



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 293 848**

② Número de solicitud: 200650033

⑤ Int. Cl.:

**C22F 1/04** (2006.01)

**C22F 1/047** (2006.01)

**C22F 1/053** (2006.01)

**C22F 1/057** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

② Fecha de presentación: **29.10.2004**

③ Prioridad: **29.10.2003 EP 03078410**

④ Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.2008**

Fecha de la concesión: **08.04.2011**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:  
**31.03.2011**

⑤ Fecha de anuncio de la concesión: **20.04.2011**

⑥ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**20.04.2011**

⑦ Titular/es: **Corus Aluminium Walzprodukte GmbH  
Carl-Spaeter-Strasse 10  
56070 Koblenz, DE**

⑧ Inventor/es: **Heinz, Alfred Ludwig;  
Haszler, Alfred Johann Peter;  
Weber, Guido;  
Christian, Joachim, Keidel y  
Benedictus, Rinze**

⑨ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

⑩ Título: **Método para producir un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño.**

⑪ Resumen:

Método para producir un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño.

La presente invención se refiere a un método para fabricar un producto laminado de una aleación de aluminio de gran tolerancia al daño que tiene una gran tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga, que comprende las etapas de

a) fundir un lingote que tiene una composición seleccionada del grupo constituido por aleaciones de las series AA2000, AA5000, AA6000 y AA7000;

b) homogeneizar y/o precalentar el lingote después de fundir;

c) laminar en caliente el lingote en un producto laminado en caliente y, opcionalmente, laminar en frío el producto laminado en caliente en un producto laminado en frío, caracterizado porque el producto laminado en caliente sale del tren de laminar en caliente a una temperatura de salida del tren de laminar en caliente ( $T_{Salida}$ ) y enfriar el producto laminado en caliente desde dicha  $T_{Salida}$  hasta 150°C con un ciclo de enfriamiento controlado con una velocidad de enfriamiento que entra dentro del intervalo definido por:

$$T(t) = 50 - (50 - T_{Salida}) e^{\alpha \cdot t}$$

y en la que  $T(t)$  es la temperatura (°C) en función del tiempo (horas),  $t$  es el tiempo (horas) y  $\alpha$  está en el intervalo de  $-0,09 \pm 0,05$  (horas<sup>-1</sup>).

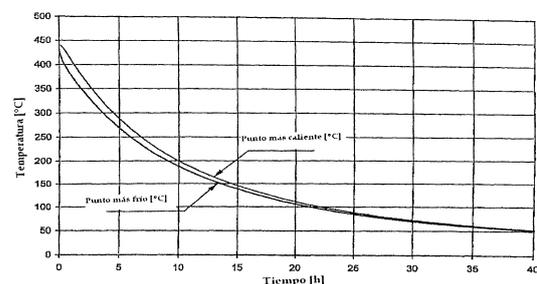


Fig. 1

ES 2 293 848 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 40.2.8 LP.

# ES 2 293 848 B2

## DESCRIPCIÓN

Método para producir un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño.

5 La presente invención describe un método para fabricar un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño que tiene una buena tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga mientras mantiene buenos niveles de resistencia y a un producto en lámina o chapa de aleación de aluminio que tiene una gran tenacidad de este tipo y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga. Además, la invención se refiere al uso de un producto de aleación obtenido por el método de esta invención.

10 En la técnica se conoce el uso de aleaciones de aluminio termotratables en numerosas aplicaciones que implican resistencia relativamente alta tales como fuselajes de aviación, miembros de vehículos y otras aplicaciones. Las aleaciones de aluminio AA2024, AA2324 y AA2524 son aleaciones de aluminio termotratables muy conocidas que tienen útiles propiedades de resistencia y tenacidad en revenidos T3, T39 y T351. También, las aleaciones de aluminio AA6013 y AA6056 son aleaciones de aluminio termotratables muy conocidas que tienen útiles propiedades de resistencia y tenacidad así como una buena resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga en ambos revenidos T4 y T6.

15 Es sabido que el estado revenido T4 se refiere a un estado termotratado por solubilización y templado, envejecido de forma natural hasta un nivel de propiedades sustancialmente estable, mientras el revenido T6 se refiere a un estado más fuerte producido por un envejecimiento de forma artificial.

20 Otras diversas aleaciones de las series AA2000 y AA6000 son, generalmente, inadecuadas para el diseño de una aviación comercial que requiera diferentes conjuntos de propiedades para diferentes tipos de estructuras. Dependiendo de los criterios de diseño para un particular componente del avión, incluso pequeñas mejoras en la tenacidad y en la resistencia al crecimiento de una grieta, específicamente para elevados valores de  $\Delta K$ , dan como resultado ahorros de peso, que se traduce en economía de combustible durante el tiempo de vida de la aeronave y/o un mayor nivel de seguridad. Especialmente para la piel del fuselaje o para la piel de la parte inferior de las alas es necesario tener propiedades tales como buena resistencia a la propagación de una grieta en forma de tenacidad a la fractura o en la de resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga. Un producto de aleación laminada bien usada como una lámina o como una chapa con mejoradas propiedades de tolerancia al daño mejorará la seguridad de los pasajeros, reducirá el peso de la aeronave y dará como resultado un intervalo de vuelo más largo, menores costes e intervalos de mantenimiento menos frecuentes.

25 El documento US-5.213.639 describe un método para producir una aleación de aluminio de la serie AA2000 con una aleación de base aluminio que es laminada en caliente, calentada y de nuevo laminada en caliente, obteniendo por ello buenas combinaciones de resistencia junto con gran tenacidad a la fractura y una baja velocidad de crecimiento de una grieta de fatiga. Se describe aplicar un tratamiento de inter-recocido después de laminar en caliente el lingote fundido con una temperatura entre 479°C y 524°C y de nuevo laminar en caliente la aleación inter-recocida. Se informa que tal aleación tiene una mejora del 5% sobre las aleaciones convencionales de la serie AA2024 en tenacidad a la fractura T-L y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga a ciertos niveles de  $\Delta K$ .

30 Se ha informado que la conocida aleación AA6056 es sensible a corrosión intercrystalina en el estado de revenido T6. Para superar este problema, el documento US-5.858.134 proporciona un proceso para la fabricación de productos laminados o extruidos que tienen una composición química definida, y por ello los productos se llevan a un estado de revenido sobre-envejecido que al final requiere tiempos de procesado que consumen tiempo y dinero del fabricante de componentes aeroespaciales. Aquí, se informa que para obtener la mejorada resistencia a la corrosión inter-crystalina es esencial para los procesos que en la aleación la relación Mg/Si es menor que 1.

35 El documento US-4.589.932 describe un producto de aleación forjada de aluminio, por ejemplo estructuras de automoción y aeroespaciales, cuya aleación se registró posteriormente bajo la designación 6013 de AA. Tal aleación de aluminio ha sido termotratada por solubilización a una temperatura en el intervalo de 449°C a 582°C, que se acerca a la temperatura del sólido de la aleación.

40 El documento EP-A-1143027 describe un método para fabricar una aleación de Al-Mg-Si de la serie AA6000 que tiene una composición química definida y en donde los productos se someten a un método de envejecimiento artificial para mejorar la aleación y cumplir características de gran tolerancia al daño ("HDT", en inglés) similares a las de la serie AA2024 que se usan preferiblemente para aplicaciones aeronáuticas pero que no son soldables. El método de envejecimiento está siendo optimizado usando una función respectiva de la composición.

45 El documento EP-1170394-A2 describe un producto de lámina de aleación de aluminio con una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga que tiene una microestructura anisótropa definida por granos que tienen una relación entre dimensiones de longitud frente a anchura mayor que aproximadamente 4. Tal aleación tiene una mejora en propiedades de resistencia límite a la compresión que se logra mediante los respectivos productos en lámina en comparación con los productos en lámina AA2524 convencionales. Por toda la estructura de grano muy anisótropa puede mejorarse la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga.

## ES 2 293 848 B2

El documento WO 97/22724 describe un método y un aparato para fabricar un producto en lámina de aleación de aluminio, típicamente para aplicación en automoción, con una resistencia límite mejorada al calentar de forma continua y rápida la lámina laminada en caliente y laminada en frío, que ha sido termotratada y templada, a una temperatura de pre-envejecimiento antes de la etapa de bobinado en continuo. Después de calentar rápidamente, la lámina en forma de bobina se enfría al ambiente, mejorando la respuesta al apelmazamiento de la pintura el calentamiento rápido y el enfriamiento al ambiente de la lámina de aleación de aluminio. Se describe que es preferible calentar rápidamente la lámina bobinada hasta entre 65°C y 121°C y escoger una velocidad de enfriamiento al ambiente y que es preferible que esté entre 1,1°C/h y 3,3°C/h.

El objeto de la presente invención es proporcionar un método para fabricar un miembro estructural de aleación de aluminio que tiene una tenacidad mejorada y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga manteniendo por ello los niveles de resistencia de aleaciones convencionales de las series AA2000, AA6000, AA5000 o AA7000. Más específicamente, el objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para fabricar aleaciones de aluminio de gran tolerancia al daño ("HDT") con equilibradas propiedades con relación a la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga, tenacidad, resistencia a la corrosión y resistencia. Las propiedades de HDT deben ser preferiblemente mejores que las de aleaciones convencionales fabricadas AA6013-T6 y 6056-T6 y preferiblemente mejores que las aleaciones AA2024-T3 ó AA2524-T3.

Más específicamente, hay un requisito general para las aleaciones de aluminio de la serie AA6000, preferiblemente dentro de la gama de aleaciones de aluminio de las series AA6013 y AA6056, cuando se usan para aplicaciones aeroespaciales, que la velocidad de crecimiento de una grieta de fatiga ("FCGR", en inglés) no debería ser mayor que un máximo definido. Una FCGR que cumple los requisitos de productos de aleación de la serie 2024 de gran tolerancia al daño es, por ejemplo, una FCGR inferior a 0,001 mm/ciclos a  $\Delta K = 20 \text{ MPa } \sqrt{\text{m}}$  y 0,01 mm/ciclos a  $\Delta K = 40 \text{ MPa } \sqrt{\text{m}}$ .

Es, todavía, un objeto adicional de la presente invención proporcionar un producto de aleación de aluminio laminado para su uso en la construcción de piezas estructurales en la industria de la aviación así como proporcionar un material piel para aviación fabricado a partir de tal aleación o proporcionar una pieza componente de un vehículo.

La presente invención resuelve uno o más de los objetos anteriormente mencionados mediante las características de las reivindicaciones independientes.

En un aspecto de la presente invención, se proporciona un método para producir un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño que tiene una gran tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga, que comprende las etapas de

a) fundir un lingote que tiene una composición seleccionada del grupo constituido por aleaciones de las series AA2000, AA5000, AA6000 y AA7000;

b) homogeneizar y/o precalentar el lingote después de fundir;

c) laminar en caliente el lingote en un producto laminado en caliente y,

opcionalmente, laminar en frío el producto laminado en caliente en un producto laminado en frío, caracterizado porque el producto laminado en caliente se bobina después de la laminación en caliente y sale del tren de laminar en caliente a una temperatura de salida del tren de laminar en caliente ( $T_{\text{Salida}}$ ), estando la temperatura de salida del tren de laminar en caliente en un intervalo de 350-500°C, y enfriar el producto laminado en caliente desde dicha  $T_{\text{Salida}}$  a 150°C o inferior con un ciclo de enfriamiento controlado con una velocidad de enfriamiento que entra dentro del intervalo definido por:

$$T(t) = 50 - (50 - T_{\text{Salida}}) e^{\alpha \cdot t}$$

en la que  $T(t)$  es la temperatura (°C) en función del tiempo en horas,  $t$  es el tiempo en horas y  $\alpha$  está en el intervalo de  $-0,09 \pm 0,05 \text{ horas}^{-1}$ , y en la que la temperatura de salida del tren de laminar en caliente está en el intervalo de aproximadamente 420 a 500°C para una aleación de la serie AA6xxx, y en la que la temperatura de salida del tren de laminar en caliente está en el intervalo de aproximadamente 350 a 425°C para aleaciones de las series AA2xxx y AA7xxx.

Se ha encontrado que por debajo de la temperatura de 150°C la velocidad de enfriamiento ya no es relevante para lograr una o más de las ventajas encontradas según esta invención.

Aunque las técnicas de la técnica anterior enseñan a la persona experta a fundir y laminar en caliente un lingote para obtener un producto en chapa o en lámina, en donde el lingote es, opcionalmente, precalentado u homogeneizado antes de laminar en caliente, el producto laminado en caliente pierde su temperatura elevada bastante rápidamente, comprometiendo por ello el comportamiento del producto. Se ha encontrado que manteniendo el producto laminado en caliente a una elevada temperatura durante un tiempo predeterminado para someterlo a un ciclo de enfriamiento controlado, las propiedades de tolerancia al daño como tenacidad y resistencia al crecimiento de grieta de un producto laminado de este tipo puede mejorarse de acuerdo con la presente invención.

## ES 2 293 848 B2

Típicas temperaturas de salida del tren de laminar en caliente en una práctica a escala industrial están en un intervalo de 350 a 500°C y son aleaciones dependientes, por ejemplo, para una AA6xxx la temperatura de salida estará en el extremo superior de este intervalo de aproximadamente 420 a 500°C, mientras para aleaciones de las series AA2xxx y AA7xxx ésta estaría en el extremo inferior de este intervalo de aproximadamente 350 a 425°C.

5 Una laminación en frío adicional del producto laminado en caliente enfriado en forma de bobina es opcional. La laminación en frío puede ser laminación lineal o cruzada. Etapas adicionales de inter-recocido antes, durante o después de la laminación en frío son también opcionales.

10 Además, es posible someter el producto laminado en caliente a bobinado para obtener una forma bobinada y lograr, por ello, una velocidad de enfriamiento controlada hasta que el producto sea enfriado a temperatura ambiente. Luego, es posible cortar en piezas elementales que se laminan luego en frío de forma adicional. El material que se fabrica mediante esta ruta de procesamiento inventiva exhibió un mejor equilibrio de características que los productos laminados en caliente que se cortaron en piezas elementales durante o después de laminar en caliente sin bobinar (ruta de la chapa estándar) o los productos que se bobinaron después de laminar en frío (ruta de la lámina estándar).

20 Una segunda alternativa para someter el producto laminado en caliente a un ciclo de enfriamiento controlado es la etapa de mover de forma continua la aleación a través de un horno después de laminar en caliente, en donde dicho horno es ajustable para aplicar calor y/o refrigeración a la aleación mientras pasa por su estación de laminación en frío o por su estación de bobinado.

25 En una alternativa adicional, el producto laminado se lamina primero en caliente a un calibre deseado y luego se enfría a temperatura ambiente usando refrigeración convencional. Después, el producto laminado en caliente enfriado se recalienta hasta una temperatura de salida del tren de laminar en caliente y luego se le deja enfriar por debajo de 150°C usando el ciclo de enfriamiento controlado según la invención y seguido de un procesamiento adicional.

30 Dependiendo de si se fabrican láminas o chapas, el producto laminado en caliente es alimentado a dicho horno después de laminar en caliente o bobinado después de bobinar en caliente donde el procesamiento adicional se hace en bobinas (ruta de la lámina). Si el producto se corta en chapas durante o después de laminar en caliente, el procesamiento adicional se hace sobre chapas producidas de ese modo.

35 El horno es, preferiblemente, ajustable para aplicar varias cantidades de calor junto a la estación de laminar en caliente y otras cantidades de calor a una distancia mayor de la estación de laminar en caliente, dependiendo de la velocidad de enfriamiento, del espesor y de otras dimensiones del producto laminado en caliente que sale de la estación de laminar en caliente.

40 Cuando el producto laminado en caliente se somete al ciclo de enfriamiento controlado bobinando es posible bobinar la aleación después de laminar en caliente en un horno respectivo, en donde dicho horno es, luego, también, preferiblemente, ajustable para aplicar calor para controlar el ciclo de enfriamiento.

45 En una realización, el producto laminado en caliente tiene un calibre en el intervalo de hasta 12 mm mientras sale del tren de laminar en caliente a la temperatura de salida del tren de laminar en caliente y, preferiblemente, en el intervalo de 1 a 10 mm, y lo más preferiblemente en el intervalo de 4 a 8 mm.

50 Donde el producto laminado está siendo sometido adicionalmente a una operación de laminar en frío, es preferible que la reducción de laminar en frío total esté en el intervalo del 40 a 70% para optimizar adicionalmente las propiedades mecánicas. El calibre final del producto de aleación laminada está preferiblemente en un intervalo de aproximadamente 2 a 7 mm.

El método de acuerdo con la presente invención puede incluir adicionalmente una o más de las siguientes etapas:

55 d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado del producto laminado en frío a una temperatura y tiempo suficientes para colocar en solución sólida los constituyentes solubles de la aleación;

60 e) templar el producto de aleación termotratada por solubilización mediante el templado por pulverización o el templado por inmersión en agua u otros medios de templado;

f) estirar o comprimir, opcionalmente, el producto de aleación templado o, de otro modo, trabajado en frío para liberar esfuerzos, por ejemplo nivelando los productos en lámina;

65 g) envejecer, opcionalmente, el producto de aleación templado y, opcionalmente, estirado o comprimido para lograr un revenido deseado, que dependa de la química de la aleación, pero incluye los revenidos T3, T351, T6, T4, T74, T76, T751, T451, T7651, T77 y T79.

## ES 2 293 848 B2

Además, es posible recocer y/o recalentar un lingote laminado en caliente después de una primera operación de laminar en caliente y, luego, de nuevo, laminar en caliente el producto hasta una calibre final laminado en caliente seguido de un enfriamiento según la invención. Es posible, además, inter-recocer el producto laminado en caliente antes y/o durante el laminado en frío. Estas técnicas, que son conocidas de la técnica anterior, pueden usarse, ventajosamente, en un método según la presente invención.

La velocidad de enfriamiento media cuando se usa el ciclo de enfriamiento controlado según la invención está en un intervalo de 12 a 20°C/hora.

En una realización de la presente invención, el lingote fundido para la ruta de procesado del método descrito en la presente memoria, comprende la siguiente composición (en % en peso): Si 0,6 - 1,3, Cu 0,04 - 1,1, Mn 0,1 - 0,9, Mg 0,4 - 1,3, Fe 0,01 - 0,3, Zr < 0,25, Cr < 0,25, Zn < 0,6, Ti < 0,15, V < 0,25, Hf < 0,25, otros elementos, en particular impurezas, cada una menos de 0,05 y menos de 0,20 en total, el resto aluminio. Y, más preferiblemente, aleaciones con el intervalo composicional de AA6013 o AA6056.

Otra realización de la presente invención usa un lingote que comprende la siguiente composición (en % en peso): Cu 3,8 - 5,2, Mg 0,2 - 1,6, Cr < 0,25, Zr < 0,25, y preferiblemente 0,06 - 0,18, Mn ≤ 0,50 y Mn: > 0, y preferiblemente >0,15, Fe ≤ 0,15, Si ≤ 0,15, y dispersoides que contienen Mn, y elementos incidentales e impurezas, cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total y el resto, esencialmente, y preferiblemente en donde los dispersoides que contienen Mn son al menos parcialmente reemplazados por dispersoides que contienen Zr.

Según otra realización de la presente invención el método usa un lingote que comprende la siguiente composición (en % en peso): Zn 5,0 - 9,5, Cu 1,0 - 3,0, Mg 1,0 - 3,0, Mn < 0,35, Zr < 0,25, y preferiblemente 0,06 - 0,16, Cr < 0,25, Fe < 0,25, Si < 0,25, Sc < 0,35, Ti < 0,10, Hf y/o V < 0,25, otros elementos, típicamente impurezas, cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total, el resto aluminio. Típicos ejemplos son las aleaciones dentro de la gama AA7040, AA7050 y AA7x75.

Según otro aspecto de la presente invención, se describe un producto de aleación de aluminio en láminas o chapas que tiene gran tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga y que se hace de un producto de aleación que se fabrica según un método que ha sido descrito anteriormente y que será descrito con mayor detalle en la presente memoria más adelante. Más específicamente, la presente invención es más adecuada para fabricar un producto en láminas de aleación laminada que es un miembro estructural de una aeronave o de un automóvil. El producto en láminas de aleación laminada de este tipo puede ser usado, por ejemplo, como piel del fuselaje de una aeronave o de una pieza componente de un vehículo.

Las anteriores y otras características y ventajas del método y productos de aleación según la presente invención llegarán a ser fácilmente evidentes de la siguiente descripción detallada de las realizaciones preferidas, y figuras, en las que

La Fig. 1 es una típica curva de enfriamiento de una aleación de aluminio enfriada después de laminar en caliente usando el método según esta invención.

### Ejemplos

#### Ejemplo 1

En una primera realización de la presente invención, se fundieron y procesaron para un producto en láminas dos aleaciones convencionales (AA6013 y AA6056). Aquí, se usaron dos variantes del proceso:

##### Ruta 1

Se usó una ruta del proceso normal mediante fundido en laboratorio de lingotes de las composiciones de las aleaciones convencionales AA6013 y AA6056. Bloques de 80 x 80 x 100 mm se aserraron, homogeneizaron, precalentaron y laminaron en caliente en láminas de 4,5 mm. Después de laminar en caliente, los productos laminados en caliente se enfriaron convencionalmente a temperatura ambiente dejando que la lámina se enfríe al aire ambiente a la temperatura ambiente, se alimentó la estación de laminado en frío, se laminó en frío a 2 mm y se termotrató durante 20 minutos a 550°C, más tarde se templó y se envejeció hasta un revenido T6 durante 4 horas a 190°C.

##### Ruta 2

Lingotes de las composiciones de las aleaciones AA6013 y AA6056 se fundieron en laboratorio y se aserraron a un tamaño de 80 x 80 x 100 mm. Estos bloques se homogeneizaron, se precalentaron y se laminaron en caliente a 4,5 mm. Una simulación del bobinado en caliente a escala industrial se incorporó dando el producto laminado en caliente una historia de temperatura similar a la que habría tenido una bobina en producción a escala industrial. Las otras etapas del proceso se mantuvieron similares a las de la Ruta 1. Después de laminar en frío, el producto laminado en frío se termotrató a 550°C durante 20 minutos, se templó y, posteriormente, se envejeció hasta un revenido T6 a 190°C durante 4 horas. Los resultados se dan en la Tabla 1.

# ES 2 293 848 B2

TABLA 1

*Vista general de la resistencia ( $R_p$ ,  $R_m$ ) usando pequeña tenacidad a la entalla Euronorm ( $TS/R_p$ ) y corrosión intergranular (IGC, en inglés) en profundidades y composiciones de aleaciones de los tipos 6013 y 6056 procesadas de acuerdo con la ruta 1 y ruta 2 descritas anteriormente, en dos diferentes lecturas de temperaturas de salida del tren de laminar en caliente*

Aleación n°	Ruta	Temperatura de salida del laminado en caliente (°C)	$R_p$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$TS/R_p$	Profundidad por IGC ( $\mu\text{m}$ )	Tipo de IGC
1 6013	2	490	354	390	1,75	101	P (I)
2	1	490	344	381	1,72	118	I
3	2	450	345	385	1,73	97	I
4	1	450	337	377	1,63	108	I
5 6056	2	490	347	386	1,85	112	I
6	1	490	349	388	1,79	177	I+
7	2	450	328	372	1,75	103	P (I)
8	1	450	331	375	1,70	143	I

De la Tabla 1 puede verse que los productos laminados exhibían mejor tenacidad a la entalla a temperaturas de laminación en caliente superiores manteniendo buenos niveles de resistencia límite a la tracción y de resistencia última a la tracción. Además, hay una mejora en la corrosión intergranular de manera que se han hecho ensayos adicionales en cuanto a la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga (Tabla 2).

TABLA 2

*Vista general de la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga ("FCGR", en inglés) para ejemplos n° 1, 2 y 5,6 de la Tabla 1 (temperaturas de laminación en caliente superiores) a dos diferentes niveles de  $\Delta K$*

Aleación	Ruta	Temperatura de salida de laminación en caliente (°C)	FCGR	FCGR
			$\Delta K=30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$	$\Delta K=40 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$
6013	2	490	1,83E-03	5,26E-03
	1	490	1,84E-03	8,88E-03
6056	2	490	1,62E-03	3,32E-03
	1	490	1,66E-03	4,89E-03

Aunque la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga de los productos inventivos es casi idéntica a la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga de un producto fabricado de acuerdo con la ruta de procesamiento estándar a niveles de  $\Delta K$  inferiores, la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga se mejora a valores de  $\Delta K$  superiores.

## ES 2 293 848 B2

De acuerdo con otra realización preferida de la presente invención se ha fabricado una composición de aleación de la serie AA6000 baja en cobre de gran tolerancia al daño en una prueba de producción a escala industrial. La composición se da en la Tabla 3.

5

TABLA 3

*Composición en % en peso de un producto en lámina de la serie AA6000 de gran tolerancia al daño, el resto aluminio e impurezas inevitables*

10

Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn
1,14	0,18	0,32	0,70	0,71	0,08

15

20 La aleación ha sido procesada a un producto en láminas con un calibre de laminación en caliente de 4,5 mm. Luego se aplicaron las siguientes tres variantes del proceso:

- Ruta 1. Una ruta de procesado estándar (ninguna etapa de bobinado después de laminar en caliente).
- Ruta 2. La ruta de procesado inventiva con bobinado después de laminar en caliente y laminar en caliente y laminar en frío en la misma dirección.
- Ruta 3. La ruta de procesado inventiva con bobinado después de laminar en caliente y laminar en caliente y laminar en frío en direcciones diferentes (laminación cruzada).

30

Las tres variantes de proceso anteriormente mencionadas se aplicaron a la siguiente ruta de procesado general:

- a. Fundido DC de lingotes de una composición de aleación de acuerdo con la Tabla 3.
- b. Homogeneizar los lingotes fundidos.
- c. Precalentar los lingotes homogeneizados durante 6 horas a 510°C y laminar, posteriormente, en caliente los lingotes precalentados resultando que la temperatura de salida es aproximadamente 450°C a un calibre de 4,5 mm.
- d1. Sin bobinar (=Ruta 1).
- d2. Bobinar, enfriar y cortar en chapas (=Ruta 2).
- d3. Bobinar, enfriar y cortar en chapas (=Ruta 3).
- e1. Laminar en frío a un calibre final de 2 mm (Ruta 1).
- e2. Laminar en frío en la misma dirección que la laminación en caliente a un calibre final de 2 mm (Ruta 2).
- e3. Laminar en frío en diferente dirección que la laminación en caliente (laminación cruzada) a un calibre final de 2 mm (Ruta 3).
- f. Termotratamiento de 550°C durante 2 horas.
- g. Estirar el producto laminado en frío de 1,5 a 2,5%.
- h. Envejecer hasta un estado de revenido T6 a 190°C durante 4 horas.

60

65

## ES 2 293 848 B2

TABLA 4

*Vista general de la resistencia ( $R_p$ ,  $R_m$ ) usando pequeña tenacidad a la entalla Euronorm ( $TS/R_p$ ) y corrosión intergranular (IGC) de un producto terminado con una aleación de acuerdo con la Tabla 3 y usando tres Rutas de procesado 1, 2 y 3 como se ha descrito anteriormente*

Ruta	$R_p$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$R_p$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	TS/ $R_p$ -	IGC Profundidad ( $\mu\text{m}$ )
	Dirección L		Dirección LT		Dirección T-L	
1	334	345	322	344	1,51	62
2	329	344	321	341	1,60	48
3	333	344	326	347	1,58	49

Aunque los niveles de resistencia pueden ser mantenidos, los productos laminados que se fabricaron de acuerdo con las Rutas 2 y 3 mostraron una mejor tenacidad a la entalla y un mejor comportamiento a la corrosión intergranular. Como consecuencia, la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga también se midió y se da en las Tablas 5 y 6.

TABLA 5

*La resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga en mm/ciclo para 5 diferentes valores de  $\Delta K$  para los productos producidos de acuerdo con las Rutas de procesado 1, 2 y 3 como se ha descrito anteriormente*

$\Delta K$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
10	1,52E-04	1,71E-04	1,78E-04
20	1,43E-03	8,58E-04	1,26E-03
30	6,14E-02	3,38E-03	5,17E-03
40	1,70E-02	9,54E-03	-
50	3,73E-02	1,85E-02	-

TABLA 6

*Valores de la Tabla 5, con respecto al estándar (Ruta 1)*

$\Delta K$ (MPa $\sqrt{\text{m}}$ )	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
10	100%	113%	1,78E-04
20	100%	60%	88%
30	100%	55%	84%
40	100%	56%	-
50	100%	50%	-

## ES 2 293 848 B2

Las muestras anteriormente identificadas muestran que las propiedades de tolerancia al daño de los productos en lámina o en chapa pueden ser mejoradas usando el método inventivo y que la resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga puede ser especialmente mejorada para valores de AK superiores.

### 5 Ejemplo 2

La Fig. 1 muestra una típica curva de enfriamiento en continuo para una aleación de aluminio AA7050 cuando se enfría desde una temperatura de salida de un tren de laminar en caliente de 440°C hasta una temperatura por debajo de 150°C, por la que la lámina de metal tiene un calibre de 4,5 mm y siendo inmediatamente bobinada cuando sale del tren de laminar en caliente de acuerdo con una realización del método de esta invención. La anchura de la bobina era de 1,4 metros. Las temperaturas de la bobina en función del tiempo se dan también en la Tabla 7 para el punto más caliente de una bobina (estando en el centro, e indicado como Punto más caliente en la Fig. 1) y el punto más frío (estando en el borde de una bobina, e indicado como Punto más frío en la Fig. 1). La Tabla 7 proporciona también las temperaturas en el caso de una bobina que tiene una anchura de 2,8 metros.

Para la curva de enfriamiento mostrada en la Fig. 1,  $\alpha$  es aproximadamente  $-0,084 \text{ horas}^{-1}$ .

En el caso de una lámina con un calibre de aproximadamente 4,0 a 4,5 mm se dejó enfriar desde la temperatura de salida del tren de laminar en caliente hasta por debajo de 150°C usando la práctica de enfriamiento convencional, viz., dejando que la chapa se enfríe en aire estacionario normal después de salir del tren de laminar en caliente sin ninguna operación de bobinado o similar,  $\alpha$  estaría típicamente en el intervalo de  $-0,5$  a  $-2 \text{ horas}^{-1}$ , y dando como resultado que la chapa de este tipo se enfriaría desde la temperatura de salida del tren de laminar en caliente hasta una temperatura de 150°C o menos en un período de tiempo de menos que 3 horas.

El ciclo de enfriamiento controlado sigue la ecuación señalada anteriormente y: en las reivindicaciones, y la velocidad de enfriamiento media de la forma de producto, bobinado desde 440 a 150°C está dentro del intervalo de 12 a 20°C/hora.

TABLA 7

*Temperaturas de bobinado en función del tiempo cuando se enfriaron de acuerdo con la invención para una aleación AA7050 que tiene un calibre cuando está siendo bobinado de 4,5 mm*

Tiempo (horas)	Anchura de bobina de 1,4 metros		Anchura de bobina de 2,8 metros	
	Punto más frío (°C)	Punto más caliente (°C)	Punto más frío (°C)	Punto más caliente (°C)
0	431	440	431	440
2	344	372	349	385
6	249	266	262	287
10	187	199	204	222
12	165	175	182	197
14	146	150	163	176
16	130	137	148	159
18	117	123	134	144

Habiendo descrito ahora la invención completamente, será evidente para el experto corriente en la técnica que pueden hacerse muchos cambios y modificaciones sin apartarnos del alcance o del espíritu de la invención descrita en la presente memoria.

# ES 2 293 848 B2

## REIVINDICACIONES

5 1. Método para producir un miembro estructural de aleación de aluminio de gran tolerancia al daño, gran tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga, que comprende las etapas de

- a) fundir un lingote que tiene una composición seleccionada del grupo que comprende aleaciones de las series AA2000, AA6000 y AA7000;
- 10 b) homogeneizar y/o pre-calentar el lingote después de fundir;
- c) laminar en caliente el lingote en un producto laminado en caliente y,

15 opcionalmente, laminar en frío el producto laminado en caliente en un producto laminado en frío, **caracterizado** porque el producto laminado en caliente se bobina después de la laminación en caliente y sale del tren de laminar en caliente a una temperatura de salida del tren de laminar en caliente ( $T_{\text{Salida}}$ ), estando la temperatura de salida del tren de laminar en caliente en un intervalo de 350-500°C, y enfriar el producto laminado en caliente desde dicha  $T_{\text{Salida}}$  a 150°C o inferior con un ciclo de enfriamiento controlado con una velocidad de enfriamiento que entra dentro del intervalo definido por:

$$20 \quad T(t) = 50 - (50 - T_{\text{Salida}}) e^{\alpha \cdot t}$$

25 en la que  $T(t)$  es la temperatura (°C) en función del tiempo en horas,  $t$  es el tiempo en horas y  $\alpha$  está en el intervalo de  $-0,09 \pm 0,05 \text{ horas}^{-1}$ , y en la que la temperatura de salida del tren de laminar en caliente está en el intervalo de aproximadamente 420 a 500°C para una aleación de la serie AA6xxx, y en la que la temperatura de salida del tren de laminar en caliente está en el intervalo de aproximadamente 350 a 425°C para aleaciones de las series AA2xxx y AA7xxx.

30 2. Método según la reivindicación 1, en el que  $\alpha$  está en el intervalo de  $-0,09 \pm 0,03 \text{ horas}^{-1}$ .

3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el producto laminado en caliente se somete a un ciclo de enfriamiento controlado, manteniendo con ello una temperatura elevada durante un tiempo predeterminado.

35 4. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el producto laminado en caliente se somete al ciclo de enfriamiento controlado moviendo, en forma continua, el producto laminado en caliente a través de un horno después de laminar en caliente, en donde dicho horno es ajustable para aplicar calor al producto laminado en caliente mientras pasa a una estación de laminar en frío o una estación de bobinado.

40 5. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el producto laminado en caliente se somete al ciclo de enfriamiento controlado bobinando el producto laminado en caliente después de laminar en caliente en un horno, en el que dicho horno es ajustable para controlar la velocidad de enfriamiento del producto laminado en caliente mientras se bobina.

45 6. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el producto laminado en caliente tiene un calibre en un intervalo de menos de 12 mm mientras sale del tren de laminar en caliente a la temperatura de salida del tren de laminar en caliente.

50 7. Método según la reivindicación 6, en el que el producto laminado en caliente tiene un calibre en un intervalo de 1 a 10 mm.

8. Método según la reivindicación 6, en el que el producto laminado en caliente tiene un calibre en un intervalo de 4 a 8 mm.

55 9. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el método incluye, adicionalmente, la etapa de proceso siguiente:

- d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado o del producto laminado en frío.

60 10. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el método incluye, adicionalmente, las etapas de proceso siguientes:

- 65 d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado o del producto laminado en frío;
- e) templar el producto de aleación termotratado por solubilización.

## ES 2 293 848 B2

11. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el método incluye, adicionalmente, las etapas de proceso siguientes:

- d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado o del producto laminado en frío;
- e) templar el producto de aleación termotratado por solubilización;
- f) estirar o comprimir el producto de aleación templado.

12. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el método incluye, adicionalmente, las etapas de proceso siguientes:

- d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado o del producto laminado en frío;
- e) templar el producto de aleación termotratado por solubilización;
- f) estirar o comprimir el producto de aleación templado;
- g) envejecer el producto de aleación templado y estirado o comprimido para lograr un revenido deseado.

13. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que el método incluye, adicionalmente, las etapas de proceso siguientes:

- d) termotratamiento por solubilización del producto laminado en caliente después de ser sometido al ciclo de enfriamiento controlado o del producto laminado en frío;
- e) templar el producto de aleación termotratado por solubilización;
- g) envejecer el producto de aleación templado y estirado o comprimido para lograr un revenido deseado.

14. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que la velocidad de enfriamiento media en el ciclo de enfriamiento controlado está en el intervalo de 12 a 20°C/hora.

15. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende la siguiente composición en porcentaje en peso:

Si	0,6-1,3
Cu	0,04-1,1
Mn	0,1-0,9
Mg	0,4-1,3
Fe	0,01-0,3
Zr	<0,25
Cr	<0,25
Zn	<0,6
Ti	<0,15
V	<0,25
Hf	<0,25,

y otros elementos cada uno menor que 0,05 y menor que 0,20 en total, el resto aluminio.

16. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende una aleación dentro de la gama composicional de AA6013 o AA6056.

## ES 2 293 848 B2

17. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende la siguiente composición en porcentaje en peso:

5	Cu	3,8-5,2
	Mg	0,2-1,6
	Cr	<0,25
10	Zr	<0,25
	Mn	$\leq 0,50$ y Mn: $>0$
	Fe	$\leq 0,15$
15	Si	$\leq 0,15$ ,

y otros elementos cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total, el resto aluminio.

20 18. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende la siguiente composición en porcentaje en peso:

25	Cu	3,8-5,2
	Mg	0,2-1,6
	Cr	<0,25
30	Zr	0,06-0,18
	Mn	$\leq 0,50$ y Mn: $>0,15$
	Fe	$\leq 0,15$
35	Si	$\leq 0,15$ ,

y otros elementos cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total, el resto aluminio.

40 19. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende la siguiente composición en porcentaje en peso:

45	Zn	5,0-9,5
	Cu	1,0-3,0
	Mg	1,0-3,0
50	Mn	<0,35
	Zr	<0,25
	Cr	<0,25
55	Fe	<0,25
	Si	<0,25
60	Se	<0,35
	Ti	<0,10
65	Hf y/o V	<0,25,

y otros elementos cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total, el resto aluminio.

## ES 2 293 848 B2

20. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende la siguiente composición en porcentaje en peso:

5	Zn	5,0-9,5
	Cu	1,0-3,0
	Mg	1,0-3,0
10	Mn	<0,35
	Zr	0,06-0,16
	Cr	<0,25
15	Fe	<0,25
	Si	<0,25
20	Se	<0,35
	Ti	<0,10
25	Hf y/o V	<0,25,

y otros elementos cada uno menor que 0,05 y menor que 0,15 en total, el resto aluminio.

21. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que se funde un lingote que comprende una aleación dentro de la gama composicional seleccionada del grupo de AA7040, AA7050 y AA7x75.

22. Un producto de lámina o chapa de aleación de aluminio que tiene una gran tenacidad y una mejorada resistencia al crecimiento de una grieta de fatiga, hecho de una aleación que se produce según un método como el reivindicado en la reivindicación 1 ó 2.

23. Un producto de lámina o chapa de aleación de aluminio laminado según la reivindicación 22, en el que dicho producto es un miembro estructural de una aeronave o de un automóvil.

24. Un producto de lámina o chapa de aleación de aluminio laminado según la reivindicación 22, en el que dicho producto es una piel de fuselaje de una aeronave o de una pieza componente de un vehículo.

25. Un producto de lámina o chapa de aleación de aluminio laminado según la reivindicación 22, en el que el producto de aleación laminado tiene una calibre final en el intervalo de 2 a 7 mm.

45

50

55

60

65

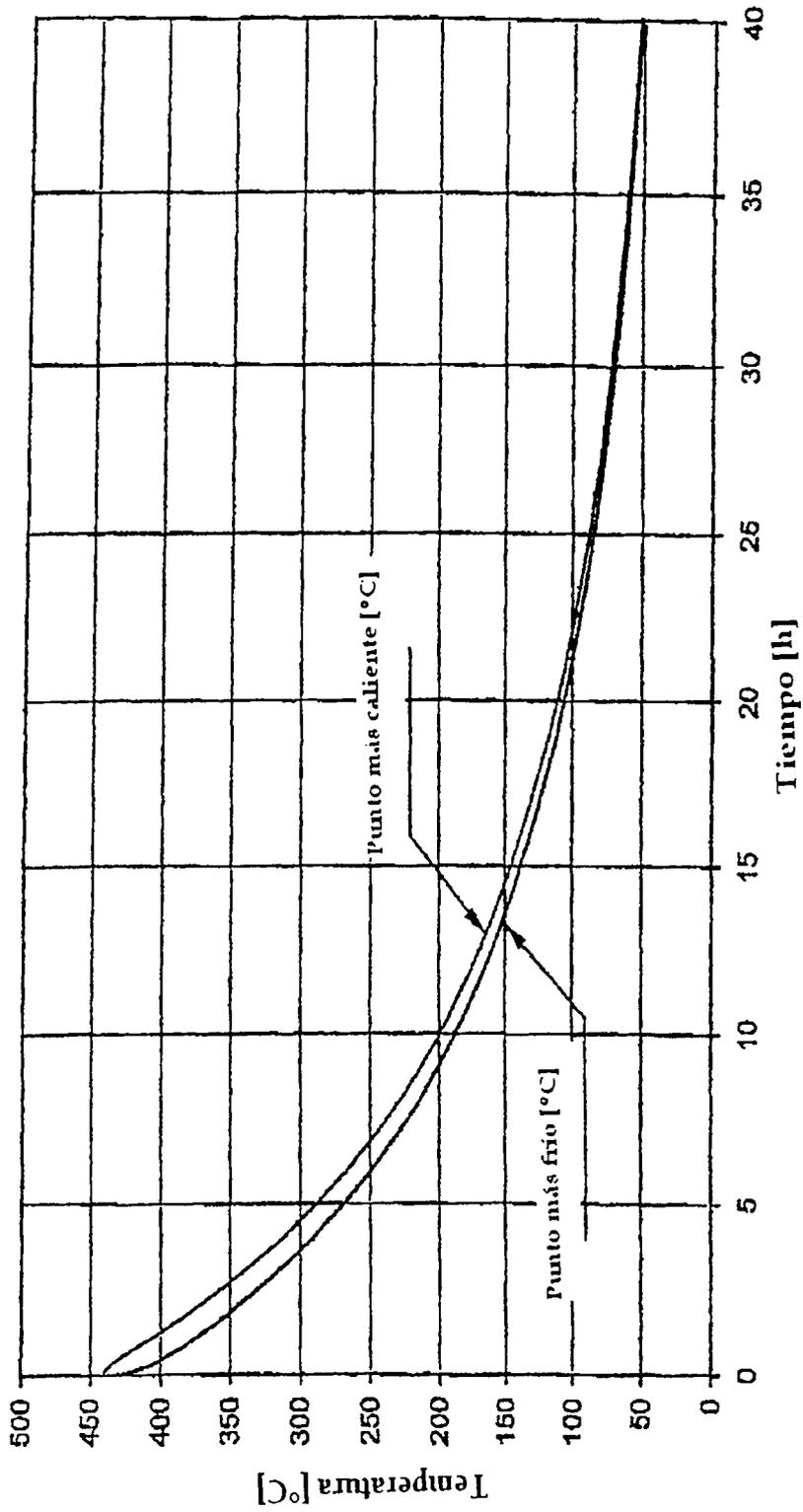


Fig. 1