lámina para doblarla contra el radio de una matriz de soporte de troquel a 180 °. Después de doblar, se examinó la superficie del espécimen para determinar si había grietas. La relación de curvatura R/t, es decir, el radio de la matriz de soporte de troquel (R) contra grosor de la lámina (t), se usa normalmente para evaluar el rendimiento de flexión. Cuanto menor sea la relación de curvatura, mejor será el rendimiento de flexión.

La Tabla 4 muestra el rendimiento de flexión de cada lámina de aleación. "Grieta" en la tabla indica que hubo grietas notables después de la prueba de flexión. Como se puede ver, la relación de curvatura mínima antes del agrietamiento es de 1,6*t a 1,88*t, que es un rendimiento muy bueno: por ejemplo, en las láminas 2024 T3 ampliamente usadas, la relación de curvatura mínima en la especificación de la industria AMS 4037 es 2,5 Mg (2,5*t). No existe una diferencia notable entre las aleaciones que contienen Ag y las aleaciones de la invención de bajo coste que no contienen Ag.

Tabla 4

Identificación de la muestra	Aleación de la invención?	Agrietamiento superficial de la muestra doblada			
		1,25 Mg (1,25 t)	1,6 Mg (1,6 t)	1,88 Mg (1,88 t)	2,4 Mg (2,4 t)
1	Invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
2	Invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
3	No invención	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
4	No invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
5	No invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
6	No invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
7	No invención	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
9	No invención	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
8	No invención	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
9	No invención	Grieta	Grieta	Grieta	Sin grieta
10	No invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
11	No invención	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
Especificación 2024-T3 (AMS4037)		2,5 Mg (2,5t)			

Al considerar tanto la resistencia como la conformabilidad, la aleación inventiva #1 a #2 tiene una resistencia muy alta, alta conformabilidad y bajo coste. La aleación no inventiva #5 tiene una resistencia muy baja debido al bajo contenido de Mg. Las otras aleaciones no inventivas #6 a #11 también tienen alta resistencia y alta conformabilidad, pero un alto coste debido a la adición de Ag.

Ejemplo 2: Prueba de planta a gran escala

Dos lingotes a escala industrial de 406 mm (16") de grosor de las aleaciones de la invención y una de las aleaciones 2198 se fundieron mediante un proceso de fundición DC (Direct Chill) y se procesaron en láminas de 1,3 mm (0,05") de grosor. La aleación 2198 se usó como aleación de referencia. La Tabla 5 muestra las composiciones químicas de lingotes a escala industrial de aleaciones de la invención y aleaciones 2198.

Tabla 5

Aleaciones	Composiciones químicas de aleación, % en peso								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Li	Ag
Aleación (invención)	0,03	0,05	3,92	0,340	0,98	0,36	0,08	1,11	0,00

(continuación)

Aleaciones	Composiciones químicas de aleación, % en peso								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Zr	Li	Ag
Aleación B (invención)	0,03	0,05	4,02	0,345	0,99	0,36	0,09	1,11	0,00
2198 (Linea base)	0,03	0,05	3,18	0,350	0,54	0,02	0,10	0,91	0,27

Los lingotes se homogeneizaron a una temperatura de 496 a 538 °C (925 a 1000 °F). Las temperaturas de laminado en caliente fueron de 371 a 466 °C (700 a 870 °F). Los lingotes se laminaron en caliente por múltiples pases con un grosor de 1,52 a 5,08 mm (0,06 a 0,20"). Aunque el laminado en frío es opcional, todas las láminas se laminaron en frío hasta un grosor de 1,27 mm (0,05"). Las láminas laminadas en frío se trataron térmicamente con solución a un intervalo de temperatura de 493 a 532 °C (920 a 990 °F). Las láminas se templaron con agua fría a temperatura ambiente. Aunque el estiramiento o el trabajo en frío es opcional, todas las láminas de ejemplo se estiraron entre un 2 a 7 %. Las láminas estiradas sin envejecimiento artificial se usaron para evaluaciones de conformabilidad y conformabilidad de temple T3. Las láminas estiradas se envejecieron más hasta un temple T8 para evaluar el desempeño de resistencia, fractura y fatiga. La temperatura de envejecimiento fue de 166 °F (330 °F) durante 24 horas.

Las propiedades de tracción de las láminas de temple T3 a lo largo de la dirección de laminación (L), la dirección transversal larga (LT) y a 45 grados de la dirección de laminación (L45) se muestran en la Tabla 6. Las láminas de aleación de la invención, la Aleación A y la Aleación B, tienen mayor resistencia que las láminas de aleación de temple T3 2198 existentes y también un mínimo de 2024-T3 por AMS4037. La diferencia de resistencia en diferentes orientaciones de tracción, L, LT y L45 (es decir, la anisotropía en el plano) también es muy baja.

Tabla 6

Aleación	L UTS, MPa (ksi)	L TYS, MPa (ksi)	L EL%	LT UTS, MPa (ksi)	LT TYS, MPa (ksi)	LT EL%	L45 UTS, MPa (ksi)	L45 TYS, MPa (ksi)	L45 EL%
Aleación A	395 (65,9)	299 (49,8)	21,0	403 (67,1)	268 (44,7)	18,0	388 (64,6)	265 (44,2)	21,5
Aleación B	401 (66,9)	294 (49,1)	18,5	406 (67,6)	273 (45,6)	19,0	392 (65,4)	263 (43,9)	20,5
2198	329 (54,8)	245 (40,9)	16,5	319 (53,1)	224 (37,3)	14,0	316 (52,7)	224 (37,3)	17,5
2024-T3 (AMS4037)				378 (63,0)	252 (42,0)	15,0			

La Tabla 7 muestra las propiedades de tracción a lo largo de las orientaciones L, LT y L45 para las diferentes aleaciones y tiempos de envejecimiento a 165,6 °C (330 °F). Las láminas de aleación de la invención, la aleación A y la aleación B, tienen una resistencia mucho mayor que la lámina de aleación 2198 existente en todas las orientaciones de prueba y tiempos de envejecimiento.

Tabla 7

Aleación	Horas de envejecimiento a 165,6 °C (330F)	L UTS, MPa (ksi)	L TYS, MPa (ksi)	L EL%	LT UTS, MPa (ksi)	LT TYS, MPa (ksi)	LT EL%	L45 UTS, MPa (ksi)	L45 TYS, MPa (ksi)	L45 EL%
Aleación A	18	556 (80,6)	538 (78,0)	7,3	553 (80,1)	511 (74,1)	6,5	541 (78,4)	496 (71,9)	8,0
	24	552 (80,0)	533 (77,3)	7,3	546 (79,1)	495 (71,8)	9,5	543 (78,7)	494 (71,6)	8,0
	32	557 (80,8)	541 (78,5)	6,3	553 (80,1)	509 (73,8)	7,8	542 (78,5)	499 (72,3)	7,8
Aleación B	18	579 (83,9)	565 (81,9)	6,5	571 (82,8)	528 (76,5)	7,0	558 (80,9)	519 (75,2)	6,5
	24	579 (83,9)	568 (82,3)	7,3	571 (82,7)	528 (76,6)	7,3	558 (80,8)	517 (75,0)	8,5
	32	579 (84,0)	566 (82,0)	6,0	568 (82,3)	529 (76,6)	6,8	562 (81,5)	523 (75,9)	7,0

(continuación)

5	Aleación	Horas de envejecimiento a 165,6 °C (330F)	L UTS, MPa (ksi)	L TYS, MPa (ksi)	L EL%	LT UTS, MPa (ksi)	LT TYS, MPa (ksi)	LT EL%	L45 UTS, MPa (ksi)	L45 TYS, MPa (ksi)	L45 EL%
10	2198	24	491 (71,1)	468 (67,9)	9,8	480 (69,6)	437 (63,3)	9,5	476 (69,0)	428 (62,1)	10,5
		32	489 (70,9)	467 (67,7)	11,0	483 (70,0)	442 (64,1)	8,0	477 (69,1)	432 (62,6)	10,3
15	7075-T62 (AMS4045)					538 (78,0)	469 (68,0)	9,0			
	2024-T8 (AMS-QQ-A / 250)					462 (67,0)	400 (58,0)	5,0			

La lámina de aluminio 7075-T62 es el producto típico para aplicaciones aeroespaciales de "alta resistencia - tolerancia media al daño". En comparación con 7075-T62, la aleación de la invención tiene una resistencia mucho mayor, especialmente el límite de elasticidad (TYS).

La conformabilidad se evaluó mediante pruebas de curvatura uniaxial estándar y Diagrama de límite de formación (FLD).

Como se describió anteriormente, la prueba de flexión se basó en ASTM 290-09. Como ejemplo, la Figura 2 muestra las condiciones de agrietamiento de la superficie de la lámina de aleación de temple A T3 doblada en diferentes relaciones de curvatura y diferentes direcciones longitudinales (L) y Transversal larga (LT). Se pueden observar pequeñas grietas para una relación de flexión baja de 1,6*t, pero no se observan grietas en la relación de flexión de 1,88*t.

La Tabla 8 muestra el rendimiento de flexión de las láminas de temple T3 para ambas direcciones Longitudinal y Transversal larga, en dos niveles de estiramiento diferentes después del templado (2 % y 6 %) y varias relaciones de curvatura. Para las aleaciones de la invención, se pueden encontrar algunas grietas en relaciones de curvatura de 1,6*t a 1,88*t; para la aleación AA2198 de resistencia mucho más baja, no se encuentran grietas a 1,25*t. Las aleaciones A y B tienen el mismo rendimiento de flexión. La aleación 2198 tiene un rendimiento de flexión ligeramente mejor en comparación con la aleación de la invención, pero con una resistencia mucho menor. También tenga en cuenta que con el contenido de Ag en 2198, también es una aleación mucho más costosa de producir.

Tabla 8

40	Aleación	Temple	Estiramiento	Dirección de prueba	Agrietamiento superficial de la muestra doblada			
					1,25 Mg (1,25 t)	1,6 Mg (1,6 t)	1,88 Mg (1,88 t)	2,4 Mg (2,4 t)
45	Aleación A	T3	2,0 %	L	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
	Aleación A	T3	2,0 %	LT	Grieta	Grieta	Grieta	Sin grieta
	Aleación A	T3	6,0 %	L	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
	Aleación A	T3	6,0 %	LT	Grieta	Grieta	Grieta	Sin grieta
50	Aleación B	T3	2,0 %	L	Grieta	Grieta	Sin grieta	Sin grieta
	Aleación B	T3	2,0 %	LT	Grieta	Grieta	Grieta	Sin grieta
	2198	T3	2,0 %	L	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
	2198	T3	2,0 %	LT	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
60	2198	T3	6,0 %	L	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
	2198	T3	6,0 %	LT	Grieta	Sin grieta	Sin grieta	Sin grieta
	Especificación 2024-T3 (AMS4037)				2,5 Mg (2,5t)			

Las aleaciones de la invención tienen un mejor rendimiento de flexión que las láminas ampliamente usadas 2024 T3, donde la relación de flexión mínima requerida por la especificación de la industria AMS 4037 es 2,5 Mg (2,5*t).

La Figura 3 es un gráfico que muestra el Diagrama de Límite de Formación (FLD) de la lámina de la invención de temple A T3. El FLD se evaluó según la especificación ASTM E2218-02 (Reaprobada 2008). Se generó una curva de límite de formación (FLC) por los puntos identificados mediante el estrechamiento de las muestras.

La resistencia a la fractura se evaluó en base a ASTM E561 -10e2 y ASTM B646-06a. El espécimen comúnmente usado de 406 mm (16") de ancho y 10,2 cm (4") de largo se usó para la prueba de resistencia a la fractura por tensión agrietada en el centro de la lámina de 1,27 mm (0,05") de grosor. La Figura 4 es un gráfico que muestra la resistencia efectiva al agrietamiento K_{Reff} en función de la extensión efectiva de la grieta (D_{aeff}) de la aleación de la invención A y 2198 en temple T8. Los datos de 7075-T6 del Manual de ASM (ASM Handbook Volumen 19: Fatigue and Fracture R.J. Bucci y otros. Páginas 771-812) también se adicionaron a la Figura 4. La aleación de la invención en la lámina de temple T8 tiene una mejor resistencia a la fractura que 7075-T6, pero menos de la lámina 2198-T8. Esto es consistente con el objetivo de "alta resistencia - tolerancia al daño media" de las aleaciones de la invención, cuando el AA2198 es una aleación de "resistencia media - alta tolerancia al daño".

La tasa de crecimiento de grietas por fatiga (FCGR) se evaluó en base a ASTM E647-08 (9.1). La Figura 5 es un gráfico que muestra el da/dN como una función del factor de intensidad de tensión de las láminas de temple T8 tanto de la Aleación A de la invención como de la 2198 en orientaciones T-L y L-T. Los resultados de las pruebas de 2198 y la Aleación A de la Figura 5 se basaron en una relación de estrés de 0,1 y una frecuencia de 10 Hz. Los datos de 7075-T6 del Manual de ASM (ASM Handbook Volumen 19: Fatigue and Fracture R.J. Bucci y otros. Páginas 771-912) también se adicionaron a la Figura 5. La aleación de la invención tiene un mejor rendimiento de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga que la lámina 7075-T6, pero es comparable o solo ligeramente peor que la aleación 2198.

La resistencia a la corrosión se evaluó mediante las pruebas MASTMASSIS. La prueba MASTMASSIS se considera generalmente un buen método representativo de corrosión acelerada para aleaciones basadas en Al-Li.

La prueba MASTMASSIS se basó en ASTM G85-11 Anexo-2 en condiciones de fondo seco. El tamaño de la muestra fue de 1,3 mm (0,050") de grosor x 101,6 mm (4,0") L x 101,0 (4,0") LT. La temperatura de la cámara de exposición durante la duración de la prueba fue de 49 ± 2 °C. La aleación de temple T8 2198 y la aleación A se probaron en ubicaciones T/2 (centro de grosor) y T/10 (1/10 de grosor desde la superficie). Los tiempos de duración de la prueba fueron 24, 48, 96, 168, 336, 504 y 672 horas.

La Figura 6 es una imagen de imágenes de superficie típicas después de 672 horas de tiempo de exposición de prueba MASTMASSIS tanto para la aleación A de la invención como para la aleación 2198 en la ubicación T/2. La aleación A de la invención tiene una tasa de corrosión por picadura y 2198 tiene una tasa de corrosión por picadura fuerte. La Figura 7 muestra la microestructura de las muestras después de 672 horas de tiempo de exposición de prueba MASTMASSIS tanto para la aleación A de la invención de temple T8 como para la aleación 2198 en la ubicación T/2. No se pueden observar características de exfoliación.

La Tabla 9 resume las clasificaciones de corrosión de la prueba MASTMASSIS tanto para la aleación de la invención como para la aleación 2198 en temple T8.

Tabla 9

Aleación	% de estrechamiento	Ubicación	Horas de exposición MASTMASSIS						
			24	48	96	168	336	504	672
Aleación A	2	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
	6	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
2198	2-6	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras fuertes
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras fuertes

Si bien se han descrito modalidades de la invención específicas, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alteraciones a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la descripción. En consecuencia, las disposiciones particulares descritas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitantes en cuanto al alcance de la invención, a la que se le debe dar toda la amplitud de las reivindicaciones adjuntas.

Las aleaciones de la invención tienen un mejor rendimiento de flexión que las láminas 2024 T3 ampliamente usadas, donde la relación de flexión mínima requerida por la especificación de la industria AMS 4037 es 2,5"t.

La Figura 3 es un gráfico que muestra el Diagrama de Límite de Formación (FLD) de la lámina de la invención de temple A T3. El FLD se evaluó según la especificación ASTM E2218-02 (Reaprobada 2008). Se generó una curva de límite de formación (FLC) por los puntos identificados mediante el estrechamiento de las muestras.

La resistencia a la fractura se evaluó en base a ASTM E561-10e2 y ASTM B646-06a. El espécimen comúnmente usado de 406 mm (16") de ancho y 10,2 cm (40") de largo se usó para la prueba de resistencia a la fractura por tensión agrietada en el centro de la lámina de 1,27 mm (0,05") de grosor. La Figura 4 es un gráfico que muestra la resistencia efectiva al agrietamiento K_{Reff} en función de la extensión efectiva de la grieta (D_{aeff}) de la aleación de la invención A y 2198 en temple T8. Los datos de 7075-T6 del Manual de ASM (ASM Handbook Volumen 19: Fatigue and Fracture R.J. Bucci y otros. Páginas 771-812) también se adicionaron a la Figura 4. La aleación de la invención en la lámina de temple T8 tiene una mejor resistencia a la fractura que 7075-T6, pero menos de la lámina 2198-T8. Esto es consistente con el objetivo de "alta resistencia - tolerancia al daño media" de las aleaciones de la invención, cuando el AA2198 es una aleación de "resistencia media - alta tolerancia al daño".

La tasa de crecimiento de grietas por fatiga (FCGR) se evaluó en base a ASTM E647-08 (9.1). La Figura 5 es un gráfico que muestra el da/dN como una función del factor de intensidad de tensión de las láminas de temple T8 tanto de la Aleación A de la invención como de la 2198 en orientaciones T-L y L-T. Los resultados de las pruebas de 2198 y la Aleación A de la Figura 5 se basaron en una relación de estrés de 0,1 y una frecuencia de 10 Hz. Los datos de 7075-T6 del Manual de ASM (ASM Handbook Volumen 19: Fatigue and Fracture R.J. Bucci y otros. Páginas 771-912) también se adicionaron a la Figura 5. La aleación de la invención tiene un mejor rendimiento de resistencia al crecimiento de grietas por fatiga que la lámina 7075-T6, pero es comparable o solo ligeramente peor que la aleación 2198.

La resistencia a la corrosión se evaluó mediante las pruebas MASTMASSIS. La prueba MASTMASSIS se considera generalmente un buen método representativo de corrosión acelerada para aleaciones basadas en Al-Li.

La prueba MASTMASSIS se basó en ASTM G85-11 Anexo-2 en condiciones de fondo seco. El tamaño de la muestra fue de 1,3 mm (0,050") de grosor x 4,0" L x 4,0" LT. La temperatura de la cámara de exposición durante la duración de la prueba fue de 49 ± 2 °C. La aleación de temple T8 2198 y la aleación A se probaron en ubicaciones T/2 (centro de grosor) y T/10 (1/10 de grosor desde la superficie). Los tiempos de duración de la prueba fueron 24, 48, 96, 168, 336, 504 y 672 horas.

La Figura 6 es una imagen de imágenes de superficie típicas después de 672 horas de tiempo de exposición de prueba MASTMASSIS tanto para la aleación A de la invención como para la aleación 2198 en la ubicación T/2. La aleación A de la invención tiene una tasa de corrosión por picadura y 2198 tiene una tasa de corrosión por picadura fuerte. La Figura 7 muestra la microestructura de las muestras después de 672 horas de tiempo de exposición de prueba MASTMASSIS tanto para la aleación A de la invención de temple T8 como para la aleación 2198 en la ubicación T/2. No se pueden observar características de exfoliación.

La Tabla 9 resume las clasificaciones de corrosión de la prueba MASTMASSIS tanto para la aleación de la invención como para la aleación 2198 en temple T8.

Tabla 9

Aleación	% estiramiento	Ubicación	Horas de exposición MASTMASSIS						
			24	48	96	168	336	504	672
Aleación A	2	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
	6	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
2198	2	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras
	6	T/2	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras fuertes
		T/10	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras	Picaduras fuertes

Si bien se han descrito modalidades de la invención específicas, los expertos en la técnica apreciarán que podrían desarrollarse diversas modificaciones y alteraciones a esos detalles a la luz de las enseñanzas generales de la descripción. En consecuencia, las disposiciones particulares descritas pretenden ser únicamente ilustrativas y no limitantes en cuanto al alcance de la invención, a la que se le debe dar toda la amplitud de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una aleación de aluminio-litio de alta resistencia, alta conformabilidad y bajo coste que comprende:
 5 de 3,6 a 4,5 % en peso de Cu,
 de 0,8 a 1,6 % en peso de Li,
 de 0,9 a 1,5 % en peso de Mg,
 menos de 0,2 % en peso de Ag,
 de 0,03 a 0,6 % en peso de al menos un elemento de control de la estructura del grano seleccionado del grupo
 10 que consiste en Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de las tierras raras,
 opcionalmente hasta 0,5 % en peso de Zn,
 opcionalmente hasta 1,0 % en peso de Mn,
 hasta 0,15 % en peso de Ti,
 hasta 0,12 % en peso de Si,
 hasta 0,15 % en peso de Fe, siendo el resto aluminio e impurezas inevitables.
2. La aleación de aluminio y litio de la reivindicación 1, en donde el contenido de Cu en la aleación es de 3,6 a 4,2
 % en peso.
3. La aleación de aluminio y litio de la reivindicación 1 o 2, en donde el contenido de Li en la aleación es de 0,9 a
 20 1,5 % en peso.
4. La aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde el contenido de Mg en la
 aleación es de 0,9 a 1,2 % en peso.
- 25 5. La aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el elemento de control de la
 estructura del grano seleccionado del grupo que consiste en Zr, Sc, Cr, V, Hf y otros elementos del grupo de
 las tierras raras es de al menos 0,05 % en peso.
- 30 6. La aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde el contenido de Si en la
 aleación es como máximo 0,05 % en peso y/o el contenido de Fe en la aleación es como máximo 0,08 % en
 peso.
7. La aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el contenido de Ag en la
 aleación es inferior a 0,1 % en peso.
- 35 8. La aleación de aluminio y litio de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el contenido de Ag en la aleación
 es inferior a 0,05 % en peso.
9. La aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en donde no se adiciona Ag
 40 intencionalmente a la aleación de aluminio.
10. Un producto en lámina, bobina, laminado, extruido o forjado hecho de la aleación de aluminio y litio de
 cualquiera de las reivindicaciones 1-9 y que tiene un grosor de 0,25 mm (0,01") a 6,32 mm (0,249").
- 45 11. El producto en lámina, bobina, laminado, extruido o forjado de la reivindicación 10, en donde dicha aleación de
 aluminio y litio tiene un grosor máximo de 3,17 mm (0,125").
12. Un método para fabricar una lámina de aluminio y litio de alta resistencia, alta conformabilidad y bajo coste, el
 50 método comprende:
 a. fundir un lingote de la aleación de aluminio y litio de cualquiera de las reivindicaciones 1-9 para producir un
 material fundido;
 b. homogeneizar a temperaturas de 454 a 549 °C (850 a 1020 °F) el material fundido para producir un material
 fundido homogeneizado;
 55 c. trabajar en caliente el material fundido homogeneizado mediante uno o más métodos seleccionados del
 grupo que consiste en laminado, extrusión y forjado formando un material trabajado, dicha etapa de trabajo en
 caliente es el laminado en caliente a una temperatura de 343 a 499 °C (650 a 930 °F);
 d. opcionalmente laminar en frío el material trabajado, siendo dicha etapa de trabajo en frío opcionalmente la
 reducción en frío a 20 % a 95 %;
 e. tratar térmicamente en solución (SHT) en un intervalo de temperatura de 454 a 543 °C (850 a 1010 °F) el
 60 material trabajado, opcionalmente laminado en frío para producir un material SHT;
 f. templar con agua fría dicho material SHT para producir un material SHT templado con agua fría;
 g. opcionalmente estirar el material SHT templado con agua fría, dicha etapa de estirado es opcionalmente un
 estiramiento de hasta un 15 %, y
 65 h. envejecer artificialmente el material SHT opcionalmente estirado, templado con agua fría, dicha etapa de
 envejecimiento se lleva a cabo a 121 a 205 °C (250 a 400 °F) y el tiempo de envejecimiento puede estar en el
 intervalo de 2 a 60 horas.

13. El método de la reivindicación 12, en donde
dicha etapa de homogeneización se lleva a cabo a temperaturas de 482 a 543 °C (900 a 1010 °F);
dicha etapa de trabajo en caliente es el laminado en caliente a una temperatura de 357 a 482 °C (675 a 900 °F);
5 dicha etapa de trabajo en frío opcionalmente es la reducción en frío a 40 % a 90 %;
dicha etapa de tratamiento térmico en solución (SHT) se lleva a cabo en un intervalo de temperatura de 482 a 538 °C (900 a 1000 °F);
dicha etapa de estiramiento es opcionalmente un estiramiento de 2 a 8 %; y/o
10 dicha etapa de envejecimiento se lleva a cabo a 135 a 193 °C (275 a 380 °F) y el tiempo de envejecimiento puede estar en el intervalo de 10 a 48 horas.
14. El método de la reivindicación 12 o 13, en donde
dicha etapa de homogeneización se lleva a cabo a temperaturas de 496 a 538 °C (925 a 1000 °F);
dicha etapa de trabajo en caliente es el laminado en caliente a una temperatura de 371 a 466 °C (700 a 870 °F);
15 dicha etapa de tratamiento térmico en solución (SHT) se lleva a cabo en un intervalo de temperatura de 493 a 532 °C (920 a 990 °F);
dicha etapa de envejecimiento se lleva a cabo a 149 a 182 °C (300 a 360 °F) y el tiempo de envejecimiento puede estar en el intervalo de 10 a 48 horas.
20

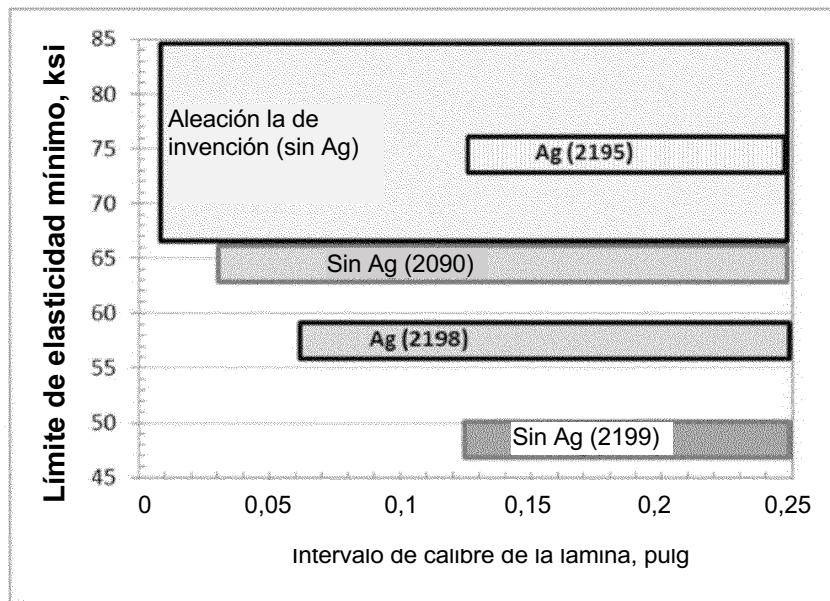


Figura 1

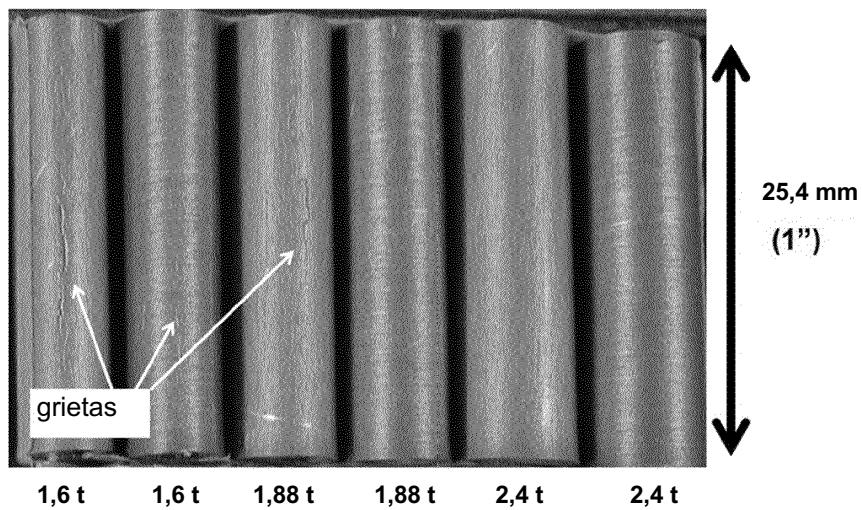


Figura 2

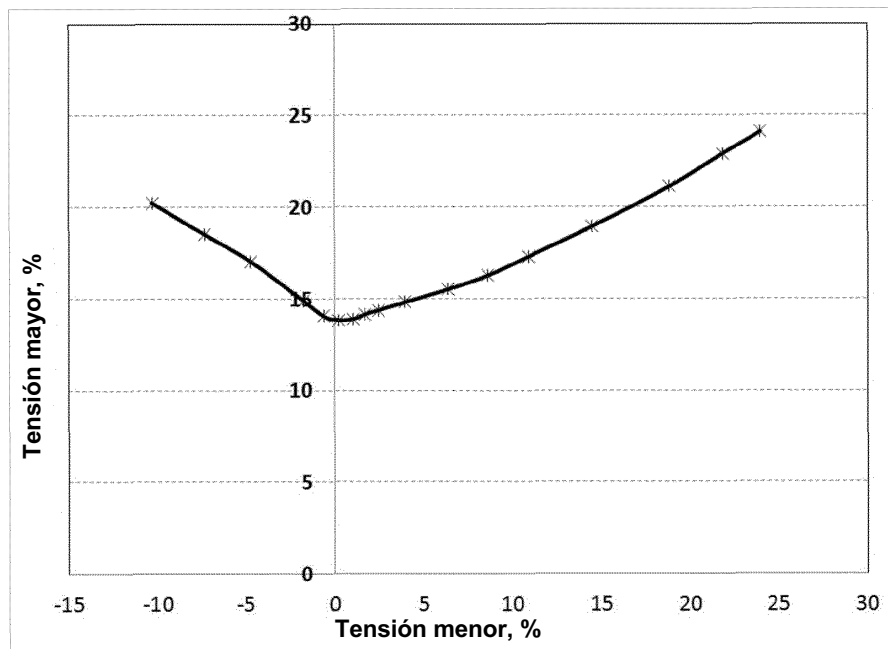


Figura 3

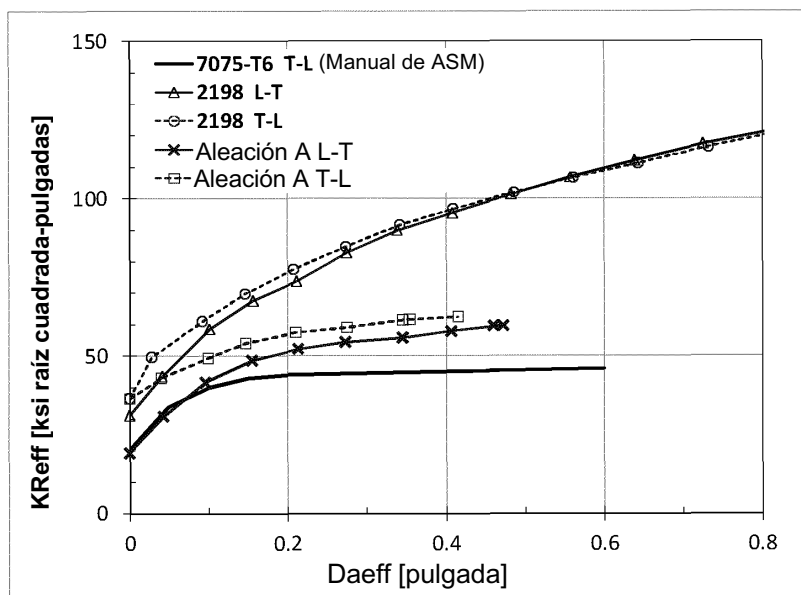


Figura 4

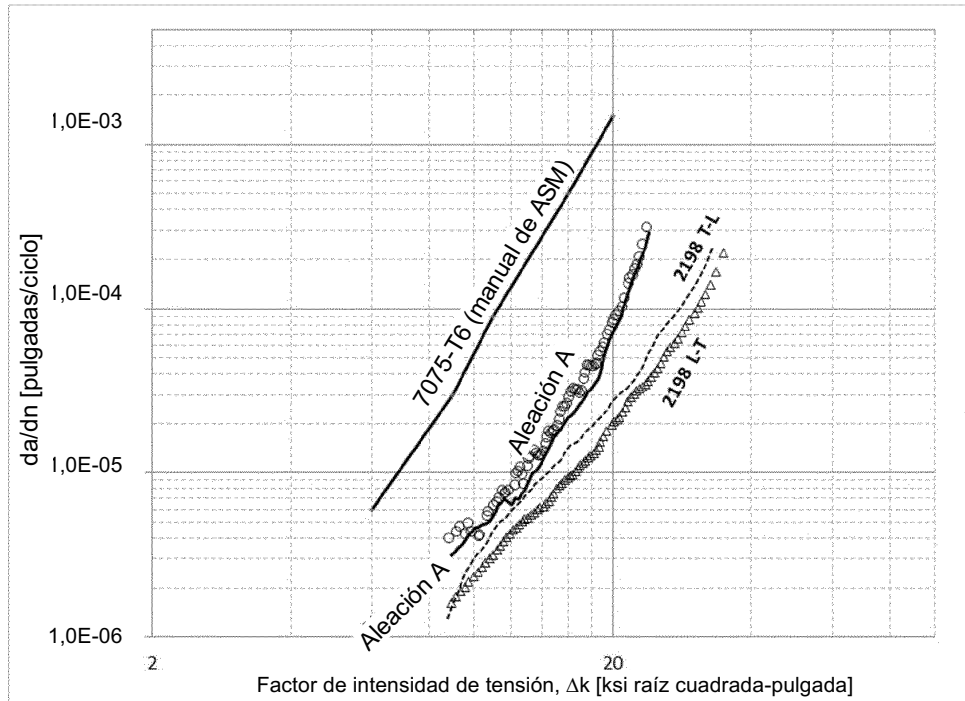


Figura 5

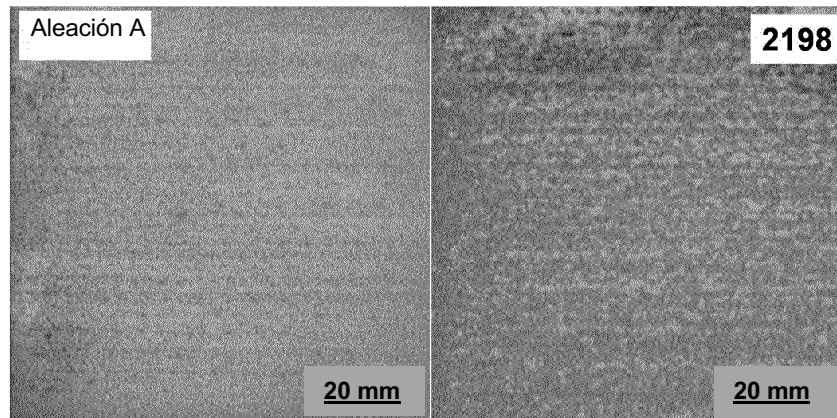


Figura 6

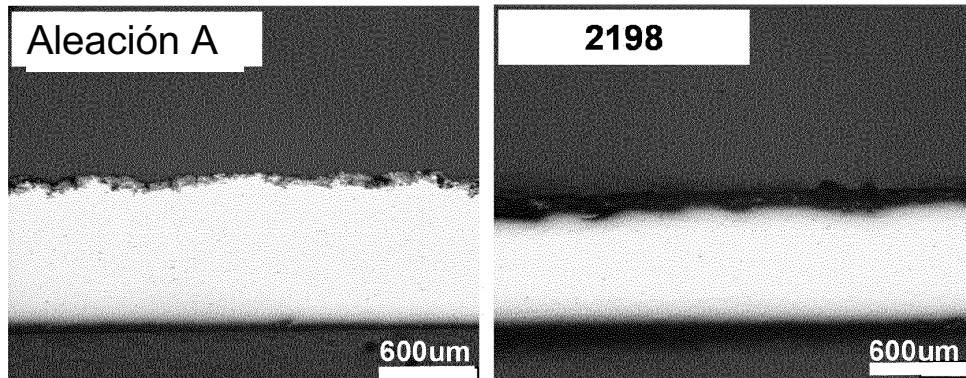


Figura 7