

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 488 546**

51 Int. Cl.:

C22C 21/00 (2006.01)

C22C 21/08 (2006.01)

C22F 1/04 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2010 E 10717607 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 2563944**

54 Título: **Material de aluminio con tolerancia al daño que tiene una microestructura estratificada**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.08.2014

73 Titular/es:

**SAPA AB (100.0%)
Box 5505
114 85 Stockholm, SE**

72 Inventor/es:

**ZAJAC, STANISLAW y
BRAAM, JONAS**

ES 2 488 546 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

Material de aluminio con tolerancia al daño que tiene una microestructura estratificada

5 La presente invención se refiere a un material de aluminio con tolerancia al daño que tiene una microestructura estratificada así como a aleaciones de aluminio de tipo endurecibles por precipitación adecuadas para producir dicho material de aluminio y a un método para producir dicho material de aluminio.

Antecedentes

10 La invención se refiere a la producción de materiales de aluminio y en particular a la producción de materiales de aluminio forjados con tolerancia al daño.

15 Se conoce a partir de la técnica anterior que para materiales de aluminio producidos de manera convencional, la resistencia mecánica, la ductilidad y la tolerancia al daño en general están inversamente relacionadas entre sí, de modo que un nivel aumentado de resistencia a la tracción habitualmente deteriora la ductilidad y la tolerancia al daño.

20 En un método anterior conocido a partir del documento EP1987170, se usa una aleación que comprende el % en peso: Mn máx. 0,6, Cr máx. 0,3, Zr máx. 0,25, Mg 0,25-1,2, Si 0,3-1,4, Ti 0,1-0,4, en la que el Ti está presente en disolución sólida y están incluidas impurezas accidentales, incluyendo Fe y Zn, hasta el 0,5, siendo el resto Al. La razón Si/Mg preferida es de 1,4. La aleación se cuele para dar lingotes y luego se homogeneiza y los lingotes se extruyen para producir un material con propiedades de resistencia al aplastamiento mejoradas.

25 En el documento JP2008076297, se presenta un material extruido o laminado con resistencia al agrietamiento por corrosión con tensión. Las composiciones usadas en esta patente dan como resultado una microestructura convencional con una distribución homogénea de elementos de aleación. Esta patente también reivindica que la tasa de colada y la tasa de enfriamiento tras la colada deben ser altas para mantener pequeño el tamaño de grano de la estructura colada. No se produce un material de alta tolerancia al daño por el presente documento.

30 En el documento EP2103701, se usa una aleación de aluminio que comprende Si 0,68-0,77, Fe 0,16-0,24, Cu 0,24-0,32, Mn 0,68-0,77, Mg 0,58-0,67, Cr < 0,04, Zn < 0,1, Ti < 0,1, V < 0,04, otros elementos < 0,3, el resto Al para producir productos para la industria automotriz con un límite de elasticidad de más de 280 MPa.

Sumario de la invención

35 Es un objeto de la presente invención proporcionar condiciones para permitir la producción de un material de aluminio forjado con tolerancia al daño mejorada a la vez que se conserva la alta resistencia mecánica del material.

40 El objeto se consigue por medio de un material de aluminio colado según la reivindicación 1 independiente, y un método controlado de producción de un material de aluminio colado según la reivindicación 8 independiente. Se facilitan realizaciones mediante las reivindicaciones dependientes.

45 Por tanto, se consigue un material de aluminio forjado que tiene una microestructura que se compone de capas alternas con propiedades mecánicas significativamente diferentes que proporciona una combinación superior de resistencia mecánica, ductilidad y tolerancia al daño al material de aluminio forjado.

50 La estructura estratificada se forma mediante deformación de una aleación de aluminio endurecible por precipitación que comprende una estructura colada que se compone por granos que tienen dos zonas; una primera zona central enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera peritética con aluminio y una segunda zona, que rodea a la primera, enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera eutéctica con aluminio. Con el fin de conseguir un efecto de la estructura estratificada, la aleación de aluminio debe comprender elementos de aleación peritéticos con un coeficiente de distribución combinado superior a 3, preferentemente superior a 5 y lo más preferentemente superior a 8, a una proporción de más de 0,02 veces el contenido del % en peso de los elementos eutécticos.

55 La invención proporciona un material de aluminio de una aleación de aluminio endurecible por precipitación que comprende una estructura colada que se compone de granos, dendritas o células que tienen dos zonas diferenciadas con una primera zona central enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera peritética con aluminio y una segunda zona, que rodea a la primera zona, enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera eutéctica con aluminio, ocupando la primera zona el 1-85%, preferiblemente el 10-70%, lo más preferiblemente el 20-50% del volumen de lingote total medido en la sección transversal como colinas peritéticas en el contraste de interferencia en LOM.

65 La invención proporciona además un material de aluminio forjado producido mediante deformación del material de aluminio colado, mediante lo cual se produce un material con una microestructura estratificada, así como un método

para producir dicho material controlando la velocidad de colada para producir una estructura colada de dos zonas, ocupando la primera zona el 1-85%, preferiblemente el 10-70%, lo más preferiblemente el 20-50% del volumen total medido en la sección transversal como colinas peritéticas en el contraste de interferencia en LOM.

- 5 El material de aluminio forjado es un material candidato excelente especialmente en aplicaciones que requieren tolerancia al daño, tales como piezas para automóviles en las que la tolerancia al daño es un requisito previo.

Breve descripción de los dibujos

- 10 La figura 1 muestra un dibujo esquemático de una sección transversal del material recién colado según la presente invención, en el que A significa la zona central enriquecida en elementos peritéticos y B significa la zona circundante enriquecida en elementos eutécticos en un grano, y un dibujo esquemático de una estructura estratificada obtenida tras deformación.

- 15 La figura 2 muestra la redistribución de Mg+Si- en diferente áreas de un grano para la aleación de AlMgSi solidificada que contiene el 1,2% (Mg+Si) en función del contenido del % en peso de elementos de aleación peritéticos en estas áreas, revelada mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía.

- 20 Las figuras 3a y 3b comparan la tolerancia al daño en flexión de dos materiales de aluminio con el mismo nivel de resistencia mecánica, en las que a) muestra un material de aluminio convencional y b) muestra un material de aluminio según la presente invención, y en las que los números de referencia significan 1 grieta perpendicular, 2 grietas longitudinales detenidas pequeñas.

Descripción detallada de la invención

- 25 En esta invención el material de aluminio forjado con tolerancia al daño se compone de capas alternas con propiedades mecánicas significativamente diferentes que siguen siendo diferenciadas a nivel microscópico dentro de la estructura terminada, véase la figura 1. Esta estructura estratificada muestra un grado potenciado de tolerancia al daño a alta resistencia mecánica. La tolerancia al daño es una propiedad de una estructura que está relacionada con su capacidad para resistir defectos de manera segura.

- 30 La presente invención proporciona en un aspecto, un procedimiento para producir un material de aluminio con tolerancia al daño en el que el procedimiento de colada produce una estructura colada que se compone de granos que tienen dos zonas; en los que el 1-85% de su volumen consiste en una zona enriquecida en elementos peritéticos, denominada a continuación en el presente documento la "zona peritética" y el 15-99%, del volumen que consiste en una zona circundante enriquecida en elementos eutécticos, denominada a continuación en el presente documento la "zona eutéctica". El procedimiento de solidificación de la invención se denomina solidificación peritética extendida, y se ha encontrado que a una proporción dada de elementos de aleación peritéticos seleccionados en relación con los elementos eutécticos, se forma una estructura colada con dos zonas diferenciadas con composiciones diferentes dentro de cada grano, a diferencia de una estructura colada homogénea convencional. Esta solidificación peritética extendida conduce a una redistribución muy fuerte de los elementos de aleación, produciendo la estructura de dos zonas deseada. El desarrollo de la estructura de dos zonas depende del control del procedimiento de colada, por ejemplo la geometría de la colada, la velocidad de colada, el nivel de metal fundido y la temperatura de la masa fundida.

- 45 La zona peritética se define como un constituyente de la microestructura que tiene al menos el $0,02 \times [\% \text{ en peso de elementos eutécticos}] \times [\Sigma k \text{ de elementos peritéticos}]$, en la que Σk es el coeficiente de distribución combinado. Los elementos peritéticos pueden suprimir el contenido local de elementos eutécticos a una fracción del contenido de aleación. De esa manera se forma la microestructura de dos zonas deseada.

- 50 La figura 2 muestra un ejemplo de redistribución de elementos eutécticos dentro de un grano en función del contenido local de elementos de aleación peritéticos revelada mediante espectroscopía de rayos X por dispersión de energía para una aleación de AlMgSi con aproximadamente el 1,2% en peso de Mg+Si. Se observa claramente que cuando el contenido local de elementos de aleación peritéticos es superior al 0,2% entonces se forma una microestructura con dos zonas diferenciadas (la zona rica en Mg+Si y la zona pobre en Mg+Si), con una razón de Mg+Si entre la segunda y la primera zona de 1:2 o menos.

- 55 La resistencia mecánica de los elementos de aleación peritéticos está definida por sus coeficientes de distribución combinados Σk que deben ser superiores a 3, preferentemente superiores a 5 y lo más preferentemente superiores a 8, y por su contenido que debe ser superior al $0,02 \times [\% \text{ en peso de elementos de aleación eutécticos}]$, lo que permite una supresión del contenido local de elementos eutécticos en la zona peritética hasta $< 0,8 \times [\text{el contenido promedio de elementos de aleación eutécticos de la aleación en \% en peso}]$. Por debajo de un coeficiente de distribución de 3, no se produce la estructura de dos zonas. Si el coeficiente de distribución es de más de 3, pero de menos de 8, se forma la estructura de dos zonas pero es menos pronunciada y por tanto puede no proporcionar, para algunos casos, una estructura estratificada suficiente en el producto forjado.

El coeficiente de distribución combinado se calcula como una suma de los coeficientes individuales para un sistema binario a la temperatura peritética; (7,5 para Ti, 3,9 para V, 2,5 para Mo, 1,9 para Nb, 2,5 para Zr, 2 para Cr, 1,1 para Zn, 2,7 para W, 2,4 para Hf, 2,5 para Ta).

5 La tasa de solidificación de la aleación de aluminio endurecible por precipitación con la adición de elementos peritéticos durante la colada debe ser lenta para facilitar un tiempo suficiente para la redistribución descrita anteriormente y para producir una microestructura con al menos el 1% de zona peritética. El desarrollo de la estructura de dos zonas depende del control del procedimiento de colada, tal como se mencionó anteriormente, y por tanto de la tasa de solidificación. La tasa de solidificación debe ser preferiblemente tal que corresponda a una
10 tasa de colada de 90 mm/min como máximo en las condiciones de los ejemplos facilitados a continuación, haciéndose referencia especialmente a la tabla 2. En general, el tiempo de solidificación, es decir el tiempo entre el material completamente líquido y completamente solidificado, durante la colada debe controlarse a al menos 75 segundos, preferiblemente al menos 100 segundos, para todas las composiciones de la aleación dentro del alcance de la invención.

15 Tras la conformación del material colado, tal como laminación, extrusión o fundición, se obtiene una estructura estratificada de capas blandas y duras alternas. Por este motivo, el material estratificado obtenido a partir de una estructura de partida peritética/eutéctica según esta invención, da lugar a combinaciones superiores de tolerancia al daño y resistencia a la tracción.

20 Tras la colada, puede homogeneizarse la aleación de aluminio. El objetivo del tratamiento de homogeneización es habitualmente disolver Mg y Si, para nivelar posibles tensiones residuales que resultan del procedimiento de colada, para formar partículas de tipo dispersoide para controlar la estructura de grano forjado, y para esferoidizar compuestos intermetálicos afilados o con forma de aguja formados durante la solidificación de la aleación de
25 aluminio. Según la presente invención, no se desea una redistribución de los elementos de aleación. Por tanto, si el material va a homogeneizarse, está favorecida una baja temperatura de homogeneización frente a una alta temperatura de homogeneización, con el objetivo principal de aumentar la diferencia en las propiedades mecánicas entre las zonas. Tras la homogeneización, se enfría la aleación, por ejemplo por medio de enfriamiento con aire. Además, puede precalentarse la aleación, preferiblemente hasta una temperatura en el intervalo de menos de 500°C y extruirse, laminarse o someterse a fundición. Tras la extrusión, laminación o fundición, se temple la aleación de
30 aluminio de la invención, de manera ideal se temple en prensa, por ejemplo por medio de agua, pulverización de agua, aire forzado, otro líquido de enfriamiento o por medio de nitrógeno.

35 En una siguiente etapa, se envejece el material hasta un nivel deseado de propiedades mecánicas y físicas. Preferiblemente, la aleación de la presente invención se envejece artificialmente hasta un revenido deseado, que sería de manera ideal un revenido sobreenvejecido tal como T7, en particular cuando se usa para aplicaciones que requieren una alta capacidad para absorber energía cinética mediante deformación plástica. Alternativamente, la aleación de aluminio puede envejecerse hasta una condición T6 para mayor resistencia mecánica o hasta una condición hipoenvejecida o someterse a un recocido de estabilización a una temperatura en un intervalo de 50 a
40 120°C para mejorar la conformabilidad en frío y/o respuesta a tratamiento térmico adicional.

45 Tras completarse el ciclo de tratamiento de procesamiento, el material puede procesarse para dar productos de muchas clases. La aleación de aluminio es particularmente adecuada para aplicaciones que, entre otras cosas, requieren una alta tolerancia al daño, tales como componentes sometidos a aplastamiento adecuados para su aplicación en vehículos automóviles y ferroviarios. Aunque la aleación de aluminio según la invención se procesa preferiblemente mediante extrusión, también es adecuada en construcciones laminadas y de fundición, por ejemplo como pieza de suspensión en un coche, para la cual un material con intolerancia al daño tiene un efecto adverso sobre el rendimiento de fatiga del componente.

50 La ductilidad y tolerancia al daño aumentadas se deben a una estructura estratificada, que aumenta el esfuerzo al comienzo del estrechamiento y retarda la localización de esfuerzo durante el estrechamiento, y a una resistencia a la fractura aumentada, que se refleja en esfuerzos de fractura verdadera aumentados.

Selección de elementos de aleación

55 Se ha encontrado que con el fin de obtener un nivel adecuado de resistencia mecánica, las aleaciones de AlMgSi que contienen el 0,3-1,5% de Mg y el 0,3-1,5% de Si deben tener adiciones de aleación peritéticas de al menos el 0,02 x [% en peso de elementos de aleación eutécticos] suficientes para producir una cantidad adecuada de una estructura de dos componentes en el material colado y homogeneizado y para producir una estructura estratificada tras procesamiento en caliente. Elementos que pueden producir una reacción peritética con Al son Nb, Ti, V, Mo,
60 Cr, Zn, Zr, Hf, Ta y W.

Se facilita una composición preferida según la presente invención mediante una aleación de aluminio que comprende los elementos de aleación, en % en peso:

65 Si del 0,3 al 1,5, preferiblemente el 0,5-1,1

Mg del 0,3 al 1,5, preferiblemente el 0,5-1,5 y más preferiblemente el 0,65-1,2

Cu < 0,5, preferiblemente < 0,4, lo más preferiblemente < 0,25

Mn < 0,6, preferiblemente el 0,05-0,3, más preferiblemente del 0,08 al 0,15

Nb < 0,3, preferiblemente del 0,02 al 0,15,

V < 0,3

Ti < 0,2

Mo < 0,2

Cr < 0,3

Zr < 0,2

Zn < 0,2

Fe < 0,5, preferiblemente < 0,3

e impurezas inevitables cada una < 0,05, total < 0,15 y el resto aluminio.

Para optimar la resistencia mecánica de las aleaciones de Al-Mg-Si, el contenido de Mg y de Si debe elegirse de manera que se garantice que se usa tanta cantidad de Mg y Si como sea posible para preparar precipitados de endurecimiento. Se conoce comúnmente que las partículas de endurecimiento tienen una razón molar de Si/Mg de aproximadamente 1. El contenido de Si está en un intervalo del 0,3% al 1,5%, preferiblemente del 0,5-1,1%. En este intervalo, la resistencia mecánica se optimiza cuando se usa en combinación con el contenido de Mg en un intervalo del 0,3% al 1,5%, preferiblemente en un intervalo del 0,5% al 1,5% y más preferiblemente en un intervalo del 0,65% al 1,2%. La Mg/Si del intervalo debe ser preferiblemente > 1, de manera que se forme un excedente de Mg. Por excedente de Mg o Si debe entenderse el Mg o Si que no forma precipitados. El excedente de Mg contribuye poco a la resistencia mecánica global del material pero tiene un efecto positivo sobre la resistencia mecánica de los límites de grano. El excedente de Mg limita la difusión de Si a los límites de grano y es importante en la mejora de la tolerancia al daño en combinación con la estructura estratificada.

Con un contenido de Mn en el intervalo de < 0,6%, preferiblemente en el intervalo del 0,05% al 0,3% y más preferiblemente en el intervalo del 0,08% al 0,15%, la aleación de aluminio según la invención es menos sensible al agrietamiento en caliente durante y tras extrusión y tratamientos térmicos y proporciona una microestructura recristalizada de grano fino. Además con un contenido de Mn en el intervalo mencionado anteriormente, se obtiene un grado óptimo en las propiedades mecánicas y la capacidad de extrusión mediante el efecto beneficioso de Mn sobre la ductilidad en caliente y sobre la formación de compuestos intermetálicos que contienen Fe de tipo alfa.

Los elementos de aleación peritéticos deben seleccionarse de tal manera que se obtenga un coeficiente de distribución combinado Σk superior a 3, preferentemente superior a 5 y lo más preferentemente superior a 8 y la resistencia mecánica de la reacción peritética superior al $0,02 \times [\% \text{ en peso de elementos eutécticos}] \times [\Sigma k]$. Los resultados empíricos indican que existe un efecto de sinergia adicional entre los elementos de aleación peritéticos seleccionados de; Ti, Zr, V, Mo, Cr, Nb, Zn, Hf, Ta y W, preferiblemente; Ti, Zr, V, Cr, Mo y Nb y lo más preferiblemente Ti, V, Mo y Nb que puede aumentar la potencia de la reacción peritética por encima de la calculada a partir de una suma de los coeficientes individuales para un sistema binario a la temperatura peritética $\times \Sigma k (< 8)$.

Puede estar presente Cu en la aleación de aluminio según la invención hasta el 0,5%. En una realización preferida, está presente Cu al 0,4% como máximo y más preferiblemente al 0,25% como máximo.

La adición opcional de Cr y/o Zr no se usa sólo para reforzar el componente peritético sino también para controlar la estructura de grano. Por tanto, pueden añadirse uno o ambos de Cr y Zr en un intervalo de < 0,3% de Cr y/o < 0,2% de Zr. Cuando se añaden, puede obtenerse una estructura de grano no recristalizada.

Se considera que Zn es un elemento de impureza y puede tolerarse hasta el 0,2%, pero es preferiblemente de menos del 0,1%.

Aunque el Fe proporciona un ligero aumento en la resistencia mecánica, debe estar presente en una cantidad de no más del 0,5%, preferiblemente de menos del 0,3% para reducir el riesgo de formación adversa de partículas intermetálicas que podrían iniciar una fractura durante el uso del componente final.

El resto es aluminio e impurezas inevitables, tales como las resultantes de la materia prima usada o del procedimiento de fabricación. Normalmente, cada elemento de impureza está presente al 0,05% en peso como máximo y el total de impurezas es del 0,15% en peso como máximo.

5 La invención se ilustrará a continuación mediante algunos ejemplos, que no limitan el alcance de la invención.

Ejemplos

10 La tabla 1 enumera las composiciones químicas en porcentaje en peso de algunos materiales comparativos (aleaciones C, E, F, G) y aleaciones que se encuentran dentro del alcance de la presente invención (aleaciones A, B, D). Se sometieron a colada DC todas estas aleaciones de aluminio para evaluar el efecto de la composición y la velocidad de colada sobre el desarrollo del componente peritético.

15 La tabla 2 facilita la lista de aleaciones y velocidades de colada de algunas variantes comparativas y variantes que produjeron la estructura colada con más del 20% de componente peritético según la presente invención (variantes A2, A3 y B2, B3).

20 Se procesaron los lingotes de colada que tenían un diámetro de 254 mm con el componente peritético superior al 20% (variantes A2 y B2 y D) y los materiales comparativos (aleaciones C, E-G) mediante las etapas de:

homogeneizar manteniendo a 545°C;

enfriar con aire;

25 precalentar hasta aproximadamente 460°C;

extruir con una matriz de dos orificios para dar un perfil con forma de caja;

templar en prensa con agua;

30 envejecer con diferentes prácticas.

35 Una comparación de la aleación B y D con una razón de elementos peritéticos/eutéticos similar indica que una adición de Nb a la aleación da lugar a una estructura de dos zonas, mientras que la adición de Cr no proporciona este efecto. Por tanto, Nb parece proporcionar un efecto sinérgico con los demás elementos de aleación, además de lo que se espera mediante su contribución a la reacción peritética global.

40 La tabla 3 muestra las propiedades mecánicas de las aleaciones A2, B2, C y D en T6 (195°C durante 4,5 h). “Rm” es la resistencia a la rotura por tracción, “Rp0,2” es el límite de elasticidad al 0,2% y A5 (el alargamiento a la fractura). Se define la tolerancia al daño como una medida del desarrollo de grietas perpendiculares. Cuando se desarrollan tales grietas tal como se muestra en la figura 3, se considera que el material no tiene tolerancia al daño. Se muestra en la figura 3 una comparación del comportamiento en flexión de un material de un solo componente con el material de dos componentes según la presente invención. En la figura 3b, que muestra el material según la invención, sólo son visibles pequeñas grietas estratificadas detenidas. El material estratificado según la invención puede detener grietas estratificadas cortas entre las capas en comparación con el agrietamiento perpendicular extenso del material comparativo (figura 3a).

Aleación		Mg	Si	Nb	V	Ti	Mn	Fe	Cu	Razón de elementos peritéticos /elementos eutéticos	Razón de Mg/Si
A	Invención	0,83	0,61	0,02	0,08	0,05	0,09	0,19	0,12	0,104	1,36
B	Invención	0,95	0,58	0,05	0,06	0,04	0,1	0,19	0,2	0,098	1,64
C	Comparativa	0,62	0,93	--	--	--	0,5	0,2	0,08	0,013	0,67
D	Invención	0,6	0,65	--	0,05	--	0,16	0,19	0,21	0,056	0,92
E	Comparativa	0,58	0,63	--	0,02	--	0,1	0,18	0,2	0,033	0,92
F	Comparativa	0,55	0,58	--	--	--	0,15	0,21	0,08	0,027	0,95
G	Comparativa	0,83	0,61	-	--	--	0,04	0,2	0,2	0,014	1,36

Tabla 1 Composición química de aleaciones A-G, todas en % en peso, el resto aluminio e impurezas inevitables.

50

Aleación	Material colado	Velocidad de colada milímetros/minuto	Componente peritético superior al 20%	Estructura estratificada en el material final
----------	-----------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---

ES 2 488 546 T3

A1	Invencción	80	SÍ	SÍ
A2	Invencción	85	SÍ	SÍ
A3	Comparativo	90	NO	NO
B1	Invencción	80	SÍ	SÍ
B2	Invencción	85	SÍ	SÍ
B3	Comparativo	90	NO	NO
C	Comparativo	85	NO	NO
D	Comparativo	95	NO	NO
E	Comparativo	85	NO	NO
F	Comparativo	85	NO	NO
G	Comparativo	85	NO	NO

Tabla 2 Velocidad de colada y el desarrollo del componente peritético superior al 20% tras la colada de lingotes de 10" y la estructura estratificada posterior del material final.

Aleación	Envejecimiento a 195°C durante 4,5 horas			
	Rp0,2 (MPa)	Rm (MPa)	A5 (%)	Tolerancia al daño
A2	297	311	12,5	SÍ
B2	301	317	12,6	SÍ
C	309	328	12,2	NO
D	289	303	13,2	NO

5

Tabla 3 Propiedades mecánicas y tolerancia al daño de las aleaciones en T6 (195°C durante 4,5 h)

REIVINDICACIONES

1. Material de aluminio colado de una aleación de aluminio endurecible por precipitación, en el que la aleación aluminio comprende en % en peso:
- 5 el 0,3-1,5 de Si, preferiblemente el 0,5-1,1 de Si,
- el 0,3-1,5 de Mg, preferiblemente del 0,5 al 1,5 de Mg y lo más preferiblemente el 0,65-1,2 de Mg,
- 10 < 0,6 de Mn, preferiblemente del 0,05 al 0,3, lo más preferiblemente del 0,08 al 0,15 de Mn,
- < 0,5 de Cu, preferiblemente < 0,4, lo más preferiblemente el 0,05-0,2 de Cu,
- 15 < 0,5 de Fe, preferiblemente < 0,3 de Fe,
- < 0,3 de Nb,
- < 0,3 de V, preferiblemente el 0,01-0,1 de V,
- 20 < 0,3 de Cr,
- < 0,2 de Zn, preferiblemente < 0,1 de Zn,
- 25 < 0,2 de Ti, preferiblemente el 0,01-0,1 de Ti,
- < 0,2 de Mo,
- < 0,2 de Zr
- 30 e impurezas inevitables cada una al 0,05% en peso como máximo y el total de impurezas del 0,15% en peso como máximo, el resto aluminio, caracterizado porque comprende granos, dendritas o células que tienen dos zonas diferenciadas con una primera zona central enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera peritética con aluminio y una segunda zona, que rodea a la primera zona, enriquecida en elementos que pueden reaccionar de manera eutéctica con aluminio, ocupando la primera zona el 1-85%, preferiblemente el 10-70%, lo más preferiblemente el 20-50% del volumen total medido en la sección transversal como colinas peritéticas en el contraste de interferencia en LOM, y en el que la aleación de aluminio endurecible por precipitación comprende elementos de aleación peritéticos con un coeficiente de distribución combinado Σk superior a 3, preferentemente superior a 5 y lo más preferentemente superior a 8 y una proporción de elementos peritéticos de más del $0,02 \times$ [% en peso de elementos de aleación eutécticos] que pueden suprimir el contenido local de elementos eutécticos en la zona peritética hasta $< 0,8 \times$ [el contenido promedio de elementos de aleación eutécticos de la aleación en % en peso].
- 35
- 40
2. Material de aluminio colado según la reivindicación 1, en el que la aleación de aluminio comprende en % en peso:
- 45 el 0,3-1,5% de Si,
- 50 el 0,3-1,5 de Mg, preferiblemente del 0,5 al 1,5 de Mg,
- < 0,6 de Mn, preferiblemente del 0,05 al 0,30, lo más preferiblemente del 0,08 al 0,15 de Mn,
- < 0,5 de Cu, preferiblemente < 0,4, lo más preferiblemente el 0,05-0,2 de Cu,
- 55 < 0,5 de Fe, preferiblemente < 0,3 de Fe,
- el 0,02-0,15 de Nb,
- < 0,3 de V, preferiblemente el 0,01-0,1 de V,
- 60 < 0,3 de Cr,
- < 0,2 de Zn, preferiblemente < 0,1 de Zn,
- 65 < 0,2 de Ti, preferiblemente el 0,01-0,1 de Ti,

ES 2 488 546 T3

< 0,2 de Mo,

< 0,2 de Zr,

- 5 e impurezas inevitables cada una al 0,05% en peso como máximo y el total de impurezas del 0,15% en peso como máximo, el resto aluminio.
3. Material de aluminio colado según cualquiera de las reivindicaciones 1-2, en el que la razón de Mg/Si de la aleación de aluminio es > 1 .
- 10 4. Material de aluminio forjado producido mediante deformación del material de aluminio colado según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, mediante lo cual el material obtiene una microestructura estratificada de capas blandas y duras (peritéticas y eutécticas) alternas durante dicha deformación.
- 15 5. Material de aluminio forjado según la reivindicación 4, en el que el material se deforma mediante extrusión.
6. Material de aluminio forjado según la reivindicación 4, en el que el material se deforma mediante fundición.
- 20 7. Material de aluminio forjado según cualquiera de las reivindicaciones 4-6, en el que el material tiene una estructura de grano recristalizada.
8. Método de producción de un material de aluminio colado según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, caracterizado porque una aleación de aluminio endurecible por precipitación se cuela a la vez que se controla la velocidad de colada de modo que se produzca una estructura colada de dos zonas, ocupando la primera zona el 1-85%, preferiblemente el 10-70%, lo más preferiblemente el 20-50% del volumen total medido en la sección transversal como colinas peritéticas en el contraste de interferencia en LOM.
- 25 9. Método de producción de un material de aluminio forjado a partir del material colado según la reivindicación 1-3, que comprende las etapas:
- 30 - opcionalmente homogeneizar el material colado
- opcionalmente precalentar el lingote
- 35 - deformar la estructura colada para producir un material con una estructura estratificada que comprende capas alternas de propiedades mecánicas diferentes
- enfriar dicho material
- 40 - opcionalmente tratar térmicamente dicho material.
10. Método según la reivindicación 9, en el que el material se deforma mediante extrusión o fundición.
- 45 11. Uso del material de aluminio forjado según cualquiera de las reivindicaciones 4-7, en vehículos automóviles y ferroviarios.

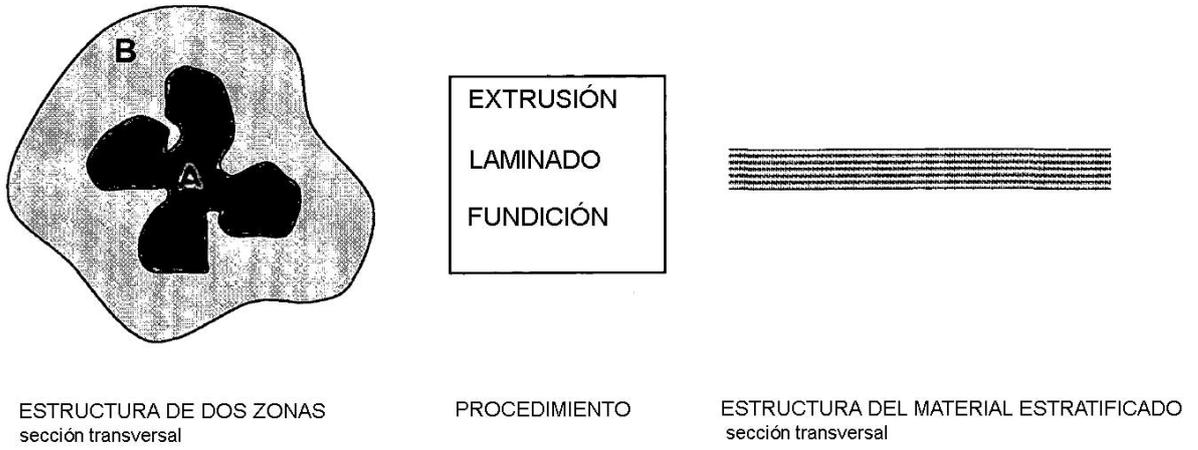


Figura 1

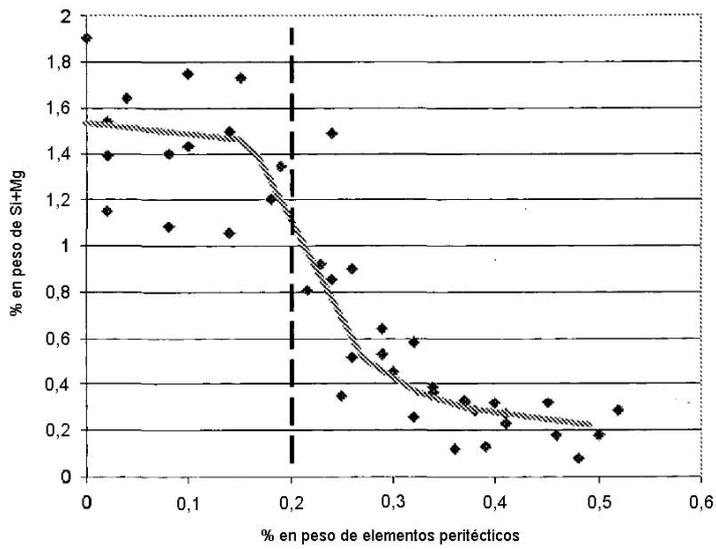


Figura 2

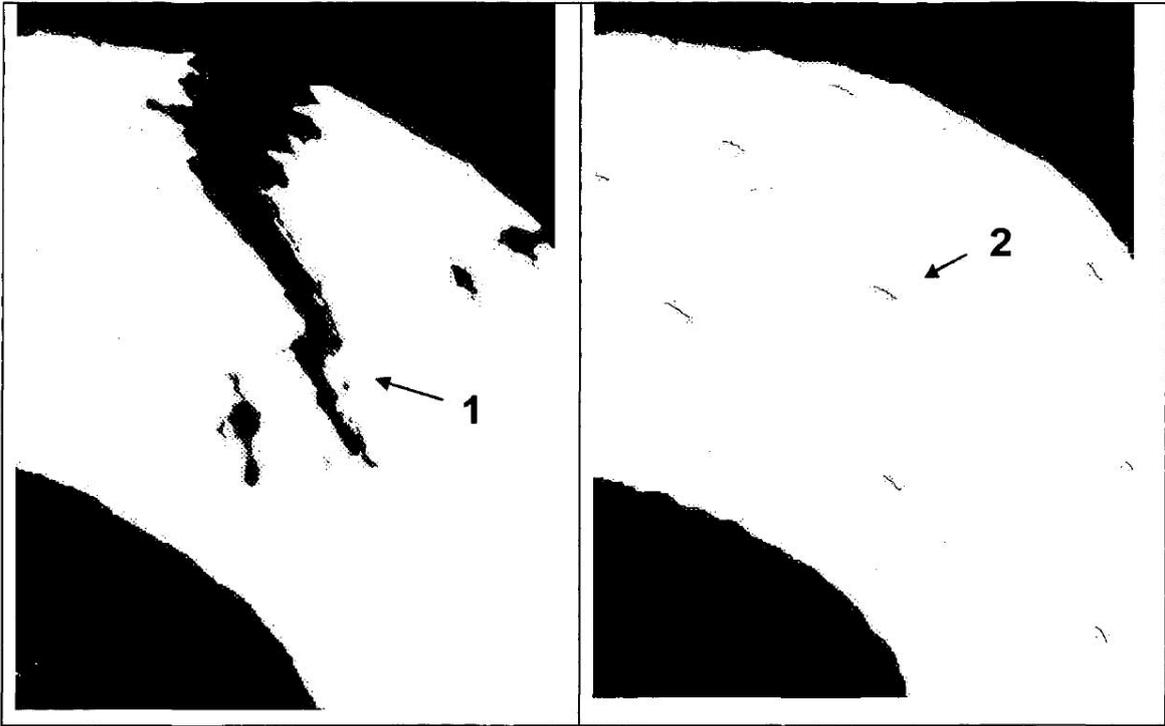


Figura 3 a)

b)